



F R I G I S T O R S

Eléments frigorifiques par effet PELTIER





## Généralités sur l'effet PELTIER

Cet effet consiste en une absorption ou un dégagement d'une quantité de chaleur  $Q$  à la jonction de deux conducteurs de nature différente lorsqu'y circule un courant continu d'intensité  $I$

$$Q = (\alpha_p - \alpha_n) T \cdot I$$

où  $T$  = Température absolue

$\alpha_p, \alpha_n$  = pouvoir thermoélectrique des conducteurs.

Cet effet PELTIER est combiné avec l'effet Joule ( $RI^2$ ) qui se répartit également entre soudure chaude et froide et la conductivité thermique  $K \cdot d \cdot T$ . On arrive ainsi aux équations donnant la chaleur dégagée aux soudures froide et chaude:

$$Q_c = (\alpha_{pn}) I \cdot T_f - 1/2 I^2 R - K d T$$

$$Q_f = (\alpha_{pn}) I \cdot T_c + 1/2 I^2 R - K d T \text{ avec } \alpha_{pn} = \alpha_p - \alpha_n$$

## Présentation des FRIGISTORS

Le pouvoir thermoélectrique des matériaux semi-conducteurs  $p$  et  $n$  est de signe contraire. On voit immédiatement que l'absorption de chaleur qui nous préoccupe ici sera beaucoup plus importante si ces matériaux sont utilisés dans la construction des éléments réfrigérateurs.

Quand le courant passe d'un semi-conducteur type  $n$  vers un métal, il y a absorption de chaleur. Le même phénomène se représente à la jonction métal-semi-conducteur type  $p$ .

Donc, en réunissant alternativement des éléments  $n$  et  $p$  par des ponts métalliques, il y a alternativement absorption et dégagement de chaleur sur ces ponts. Tous les ponts chauds peuvent facilement être groupés sur une surface et les ponts froids sur une autre. Si l'on maintient la surface chaude à une température constante, la surface froide voit sa température diminuer.

"FRIGISTOR" est la marque déposée que Needco a donné aux éléments frigorifiques thermoélectriques, consistant en un ou plusieurs couples de Neelium. Le neelium est un alliage thermoélectrique semi-conducteur de bismuth, de tellure, d'antimoine et de sélénium.





Les Frigistors de type standard sont construits pour fonctionner sur des courants allant de quelques à vingt ampères. Selon le nombre de couples reliés en série, la tension continue d'alimentation s'échelonne d'une fraction de volt à douze volts et plus.

Le nombre de couples en jeu est indiqué par le nombre qui suit la lettre F. Ainsi, un Frigistor F-1 signifie un élément à un seul couple, et un Frigistor F-8, un élément à huit couples.

Comme l'indice de qualité "Z" des semi-conducteurs dépend de la température, on emploie des matériaux quelque peu différents suivant leur utilisation à haute, moyenne ou basse température. Les Frigistors de type standard sont conçus pour les températures moyennes, soit de 0° à 100°C environ; quoiqu'ils soient évidemment utilisables en deça et au delà de cette échelle (jusqu'à 160°C environ).

Il existe des Frigistors pouvant fonctionner à des températures beaucoup plus élevées avec un bon rendement. Ils sont désignés par la lettre FX (température maximum: 300°C).

A part les modèles de production de série, décrits par ailleurs, utilisant des cubes de Neelium 4 x 4 x 4 mm, les Frigistors Needco peuvent être faits sur mesure selon les exigences de l'utilisateur. Ainsi une grande miniaturisation est possible, sans que la valeur et le rendement des couples en soient altérés; des éléments allongés peuvent être fournis là où la consommation du courant est limitée, etc...

#### Caractéristiques générales des FRIGISTORS de types standard -

##### Abaque de fonctionnement -

Les Frigistors se présentent sous forme de parallélépipèdes munis de leurs fils de raccordement. Leurs dimensions sont indiquées dans la documentation ci-jointe. Qu'il s'agisse de modèles isolés (encapsulés) ou non, leurs faces extrêmes sont bien planes et parallèles de façon à assurer un bon contact thermique.

Il est évident que les deux modèles non isolés type U et I offrent une plus grande possibilité de chute de température sans charge thermique que les autres modèles d'un emploi plus courant.



1°) Puissance de refroidissement d'un Frigistor - Courbes d'isopuissance -

Il s'agit là de la quantité de chaleur  $Q_c$  absorbée à la soudure froide sans préjuger de la qualité de sa liaison thermique avec le milieu à refroidir. De même, la chaleur  $Q_h$  dégagée à la soudure chaude ne préjuge pas des précautions prises pour l'évacuer.

Il est évident que s'il n'y a pas une bonne évacuation de chaleur, la température du Frigistor montera ce qui changera complètement ses conditions de fonctionnement.

Ceci dit, la puissance de refroidissement est relative à un point de fonctionnement du Frigistor et se définit:

- par la température de soudure chaude  $T_h$
- par la différence de température  $dT$  entre soudures chaude et froide
- par l'intensité de courant circulant dans le Frigistor.

Toutes les caractéristiques de fonctionnement sont données par l'abaque des Frigistors dont l'explication suit.

Ce diagramme devant être utilisable pour toutes les températures de soudure chaude et les différents Frigistors (caractérisés par des nombres de couples différents), les courbes d'isopuissance sont tracées pour les températures de 10 en 10°C et leurs intervalles représentent un accroissement de puissance absorbée  $Q_c$  de 4 watts pour un F-32, 1 watt pour un F-8, 1/2 watt pour un F-4, 1/4 watt pour un F-2, 1/8 watt pour un F-1. Elles ont été, par commodité numérotées de Q-5 à Q-39.

- Exemple:

Prenons la courbe Q-5 qui coupe l'axe des températures au point 50°C. Les points de fonctionnement définis sur cette courbe correspondent à une absorption de chaleur nulle lorsque  $T_h = 50°C$ . On trouve ainsi que pour  $I = 0$   $dT = 0$ , ce qui est évident.

Pour  $I = 10A$  on trouve  $T_c = -12°C$  et pour  $I = 20A$ ,  $T_h = -27°C$ , soit un  $dT$  de 77°C ce qui représente le maximum théorique possible avec les Frigistors de tous types à charge thermique nulle sur la soudure froide.

Cet exemple a volontairement laissé de côté, le type de Frigistor, le rendement, etc... Il veut simplement montrer que chaque courbe d'isopuissance est pour la température  $T_h$  à laquelle elle correspond, une courbe de puissance  $Q_c$  nulle.





Prenons maintenant un Frigistor F-8 et considérons l'ordonnée  $T_c = 10^\circ\text{C}$  correspondant à une température de soudure froide de  $10^\circ\text{C}$ . La température de soudure chaude  $T_h$  restant de  $50^\circ\text{C}$ , cette ordonnée coupe la courbe Q5 à 5A, Q6 à 6,5A, Q7 à 8A, etc... Ceci veut dire que la puissance absorbée à la soudure froide à  $10^\circ\text{C}$  lorsque la soudure chaude est à  $50^\circ\text{C}$ , est de: 0 watt à 5A - 1 watt à 6,5A - 2 watts à 8A - etc...

S'il s'agissait d'un F-1 les puissances absorbées seraient: 0 watt à 5A - 0,125 watt à 6,5A - 0,25 watt à 8A, etc...

Sur chaque courbe d'isopuissance  $T_c$  atteint un minimum pour une certaine valeur  $I_q$  du courant. Cette valeur correspond également à une quantité maximale de chaleur absorbée.

2°) Rendement optimum d'un Frigistor:

Celui-ci est déterminé par la relation  $\Phi = \frac{Q_c}{W}$ ,  $W$  étant la puissance électrique absorbée =  $V.I$ .

Pour une température chaude  $T_h$  donnée, il existe une courbe de rendement optimum qui permet de connaître la température froide atteinte avec une intensité déterminée et la chaleur  $Q_c$  absorbée. Ces courbes de rendement optimum sont tracées en tirets sur l'abaque des Frigistors.

Il est également possible de lire sur l'abaque mais seulement pour ces points de rendement optimum, la valeur de ce rendement optimum. Elle est donnée par l'axe des abscisses inférieur ( $\Phi$  max.) où l'on se reporte par des lignes obliques qui relient entre eux les points de rendement optimum égal sur chaque courbe de rendement optimum. Ces lignes sont des droites.

Si l'on considère une température de soudure chaude  $T_h$  donnée et un  $dT$  donné, la droite  $T_c$  coupe la courbe de rendement maximum en un point  $I \Phi$  où le rendement est optimum, et la ligne  $Q_c$  maximum en un point  $I_q$  où la quantité de chaleur absorbée est maximum et le rendement moins bon.

Dans la plupart des cas on cherche à fonctionner au voisinage du rendement optimum mais lorsque la différence de température est faible ou que la charge thermique est faible et qu'on désire atteindre une grande différence de température (cas possible avec réfrigération par eau de la soudure chaude), on s'écarte des valeurs  $I \Phi$ .

Il est prudent de s'assurer que l'on pourra éliminer la chaleur dégagée pour éviter une élévation de température du Frigistor.





3°) Problème général du choix d'un montage de Frigistors -  
dement, des intensités et tensions de fonctionnement:

Deux cas sont à considérer suivant que l'on s'écarte ou non du point de rendement optimum.

1er cas: rendement optimum: Supposons les données suivantes

- Chaleur à absorber  $Q_c = 10$  watts, température côté froid  $T_c = -5^\circ\text{C}$ ,  
Température chaude  $T_h = +40^\circ\text{C}$  -

L'horizontale  $T_c = -5^\circ\text{C}$  coupe la courbe  $\Phi$  max. pour  $T_h = 40^\circ\text{C}$  au point P soit  $I = 11$  A.

Par rapport à la courbe d'isopuissance  $Q_4$ , le point P se place environ en équidistance entre  $Q_6$  et  $Q_7$ . Ceci correspond à une quantité de chaleur absorbée de 2,4 watts pour un F-8. Si on prend quatre F-8, il est nécessaire de faire fonctionner chacun sous 11,2 A pour avoir 2,5 watts x 4, soit les 10 watts requis.

Les droites de rendement optimum donnent  $\Phi$  max. =  $0,4 = \frac{2,5}{W}$  par couple.

soit  $W = 6,25$  et pour quatre couples  $W = 25$  watts.

$V = W/I = 25/11,2 = 2,25$  volts.

2ème cas: rendement quelconque:

Soit  $Q_c = 4,5$  watts,  $T_c = -5^\circ\text{C}$  et  $T_h = 40^\circ\text{C}$ , de plus on est limité par la place.

Sur l'horizontale  $T_c = -5^\circ\text{C}$ , le point de fonctionnement donnant une absorption de chaleur de 4,5 watts donne  $I = 18$  A pour un F-8.

Si l'on se réfère à des conditions de rendement optimum, un courant de 18 ampères donne pour un F-8 les résultats suivants pour  $T_c = -5^\circ\text{C}$ :  $T_h = 70^\circ\text{C}$ ,  $Q_c = 1,5$  watt et  $\Phi = 0,1$ . Ceci donne une puissance consommée de 15 watts soit une tension d'alimentation  $V = \frac{15}{18}$  soit 0,83 volt.

Les Frigistors sont des éléments passifs et leur tension de fonctionnement dépend seulement du nombre d'ampères quelle que soit la température. Dans les conditions énoncées plus haut le rendement

$\frac{Q_c}{W}$  est donc égal à  $\frac{4,5}{0,83 \times 18} = \frac{4,5}{15} = 0,3$ .





## APPLICATIONS DES FRIGISTORS

Au stade actuel de leur développement, la réfrigération et le chauffage thermoélectrique commencent déjà à concurrencer les frigorifiques usuels et les thermopompes dans les grandes et moyennes installations industrielles, en même temps qu'ils comblent une lacune dans les applications à format réduit où rien de similaire n'existait jusqu'ici. Voyons d'abord ce que la réfrigération et le chauffage Peltier peuvent nous offrir dans les domaines où régnaient jusqu'ici les blocs à compressions et à absorption.

Les réfrigérateurs ménagers: Les Frigistors ne comportent ni rotors ni fluides corrosifs et l'on peut s'attendre à ce qu'ils durent indéfiniment. Les éléments frigorifères sont tout petits, et leur poids est faible. L'indice de rendement d'un réfrigérateur thermoélectrique est de l'ordre de 0,5, soit supérieur à celui d'un élément à absorption, mais inférieur à celui d'un élément à compression. Cependant, l'efficacité des blocs à compression décroît avec la diminution de leur taille, tandis que celle des éléments thermoélectriques est indépendante du format du réfrigérateur.

Un réfrigérateur de 140 litres serait équipé d'environ 180 Frigistors F-1 et nécessiterait une intensité de 10 A pour un courant continu de 12 V.

Des réfrigérateurs portables de 30 litres peuvent être directement connectés à la batterie de 12 volts d'une voiture. Ces appareils ont déjà un rendement égal à celui des modèles à compression d'un format comparable.

Conditionnement d'air: Dans un climatiseur thermoélectrique, le courant d'air passe sur un ensemble d'ailettes connectées à des jonctions froides et un autre courant d'air passe sur une série d'ailettes connectées à des jonctions chaudes. Le courant froid est admis dans le local, par temps chaud, tandis que le courant d'air chaud est refoulé au dehors. Par temps froid, le climatiseur fonctionne comme une thermopompe, le courant étant renversé. Vu les faibles différences de températures en jeu, le rafraîchissement d'air thermoélectrique est très efficace. En tant que thermopompe, l'appareil ne consomme qu'une faible part du courant électrique dépensé par le chauffage électrique ordinaire à résistance.

Applications industrielles: Dans certaines installations existantes, les réfrigérateurs thermoélectriques et les thermopompes peuvent être utilisés à plus grande échelle, avec un rendement égal à celui des appareils à compression. Telles sont, par exemple, les installations où entrent en jeu de





faibles différences ou variations de température entre la source de chaleur et le piège à calories et celles où la température de la source de chaleur est relativement élevée.

Les réfrigérateurs où circule un flot continu de liquide, les évaporateurs et appareils à distiller sont aussi dans le même cas. Dans les premiers, les Frigistors, - avec un nombre décroissant de couples connectés en séries, - sont connectés en parallèle, en sorte que le courant qui les traverse s'accroît dans la direction du flot. Par conséquent, tout l'élément fonctionne presque au maximum de l'indice de rendement et son efficacité n'est pas inférieure à celle du réfrigérateur à compression. Dans les évaporateurs, le liquide est porté à ébullition aux jonctions chaudes et se condense aux jonctions froides. De cette façon, l'appareil travaille à faibles différences de températures, et un taux élevé de transfert de chaleur est assuré. Là aussi, les rendements sont de l'ordre de ceux atteints par les thermopompes, alors qu'en comparaison avec le chauffage par résistance, la consommation de courant est de 5 à 10 fois réduite. On trouve évidemment d'autres applications industrielles dans les divers modèles d'échangeurs thermiques.

La réfrigération dans l'électronique: Comme on l'a précédemment mentionné, l'efficacité des réfrigérateurs thermoélectriques est indépendante de la capacité de l'appareil frigorigène. Cela signifie qu'on peut facilement construire des réfrigérateurs efficaces pour l'extraction d'un watt et même moins; de tels frigorifiques ne pèsent que quelques grammes et occupent un minimum de place. Nul autre système de réfrigération n'offre pareils avantages.

La réfrigération ponctuelle des installations électroniques permet d'étendre l'utilisation de ces appareils à des températures ambiantes plus élevées. C'est vrai, en particulier, en ce qui concerne les transistors et les redresseurs à diodes. Les transistors haute fréquence à germanium réfrigéré peuvent être utilisés à des températures bien supérieures aux limites actuelles de 85° - 100°C. Les transistors de puissance à silicium peuvent être refroidis à partir de températures de l'ordre de 300°C à celles, inférieures à 200°C, où ils peuvent être utilisés avec sécurité. Les diodes à redresseur à semi-conducteur peuvent, par exemple, être électriquement connectés en série avec des Frigistors appropriés auxquels ils sont scellés afin d'assurer un taux élevé d'extraction de chaleur au maximum de courant.

La sensibilité de certains appareils tels que les détecteurs à infrarouges, les tubes photomultiplicateurs, etc..., est améliorée à basses températures par suite de la diminution correspondante du niveau du bruit. Les Frigistors peuvent être, sans grande difficulté, incorporés à ces appareils.





Le contrôle thermostatique: Le principal avantage des thermostats thermo-électriques, par rapport aux modèles courants, réside dans le fait qu'ils peuvent maintenir à l'intérieur d'un local des températures soit supérieures soit inférieures à la température ambiante, tandis que les thermostats ordinaires doivent travailler à des températures considérablement supérieures à la température ambiante. Un appareil électronique sensible aux variations de températures peut être ainsi maintenu à température constante à  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$  près, et même, moyennant certaines précautions, jusqu'à  $\pm 0,001^{\circ}\text{C}$ . Ce fait peut être utilisé en particulier pour les cristaux de quartz qui pilotent les oscillateurs de fréquence, les résistors, etc...

Ce genre de contrôle thermostatique a d'autres importantes applications:

- Contrôle précis de la température des piles-étalons Weston,
- Les incubateurs de bactéries peuvent être facilement construits de façon à maintenir des températures inférieures à celles du corps humain,
- Tissus, sang, plasma, antibiotiques et sperme pour l'insémination artificielle, peuvent être gardés et transportés à basses températures constantes.

Instruments: Les Frigistors seront généralement préférés à tout autre procédé de réfrigération ponctuelle pour les températures descendant jusqu'à  $- 50^{\circ}\text{C}$ . Avec des Frigistors en cascade, où les jonctions chaudes d'un étage sont refroidies à l'étage suivant, on peut atteindre des températures de l'ordre de  $- 100^{\circ}\text{C}$  et au-dessous.

Un Frigistor F-1 peut être incorporé à un hygromètre à dépôt de rosée. La rosée qui se forme à sa jonction froide est détectée par photo-électricité ou autrement et l'on peut assurer un contrôle en lançant et coupant le courant ou en le renversant, de façon à maintenir la température de la jonction au point de rosée. Les brèves impulsions de courant peuvent être utilisées afin de réduire la température à la jonction à un niveau inférieur à celui qu'on peut atteindre dans les régimes permanents.

La construction de tables froides pour microtomes, cameras de Debye-Scherrer à diffraction de rayons X, etc..., est très simple, en utilisant le refroidissement à eau pour la jonction chaude, là où l'on désire des températures jusqu'à  $- 40^{\circ}\text{C}$  ou des taux d'extraction de chaleur élevée.

Un autre exemple d'appareil utilisant des Frigistors est le support de la jonction référentielle d'un thermocouple, support qui maintient à température constante un mélange de glace et d'eau. On peut établir pour les substances à bas point de fusion un appareil à point de fusion fonctionnant à taux constants d'extraction de chaleur, à taux constants





de réfrigération ou de chauffage, etc...

Les pièges froids et les déflecteurs à condensation pour les pompes à diffusion d'huile peuvent être équipés de Frigistors, ce qui les dispensera de l'emploi de gaz liquéfiés généralement utilisés dans ce but.

3





## LE REFRIGERATEUR THERMOELECTRIQUE DE LABORATOIRE

(Pour laboratoires scientifiques, biologiques, médicaux et industriels)

La température de la chambre froide peut descendre jusqu'à  $-20^{\circ}\text{C}$  (réglable à  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ). Les jonctions chaudes sont refroidies par circulation d'eau. Le réglage se fait par rhéostat; la température peut être contrôlée de l'extérieur.

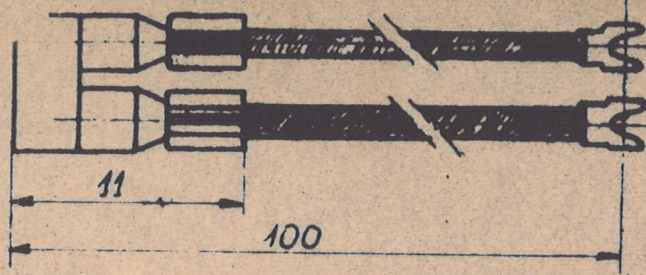
Des accessoires variés sont en vente permettant l'emploi du réfrigérateur dans des domaines aussi différents que: boîte à transistor, contrôle de la température d'échantillons biologiques, réfrigération de résine epoxy (afin de prolonger l'existence du creuset), étalonnage de thermomètres, etc...

|  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| - Volume utile de la chambre                   | 12,5 x 12,5 x 12,5 cm.              |
| - Puissance de réfrigération                   | 20 Watts                            |
| - Consommation                                 | 50 Watts                            |
| - Secteur                                      | 115 ou 220 Volts - 50 Hz            |
| - Réglage de la température                    | manuel, par rhéostat                |
| - Diamètre des tuyaux d'amenée et sortie d'eau | 6,4 mm                              |
| - Dimensions                                   | 30 x 20 x 18 mm                     |
| - Couleur                                      | Aluminium satiné bleu, noir ou gris |
| - Prix de l'appareil standard                  | N.F. Hors taxes: <u>2.970.-</u>     |

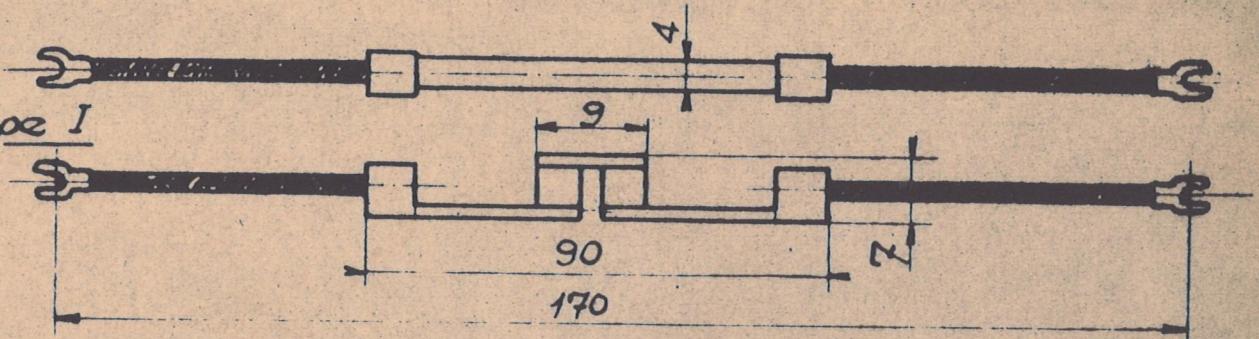




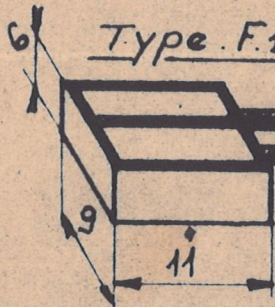
Type U



Type I



Type F.1

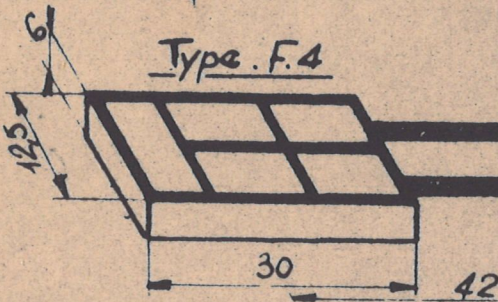


$\phi 35$

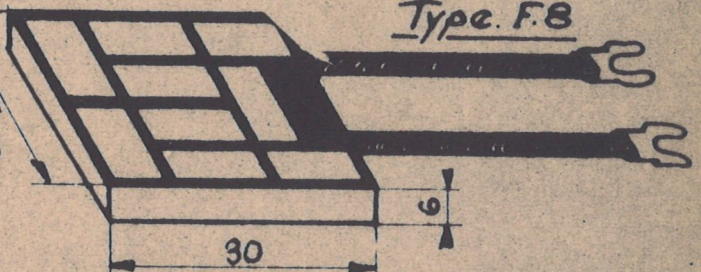
Type F.3



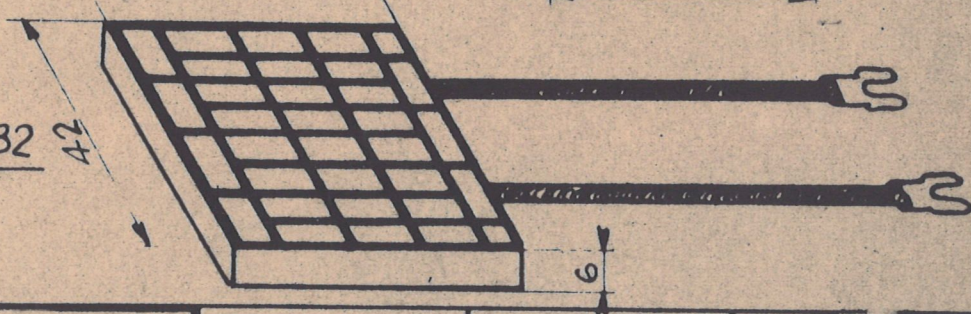
Type F.4



Type F.8



Type F.32



DATE :

REPÈRE :

NOMBRE :

ÉCH :

Désignation

FRIGISTORS

Dimensions