

DOCUMENTATION TECHNIQUE

- - - - -



Rochas

électronique

F R A N C E

R O C H A R Electronique
71, rue Racine
MONTROUGE (Seine)

NOTICE TECHNIQUE

PRINCIPES GENERAUX des :

FREQUENCEMETRES,

TACHYMETRES,

CHRONOMETRES,

et PERIODEMETRES

ELECTRONIQUES A COMPTEURS d'IMPULSIONS.

L'existence des compteurs électroniques d'impulsions, dont l'une des caractéristiques essentielles est la brièveté du temps de réponse, permet de concevoir aisément la réalisation de fréquencesmètres, tachymètres, chronomètres et périodesmètres de haute précision dont nous exposons, ci-après, les principes généraux.

1° - FREQUENCEMETRES -

Le principe d'un fréquencesmètre électronique à compteurs d'impulsions découle de la définition même de la fréquence, à savoir : " le nombre d'alternances d'un phénomène périodique pendant l'unité de temps ".

Nous admettons, pour la clarté de l'exposé, que ce phénomène se traduit sous la forme d'une tension électrique.

Dès lors sa fréquence s'exprimera en " cycles/seconde ", ou " périodes/seconde ", ou encore " Hertz " (Hz).

De même, nous admettons que les compteurs électroniques utilisés sont du type " Décimal " ou à base 10 (Décades).

Nous dirons donc qu'un compteur électronique comporte 3, 4 ou 5 décades, suivant que sa capacité de comptage est de 999, 9.999 ou 99.999.

.....

Dès lors, pour qu'un fréquencesmètre électronique permette d'effectuer la mesure du nombre d'alternances d'une tension électrique pendant l'unité de temps de 1 seconde, cet appareil doit nécessairement comporter :

- a) - Un compteur à décades.
- b) - Un générateur chronométrique, terminé par un relais sans inertie, laissant accéder les impulsions au compteur pendant un temps exactement défini, égal à 1 seconde.

Cet organe porte la dénomination de "base de temps".

- c) - Un amplificateur-normalisateur d'impulsions destiné à rendre, dans de larges limites, le fonctionnement rigoureusement indépendant de l'amplitude du signal reçu.

GENERALISATION -

Les intervalles de temps définis par le générateur chronométrique ne seront pas, obligatoirement, égaux à 1 seconde et peuvent suivant certains types d'applications, avoir des valeurs très différentes, inférieures ou supérieures.

Dans le cas général d'une base de temps définissant des intervalles de temps égaux à T , la fréquence F et le nombre lu N seront liés par l'expression :

$$F = \frac{N}{T}$$

PRECISION DE MESURE -

On peut déduire de l'expression ci-dessus celle de l'erreur commise dans une telle mesure.

On a :

$$\frac{\Delta F}{F} = \frac{\Delta N}{N} + \frac{\Delta T}{T}$$

L'erreur ΔN commise sur la lecture du nombre N est, par principe, égale à ± 1 .

Le nombre lu peut, en effet, s'écarter de ± 1 unité du nombre vrai suivant la phase du phénomène mesuré avec l'instant du déclenchement de la base de temps.

Par ailleurs $\frac{\Delta T}{T}$ représente l'erreur relative existant sur la détermination du temps T , soit $\pm \epsilon = \frac{\Delta T}{T}$ cette erreur relative :

$$\text{On a alors : } \frac{\Delta F}{F} = \pm \frac{1}{N} \pm \epsilon$$

.....

Dans le cas particulier d'une base de temps de 1 seconde, on peut écrire $F = N$ et l'expression de l'erreur devient :

$$\Delta F = \pm 1 \pm F \cdot \xi$$

CONCLUSION -

Dans l'expression générale $\frac{\Delta F}{F} = \pm \frac{1}{N} \pm \xi$

remplaçons N par F.T.

on obtient :

$$\frac{\Delta F}{F} = \pm \frac{1}{F.T.} \pm \xi$$

Ce qui nous montre que la précision de mesure est d'autant meilleure :

- 1° - Que la valeur de ξ est faible - (Base de temps de grande précision)
- 2° - Que la fréquence mesurée F est élevée.
- 3° - Que la durée de comptage T est élevée.

MODE DE REALISATION DES GENERATEURS CHRONOMETRIQUES OU "BASES DE TEMPS"

On peut concevoir la réalisation d'une base de temps de différentes façons.

La méthode la plus couramment employée consiste à utiliser un maître oscillateur de haute précision (Oscillateur électronique utilisant un quartz étalon) suivi d'une chaîne de diviseurs de fréquence, permettant d'obtenir finalement des impulsions électriques brèves d'intervalle de temps T.

EXEMPLES -

Soit à obtenir une base de temps de 1 seconde.

On peut, par exemple, utiliser un quartz oscillateur de fréquence égale à 4.096 Hz, suivi d'une chaîne de 12 diviseurs binaires ($2^{12} = 4.096$).

Une telle base de temps possède, sans précautions particulières, une précision courante de :

$$5.10^{-5} \text{ ou } \frac{1}{20.000}^{\text{ème}}$$

.....

On peut, également, utiliser un quartz oscillateur thermostaté de fréquence égale à 100 KHz, suivi d'une chaîne de 5 diviseurs décimaux ($10^5 = 100.000$).

Cette dernière base de temps donne facilement une précision meilleure que 10^{-5} ($\frac{1}{100.000}$ ème).

BASES DE TEMPS MULTIPLES -

Il est aisé de disposer, sur un même générateur chronométrique, d'un de ces deux types, de signaux de base de temps de valeur inférieure à 1 seconde.

Ainsi, sur la base de temps à diviseurs binaires ($1/2$), les diviseurs précédant le dernier étage donneront les intervalles de $1/2$ sec., $1/4$ sec., $1/8$ sec., $1/16$ sec., etc ...

Sur la base de temps à diviseurs décimaux, on obtiendra les intervalles de temps de $1/10$ sec., $1/100$ sec., etc ...

De même, pour obtenir des intervalles de base de temps supérieurs à 1 seconde, il suffira de compléter la chaîne des diviseurs par de nouveaux diviseurs binaires, décimaux, ou de tout autre type, permettant d'obtenir les valeurs suivantes :

1 sec., 2 sec., 4 sec., 8 sec., etc ...
ou 1 sec., 10 sec., 100 sec., etc ...
ou 1 sec., 2 sec., 6 sec., 30 sec., 60 sec.

Si l'on désire obtenir des précisions supérieures à celles que nous venons de donner, il suffira d'utiliser des signaux étalons convenables.

(Par exemple : 100 KHz de précision $\pm 10^{-6}$ ou $\pm 10^{-7}$).

Indépendamment de ces types de base de temps couramment employés, on peut concevoir l'utilisation d'autres maîtres oscillateurs tels, par exemple, que les diapasons à oscillation entretenue.

2° - TACHYMETRES -

L'emploi d'un fréquencemètre électronique en tachymètre ou, si l'on préfère, en compteur instantané de nombre de tours, ne présente aucune difficulté.

Il suffit, tout simplement, de créer un signal électrique périodique de fréquence liés à la vitesse de rotation de l'organe contrôlé (Moteur électrique, moteur d'avion, turbine, etc ...)

.....

Pour ce faire, on utilise des convertisseurs spéciaux, dénommés couramment " capteurs d'impulsions " ou " transmetteurs d'impulsions ", ou encore " génératrices tachymétriques ", organes que l'on monte directement sur une extrémité de l'organe en rotation (arbre ou prise de mouvement).

Soit n le nombre d'impulsions délivré par le capteur pour 1 tour de l'organe tournant, on aura :

$$F = n.v.$$

Si v est la vitesse en tours par seconde (t/sec.)

Si la vitesse est exprimée, comme il est d'usage, en tours par minute (t/m.) on a :

$$V = 60.v$$

$$F = \frac{n.V}{60}$$

Portons cette valeur dans l'expression : $F = \frac{N}{T}$

$$F = \frac{N}{T} = \frac{n.V}{60}$$

$$\text{ou } V = \frac{60 N}{n.T}$$

Cette nouvelle forme nous montre que, pour obtenir un nombre N affiché donnant directement la valeur de la vitesse de rotation en tours/minute, on doit avoir :

$$n.T = 60$$

Entre autre, pour une base de temps de 1 seconde, on prendra $n = 60$. Inversement, pour $n = 1$ on choisira un temps de comptage de 1 minute.

CAPTEURS d'IMPULSIONS -

Ces organes sont généralement de 2 types :

a) Capteurs magnétiques, ou " à réluctance variable " -

Dans lesquels une roue dentée, liée au mouvement de rotation,

.....

fait partie d'un circuit magnétique comportant un aimant permanent et une bobine concentrique.

On dispose finalement, aux bornes de cette bobine, d'une tension électrique de fréquence liée à la vitesse où n est le nombre de dents de la roue dentée.

b) Capteurs photoélectriques -

dans lesquels on utilise les variations de la lumière reçue sur une cellule photoélectrique à partir d'une source lumineuse à faisceau concentré.

On peut employer :

- soit la lumière réfléchiée par un organe tournant présentant des discontinuités de surface naturelles ou provoquées (capteurs à réflexion),

- soit la coupure directe du faisceau par un organe auxiliaire lié au mouvement (roue dentée, disque perforé, etc ...) - (Capteurs à obturation).

3° - CHRONOMETRES -

Le principe des chronomètres électroniques à compteurs d'impulsions s'apparente intimement à celui des fréquencemètres.

Mais, alors que dans un fréquencemètre de ce type on effectue un comptage d'impulsions à temps constant, dans un chronomètre on effectue un comptage d'impulsions de fréquence constante pendant l'intervalle de temps à mesurer.

On intervertit simplement les rôles respectifs du signal et de la base de temps.

Un chronomètre électronique à compteurs d'impulsions comprendra donc :

- a) - Un compteur à décades.
- b) - Un générateur chronométrique délivrant une tension périodique étalon de fréquence f .
- c) - Des circuits auxiliaires recevant les signaux extérieurs (impulsions ou signaux de tension rectangulaires) dont on désire mesurer l'intervalle de temps ou la durée, reliés à un amplificateur commandé livrant ou non passage au signal fourni par le générateur chronométrique.

.....

EXPRESSION GENERALE -

Si f est la fréquence de l'oscillateur étalon, N le nombre lu et t le temps mesuré, on a, comme précédemment :

$$f = \frac{N}{t}$$

$$t = \frac{N}{f}$$

PRECISION DE MESURE -

$$\begin{aligned} \frac{\Delta t}{t} &= \pm \frac{\Delta N}{N} \pm \frac{\Delta f}{f} \\ &= \pm \frac{1}{N} \pm \delta \\ &= \pm \frac{1}{f.t.} \pm \delta \end{aligned}$$

On voit également que la précision de mesure est d'autant meilleure,

- 1° - Que la valeur de δ est faible (Signal étalon de grande précision)
- 2° - Que la fréquence étalon f est élevée.
- 3° - Que le temps mesuré t est élevé.

NATURE DES MESURES CHRONOMETRIQUES -

Les mesures chronométriques généralement rencontrées dans la pratique courante, sont de trois types :

- 1° - Mesure de l'intervalle de temps séparant deux impulsions provenant de 2 voies différentes (Balistique - Mesure d'un déphasage).
- 2° - Mesure de l'intervalle de temps séparant deux impulsions provenant d'une même voie (Balistique - Mesure d'une période).
- 3° - Mesure de la durée d'un signal continu appliqué et interrompu (Mesure du temps de réponse de relais électromagnétiques).

.....

4° - PERIODEMETRES -

L'utilisation d'un chronomètre électronique en périodemètre, découle du deuxième mode d'utilisation précédemment cité.

Il est toutefois à noter que, dans ce cas précis, il est possible d'augmenter la précision de mesure en ne se limitant pas à la mesure d'une période unique, mais en totalisant plusieurs périodes successives.

Si k est le nombre de périodes totalisées, on a alors :

$$t = \frac{1}{k} \frac{N}{f}$$

L'erreur est elle-même réduite dans le rapport k .

EXEMPLE -

Soit un chronomètre électronique possédant un oscillateur étalon de 100 KHz permettant d'effectuer la mesure des intervalles de temps au 1/100.000ème de seconde.

Si ce chronomètre possède par ailleurs un diviseur décimal a périodique interposé entre les signaux d'entrée et le compteur, il est clair que l'on pourra ainsi mesurer la durée de 10 périodes successives d'un signal incident.

La précision obtenue est alors de $\frac{1}{100.000}$ ème de seconde, pour 10 périodes ou de $\frac{1}{1.000.000}$ ème de seconde pour 1 période.

La période est ainsi mesurée, artificiellement, en microsecondes, et la précision finale décuplée.

DUALITE DES MESURES DE FREQUENCES ET DE TEMPS (OU DE PERIODES) -

L'expression de l'erreur des mesures fréquentométriques nous a montré que la précision relative était d'autant meilleure que la fréquence mesurée était élevée.

Inversement, l'expression de l'erreur des mesures chronométriques nous a montré que la précision relative était d'autant meilleure que la durée mesurée était élevée.

Si donc l'on dispose d'un équipement mixte, fréquencemètre-chronomètre, permettant d'effectuer les 2 modes de mesures, il est clair qu'en dessous d'une certaine fréquence on aura intérêt à fonctionner en périodemètre.

.....

Cette fréquence seuil au-dessus de laquelle il y a intérêt à fonctionner en fréquencesmètre et au-dessous de laquelle il y a intérêt à fonctionner en périodesmètre, est déterminée exactement par les caractéristiques technologiques de l'appareil et sa valeur fixée par le point d'intersection des 2 courbes d'erreur (toutes deux exprimées en fonction de F, par exemple).

Ce point d'intersection donne la valeur maximum de l'erreur fournie par l'appareil dans le cas le plus défavorable.

Voyons comment est déterminée cette valeur critique dans le cas type d'un équipement mixte fréquencesmètre-chronomètre-périodesmètre ayant les caractéristiques suivantes :

- a) - Oscillateur 100 KHz suivi de 5 diviseurs décimaux donnant des intervalles de base de temps de 1 seconde.

$$\text{- Précision de l'oscillateur : } \pm 10^{-5}$$

Le même oscillateur sert d'étalon de temps pour les mesures chronométriques.

- b) - Un diviseur décimal apériodique supplémentaire permet, en fréquencesmètre, d'effectuer des mesures sur une durée de 10 secondes, en périodesmètre, d'effectuer la totalisation de 10 périodes successives.

L'expression de l'erreur relative en fréquencesmètre donne :

$$e_f = \pm \frac{1}{10 F} \pm \xi$$

en périodesmètre

$$e_p = \pm \frac{1}{10 t.f.} \pm \xi$$

$$\text{mais } t = \frac{1}{F}$$

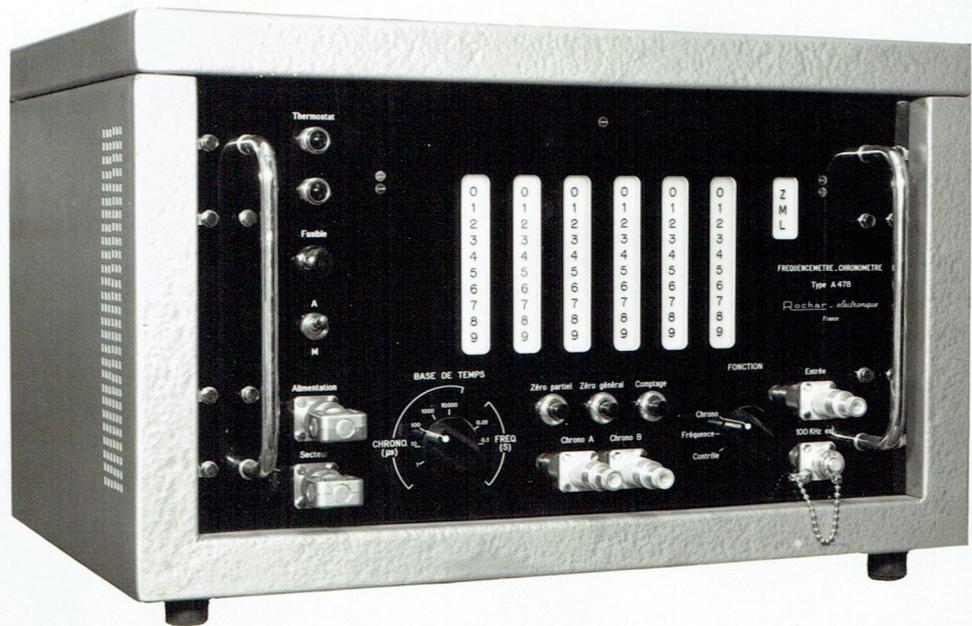
$$\text{d'où : } e_p = \pm \frac{F}{10 f} \pm \xi$$

la valeur critique est donnée par $|e_f| = |e_p|$

ou encore :

$$\frac{1}{10 F} = \frac{F}{10 f}$$

.....



FREQUENCIOMETRE - CHRONOMETRE

Type A - 479

R O C H A R Electronique

1° Mars 1955

71, rue Racine

MONTROUGE (Seine)

ALE. 00-07

NOTICE TECHNIQUE A.478

FREQUENCEMETRE - CHRONOMETRE

A. 478

A) - OBJET :

Les appareils A. 478 sont destinés à la mesure :

a) des FREQUENCES : de 10 Hz à 1 MHz.

b) des INTERVALLES DE TEMPS : de durée comprise entre $3/100.000^{\circ}$ de seconde et 10.000 secondes, soit un recouvrement de mesures de 3.10^8 .

B) - PRINCIPES :

(Voir notice technique sur les "principes généraux des Fréquenceètres, Tachymètres, Chronomètres et Périodmètres électroniques à compteurs d'impulsions").

C) - CARACTERISTIQUES PRINCIPALES :

1° - Base de temps :

Oscillateur à quartz thermostaté de fréquence 100 KHz et de précision 10^{-5} .

Cet oscillateur ainsi que les diviseurs décimaux périodiques qui le suivent permettent d'obtenir les différents temps de comptage, en fré-
quencemètre, et les différents étalons de temps, en chronomètre.

N.B. - Un commutateur et une entrée coaxiale spéciale permettent, éventuellement, de substituer à la tension fournie par l'oscillateur pilote une tension étalon extérieure de même fréquence (100 KHz) et de précision supérieure.

.../...

2° - Compteur électronique :

Le compteur électronique proprement dit est constitué de 5 décades de même type utilisant chacune 4 double-triodés et 1 décade rapide à 9 tubes doubles (capacité de comptage : 999.999.)

L'affichage du résultat est effectué en chiffres (Chiffres noirs sur fond translucide éclairé par des voyants à néon).

La fréquence limite admise par le compteur électronique est de 1,2 MHz environ.

3° - Circuits auxiliaires :

Ces circuits comportent :

- 1° - Un amplificateur écrêteur transformant les tensions d'entrée (en fréquencemètre) en signaux rectangulaires.

Les tensions d'entrée peuvent avoir une amplitude comprise entre 100 mV. et 50 volts efficaces (ou 0,30 et 150 volts crête à crête).
Impédance d'entrée : 1 m.Ω - 40 pF.

- 2° - Un basculeur électronique - amplificateur commandé 2 (A C 2). Circuit à 3 positions repérées par les indications lumineuses Z, M et L correspondant à :

Z - Remise à zéro (partielle ou générale)

M - Mesure (comptage)

L - Lecture (affichage du résultat).

- 3° - Un multiplicateur décimal alimenté par le 100 KHz de la base de temps et délivrant une tension sinusoïdale de 1 MHz servant éventuellement de base de temps chronométrique.

- 4° - Un amplificateur commandé (AC 1), constitué par un relais électronique commandé par les boutons poussoirs de comptage et de remise à zéro, provoquant successivement les différentes phases des mesures fréquentométriques.

.../...

5° - Des organes de commande, à savoir :

- a) Un combinateur de mesures (Fréquencemètre, Chronomètre ou Contrôle).
- b) Un combinateur de bases chronométriques et fréquences métriques permettant d'effectuer les mesures de temps en unités des valeurs suivantes :
 - 1) 10^{-6} sec. - ou "microsecondes".
 - 2) 10^{-5} sec. - ou "dizaines de microsecondes".
 - 3) 10^{-4} sec. - ou "centaines de microsecondes".
 - 4) 10^{-3} sec. - ou "millisecondes".
 - 5) 10^{-2} sec. - ou "dizaines de millisecondes".

et les mesures de fréquence durant les bases de temps suivantes :

- 1) 0,01 seconde
- 2) 0,1 seconde
- 3) 1 seconde.

Le recouvrement des mesures chronométriques s'étend ainsi de la précision de 1 microseconde à un intervalle de temps de 10.000 secondes chiffré en 1/100^o de seconde, couvrant ainsi un champ d'application extrêmement important (Balistique, chronométrie, contrôle des temps d'ouverture ou fermeture de relais, contacteurs, disjoncteurs, etc...)

e) Trois boutons poussoirs :

- Zéro partiel - La manoeuvre de ce bouton fait passer le basculeur de la position L à la position Z, sans remise à zéro du compteur.

L'appareil se trouve ainsi sensibilisé pour un nouveau comptage, ce qui permet d'effectuer la totalisation de mesures successives.

- Zéro général - La manoeuvre de ce bouton effectue simultanément la remise à zéro du compteur et le passage du basculeur de la position L à la position Z.

.../...

- Comptage - La manoeuvre de ce bouton provoque le déclenchement du comptage en position "Fréquencemètre".

Le retard maximum entre la commande et le déclenchement est de 1 seconde sur la base de temps 1 seconde, 0,1 seconde sur la base de temps 0,1 seconde et 0,01 seconde sur la base de temps 1/100^e de seconde.

4° - Entrées chronométriques :

Deux entrées coaxiales sont prévues pour les mesures chronométriques :

- Entrée A : Signal de déclenchement (" Start ").
- Entrée B : Signal d'arrêt (" Stop ").

Toutes ces mesures chronométriques sont effectuées automatiquement par comptage des alternances de l'oscillateur étalon ou des fréquences issues du multiplicateur décimal 1 MHz ou des diviseurs décimaux périodiques, grâce au combinatoire de bases de temps cité plus haut.

Pour assurer un bon déclenchement, les signaux appliqués en A et B doivent avoir une amplitude de 20 à 50 volts et doivent commencer par un front raide négatif de durée maximum 1 microseconde.

Un dispositif spécial bloque l'entrée B pendant une durée de 20 à 30 microsecondes après l'arrivée du signal de déclenchement sur A. Ceci évite toute interaction ou parasitage entre les entrées chronométriques. De plus, le fonctionnement sur paires d'impulsions appliquées en parallèle sur les entrées A et B est d'une sûreté de fonctionnement très grande.

N.B. - Dans le cas de signaux ne présentant pas ces caractéristiques, un dispositif extérieur de normalisation par tubes à gaz peut être adjoint.

D - MODE DE REALISATION ET PRESENTATION -

L'appareil A.478 se présente sous la forme d'un étage de rack aux dimensions normalisées :

Hauteur : 265 mm.

Largeur : 483 mm.

Il est fourni en coffret métallique protégé par laque de couleur gris martelé, muni de 4 pieds amortisseurs.

L'accessibilité aux organes intérieurs est obtenue grâce au couvercle supérieur se fermant par encliquetage.

.../...

Le panneau avant est constitué d'une platine métallique recouverte d'un panneau isolant en dilophane noire offrant une présentation particulièrement esthétique.

Les indications apparaissent en gravure blanche.

Ce panneau est, par ailleurs, muni de deux poignées latérales chromées pour la manutention et le fini de présentation.

Tous les organes de commande, raccordement et lecture sont concentrés sur le panneau avant.

On distingue, de gauche à droite et de bas en haut :

- L'entrée secteur (fiche Jaeger 3 broches).
- Une sortie pour l'alimentation d'organes détecteurs extérieurs (Cellules photoélectriques, circuits normalisateurs d'impulsions pour mesures chronométriques, etc...) (Fiche Jaeger 4 broches).
- L'interrupteur " ARRET - MARCHE ".
- Le fusible à vis.
- Le voyant de signalisation de mise sous tension.
- Le voyant de contrôle de thermostat du quartz.
- Le combineur de base de temps " CHRONO " et " FREQUENCE ".
- Les deux entrées coaxiales chronométriques A et B.
- Les trois boutons poussoirs de commande :
 - " ZERO PARTIEL " - " ZERO GENERAL " - " COMPTAGE ".
- Les six rangées de chiffres des décades électroniques du compteur.
- Les trois voyants marqués Z, M et L.
- Le combineur de mesures.
- L'entrée coaxiale de tension étalon extérieure (Emploi facultatif).
- L'entrée coaxiale du signal de mesure en fréquence-mètre.

.../...

ALIMENTATION

L'alimentation est prévue à partir du secteur monophasé 50 - 60 Hz, de tensions 110, 125, 145, 220 et 250 volts.

Le transformateur possède, à cet effet, une plaquette de distribution avec cavalier, facilement accessible, après ouverture du couvercle du coffret.

La consommation approximative est de 230 watts.
