

FORMULAIRE

COURS DE BASE
ELECTRONIQUE

ELECTROTECHNIQUE 1

Ce formulaire est consacré aux grandeurs électriques étudiées dans les premières leçons théoriques. D'une façon générale, les énoncés qui précèdent les formules fondamentales sont tirés directement des leçons citées entre parenthèses après chaque énoncé. Il peut être utile ou même nécessaire de revoir, dans les leçons théoriques, les notions qui sont à la base des formules mathématiques et de leurs applications.

Dans les formulaires d'électrotechnique, comme déjà dans le formulaire précédent consacré à la géométrie et à la physique, on utilise les unités de mesure du système *S. I.*, ou leurs multiples et sous-multiples propres. Certaines de ces unités de mesure ont déjà été présentées, quand l'argument traité le demandait, dans les leçons théoriques et dans les autres leçons du **Cours Radio Stéréo** ; mais, comme je vous l'ai déjà précisé, ces unités de mesure seront toutes répertoriées dans le *Formulaire 5*.

FORMULE 61 - Calcul de l'*INTENSITE DE COURANT*, connaissant la quantité d'électricité qui traverse la section d'un conducteur dans un temps donné (on a dit comment il fallait imaginer la section d'un conducteur dans la *Théorie 2, paragraphe 1.4*).

Énoncé : L'intensité de courant, exprimée en *ampère*, est donnée par la quantité d'électricité, exprimée en *coulomb*, qui traverse pendant chaque *seconde* une section du conducteur (*Théorie 2, paragraphe 1.4*).

Pour traduire en formule l'énoncé précédent, il suffit d'observer que la quantité d'électricité passant en une seconde à travers la section d'un conducteur, s'obtient en divisant le montant de la quantité d'électricité, passant dans l'intervalle de temps considéré, par le temps passé.

$$I = \frac{Q}{t}$$

I = intensité du courant en A (ampère)
 Q = quantité d'électricité en C (coulomb)
 t = temps en seconde

Exemple :

Données : $Q = 10$ C, $t = 4$ sec.

Intensité de courant : $I = \frac{10}{4} = 2,5$ A

FORMULE 62 - Calcul de la *QUANTITE D'ELECTRICITE* qui traverse la section d'un conducteur en un temps donné, connaissant l'*intensité du courant*.

$$Q = I t$$

Q = quantité d'électricité en C (coulomb)
 I = intensité de courant en A (ampère)
 t = temps en seconde

(La présente formule a été tirée de la formule 61 suivant les règles de calcul exposées dans la *Mathématique 1*).

Exemple :

Données : $I = 2,5 \text{ A}$, $t = 4 \text{ sec}$.

Quantité d'électricité : $Q = 2,5 \times 4 = 10 \text{ C}$.

FORMULE 63 - Calcul du *TEMPS* nécessaire pour qu'une quantité d'électricité donnée passe à travers la section d'un conducteur, l'intensité du courant étant connue.

$$t = \frac{Q}{I}$$

t = temps en seconde
 Q = quantité d'électricité en C (coulomb)
 I = intensité de courant en A (ampère)

(La présente formule a été tirée de la formule 61 suivant les règles de calcul exposées dans la *Mathématique 1*).

Exemple :

Données : $Q = 10 \text{ C}$, $I = 2,5 \text{ A}$

Temps : $t = \frac{10}{2,5} = 4 \text{ sec}$.

FORMULE 64 - Calcul de la *RESISTANCE* d'un conducteur, connaissant la *résistivité* du matériau, la *longueur* et la *section* de ce même conducteur.

Enoncé : la résistance d'un conducteur, exprimée en *ohm*, s'obtient en multipliant la résistivité, exprimée en *microohm par mètre*, par la longueur exprimée en *mètres*, et en divisant le produit par la section, exprimée en *millimètres carrés* (*Théorie-3, paragraphe 2.1*).

$$R = \frac{\rho l}{S}$$

R = résistance en Ω (ohm)
 ρ = résistivité en $\mu\Omega\text{m}$ (microohm par mètre)
 l = longueur en mètre
 S = section en millimètre carré

Exemple :

Données relatives à un conducteur de cuivre : $\rho \approx 0,0176 \mu\Omega\text{m}$ (résistivité du cuivre ; *tableau III, figure 1*), $l = 100 \text{ m}$, $S = 0,7854 \text{ mm}^2$.

$$\text{Résistance du conducteur : } R = \frac{0,0176 \times 100}{0,7854} = \frac{1,76}{0,7854} = 2,24 \Omega$$

OBSERVATION - Dans la colonne centrale du *tableau III (figure 1)*, les valeurs de résistivité des principales substances conductrices électriques sont exposées. Ces valeurs sont exprimées en microohm par mètre ($\mu\Omega\text{m}$), sous-multiple de l'unité de mesure ohm par mètre (Ωm).

$$1 \mu\Omega\text{m} = 0,000001 \Omega\text{m}$$

$$1 \Omega\text{m} = 1.000.000 \mu\Omega\text{m}$$

On utilise quelquefois dans les manuels techniques le symbole $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ (ohm par millimètre carré au mètre), qui a cependant la même signification que $\mu\Omega\text{m}$.

Dans la *Mathématique 1, paragraphe 2.1* le sous-multiple Ωcm (ohm par centimètre) a été utilisé pour une plus grande simplicité de calcul :

$$1 \Omega\text{cm} = 0,01 \Omega\text{m}$$

$$1 \Omega\text{m} = 100 \Omega\text{cm}$$

en outre, dans le même paragraphe on a exprimé la longueur du conducteur en cm, au lieu de m, et la section en cm^2 au lieu de mm^2 .

Pourtant, soit dans l'exemple précédent, soit dans les exemples de la *Mathématique 1*, on a choisi les unités de mesure de façon à ce que lors de la fin des calculs la résistance du conducteur soit exprimée en ohm.

L'unité de résistivité ohm par mètre (Ωm) n'est pas utilisée en pratique pour indiquer la résistivité des conducteurs.

TABLEAU III		
MATERIAUX	RESISTIVITE ($\mu\Omega \text{ m}$)	COEFFICIENT DE TEMPERATURE
ACIER (Alliage)	0,10 \pm 0,25	0,0050
ALDREY (Alliage)	0,032	0,0036
ALUMINIUM	0,028	0,0040
ANTICORODAL (Alliage)	0,037	0,0036
ANTIMOINE	0,042	0,0036
ARGENTAN (Alliage)	0,380	0,00007
ARGENT	0,016	0,0038
BISMUTH	1,200	0,0040
BRONZE PHOSPHOREUX	0,05 \pm 0,1	0,0039
CHARBON de Cornue	39	-
COSTANTAN (Alliage)	0,5	Zéro environ
CUIVRE	0,0176	0,0039
ETAIN	0,115	0,0043
FER	0,098	0,0060
FER NICKEL (Alliage)	0,85 \pm 0,92	0,0004 \pm 0,001
FER SILICIUM	0,27 \pm 0,67	-
PONTE (Alliage)	0,6 \pm 1,6	-
GERMANIUM	1,1	-
GRAPHITE	4 \pm 20	-
LAITON (Alliage)	0,07	0,0015
MANGANINE (Alliage)	0,435	0,00001
MERCURE	0,958	0,00089
MONEL METAL (Alliage)	0,420	0,0020
NICKEL	0,724	0,0060
NICKEL CHROME (Alliage)	0,9 \pm 1,04	0,00011
OR	0,0235	0,0036
PLATINE	0,1	0,0036
PLOMB	0,215	0,00395
SILICIUM	0,58	-
TERRE	10 \pm 1000 ($\Omega \text{ m}$)	-
TUNGSTENE	0,055	0,0045
ZINC	0,060	0,0037

RESISTIVITE ET COEFFICIENT DE TEMPERATURE DE QUELQUES MATERIAUX (à 20° C)

Figure 1

FORMULE 65 - Calcul de la *LONGUEUR* d'un conducteur, connaissant la *résistance* et la *section* du conducteur et la *résistivité* du matériau.

$$l = \frac{R S}{\rho}$$

l = longueur en mètre
 R = résistance en Ω (ohm)
 S = section en mm^2
 ρ = résistivité en $\mu\Omega\text{m}$ (microohm par mètre)

(La présente formule a été tirée de la *formule 64* suivant les règles de calcul exposées dans la *Mathématique 1*).

Exemple :

Données relatives à un conducteur nickel chrome : $R = 10 \Omega$;
 $S = 0,7854 \text{ mm}^2$, $\rho = 1,04 \mu\Omega\text{m}$ (résistivité du nickel chrome ;
tableau III, figure 1).

Longueur du conducteur : $l = \frac{10 \times 0,7854}{1,04} = \frac{7,854}{1,04} \approx 7,552 \text{ m}$

FORMULE 66 - Calcul de la *SECTION* d'un conducteur, connaissant la *résistivité* du matériau, la *longueur* et la *résistance* de ce même conducteur.

$$S = \frac{\rho l}{R}$$

S = section en mm^2
 ρ = résistivité en $\mu\Omega\text{m}$ (microohm par mètre)
 l = longueur en mètre
 R = résistance en Ω (ohm)

(La présente formule a été tirée de la *formule 64* suivant les règles de calcul exposées dans la *Mathématique 1*).

Exemple :

Données relatives à un conducteur de constantan : $\rho = 0,5 \mu\Omega\text{m}$ (résistivité du constantan ; *tableau III, figure 1*), $l = 100 \text{ m}$, $R = 63,66 \Omega$

$$\text{Section du conducteur : } S = \frac{0,5 \times 100}{63,66} = \frac{50}{63,66} \approx 0,7854 \text{ mm}^2$$

FORMULE 67 - Calcul de la *RESISTIVITE* du matériau d'un conducteur connaissant la *section*, la *résistance* et la *longueur* de ce même conducteur.

$$\rho = \frac{S R}{l}$$

ρ = résistivité en $\mu\Omega\text{m}$ (microohm par mètre)
 S = section en mm^2
 R = résistance en Ω (ohm)
 l = longueur en mètre

(La présente formule a été tirée de la *formule 64* suivant les règles de calcul exposées dans la *Mathématique 1*).

Exemple :

Données relatives à un conducteur électrique de matériau imprécisé :
 $S = 1,76 \text{ mm}^2$, $R = 14 \Omega$, $l = 3 \text{ m}$.

$$\text{Résistivité du matériau : } \rho = \frac{1,76 \times 14}{3} = \frac{24,64}{3} \approx 8,21 \mu\Omega \text{ m}$$

OBSERVATION - Pour que le résultat obtenu représente effectivement la résistivité du matériau, il faut que la composition de ce même matériau soit homogène.

FORMULE 68 - Calcul de la *SECTION* d'un conducteur filiforme, connaissant le *diamètre* (on a expliqué comment devait s'entendre la section d'un conducteur dans la *Théorie 2, paragraphe 1.4*).

$$S \approx 0,7854 d^2 \quad \begin{array}{l} S = \text{section du fil en mm}^2 \\ d = \text{diamètre du fil en mm} \end{array}$$

(La présente formule représente une application de la *formule 19, Formulaire 1*).

Exemple :

Données : $d = 0,1 \text{ mm}$

Section du fil : $S \approx 0,7854 \times 0,1^2 = 0,7854 \times 0,01 = 0,007854 \text{ mm}^2$.

OBSERVATION - Dans les deux premières colonnes de gauche du *tableau IV (figure 2)* on a indiqué respectivement les valeurs du diamètre et de la section des fils de nickel chrome, constantan et manganine : ceux-ci é t a n t fréquemment utilisés dans les installations électriques. Si le diamètre d'un fil est égal à l'une des deux valeurs indiquées dans la première colonne, on peut déterminer la valeur correspondante de section en lisant directement dans la deuxième colonne. Les diamètres sont exprimés en millimètres et les sections en millimètres carrés.

FORMULE 69 - Calcul du *DIAMETRE* d'un fil, connaissant la valeur de la *section*.

$$d \approx 1,128 \sqrt{S} \quad \begin{array}{l} d = \text{diamètre en mm} \\ S = \text{section en mm}^2 \end{array}$$

Exemple :

Données : $S = 3,1416 \text{ mm}^2$

Diamètre du fil : $d \approx 1,128 \times \sqrt{3,1416} \approx 1,128 \times 1,77 = 1,99656 \approx 2 \text{ mm}$
(valeur approximative par excès).

TABLEAU IV				
DIAMETRE (mm)	SECTION (mm ²)	RESISTANCE AU METRE A FROID (Ω/m)		
		NICKEL CHROME	COSTANTAN	MANGANINE
0,10	0,007854	114	63,6	55,3
0,15	0,017672	50,9	28,2	23,6
0,20	0,031416	28,6	15,9	13,8
0,25	0,049086	18,3	10,0	8,86
0,30	0,070686	12,7	7,07	6,15
0,35	0,096212	9,35	5,19	4,52
0,40	0,125664	7,16	3,97	3,46
0,45	0,159043	5,65	3,14	2,73
0,50	0,196350	4,58	2,54	2,21
0,60	0,282744	3,18	1,76	1,53
0,70	0,384846	2,33	1,29	1,13
0,80	0,502656	1,79	0,994	0,865
0,90	0,636174	1,41	0,785	0,683
1,00	0,785400	1,14	0,636	0,553
1,20	1,130976	0,795	0,442	0,384
1,50	1,767150	0,508	0,282	0,246

RESISTANCE AU METRE DE QUELQUES FILS POUR RESISTANCES
(A LA TEMPERATURE AMBIANTE)

Figure 2

OBSERVATION - Dans les deux premières colonnes de gauche du *tableau IV* (*figure 2*) on a indiqué respectivement les valeurs du diamètre et de la section des fils de nickel chrome, constantan et manganine : ceux-ci étant fréquemment utilisés dans les installations électriques. Si la section du fil correspond approximativement à l'une des valeurs indiquées dans la deuxième colonne, on peut prendre comme valeur du diamètre correspondant le chiffre reporté à la première colonne. Par exemple, pour une valeur de section égale à $0,28 \text{ mm}^2$ (ou bien $0,283 \text{ mm}^2$, $0,2827 \text{ mm}^2$, $0,28274 \text{ mm}^2$) on prendra le diamètre $0,60 \text{ mm}$ qui donne dans le *tableau IV* une section de $0,282744 \text{ mm}^2$.

FORMULE 70 - Calcul de la **CONDUCTANCE** d'un conducteur électrique, connaissant sa *résistance*.

Énoncé : La conductance, exprimée en *siemens* (appelé également *mho*), est l'inverse de la résistance, exprimée en *ohm* (*Théorie 3, paragraphe 2,2*).

Pour transcrire en formule le précédent énoncé, il suffira de se souvenir que l'on obtient l'inverse d'une grandeur en prenant la réciproque de sa valeur, c'est-à-dire en divisant le nombre 1 par la valeur de la grandeur considérée.

$$G = \frac{1}{R} \quad \begin{array}{l} G = \text{conductance en S (siemens ou mho)} \\ R = \text{résistance en } \Omega \text{ (ohm)} \end{array}$$

Exemple :

Données : $R = 20 \Omega$

Conductance : $G = \frac{1}{20} = 0,05 \text{ siemens}$

FORMULE 71 - Calcul de la *RESISTANCE* d'un conducteur, connaissant sa *conductance*.

$$R = \frac{1}{G} \quad \begin{array}{l} R = \text{résistance en } \Omega \text{ (ohm)} \\ G = \text{conductance en S (siemens ou mho)} \end{array}$$

(La présente formule a été tirée de la *formule 70* suivant les règles de calcul exposées dans la *Mathématique 1*).

Exemple :

Données : $G = 0,25 \text{ S}$.

$$\text{Résistance : } R = \frac{1}{0,25} = 4 \Omega$$

FORMULE 72 - Calcul de la *CONDUCTIVITE* d'un conducteur, connaissant sa *résistivité*.

Énoncé : La conductivité, exprimée en *siemens au mètre* (appelé aussi *mho au mètre*) est égale à l'inverse de la *résistivité*, exprimée en *ohm par mètre*.

Pour transcrire en formule l'énoncé précédent, il suffit de se souvenir que l'on obtient l'inverse d'une grandeur en prenant la réciproque de sa valeur, c'est-à-dire en divisant le nombre 1 par la valeur de la grandeur considérée.

$$\gamma = \frac{1}{\rho} \quad \begin{array}{l} \gamma = \text{conductivité en S/m (siemens au mètre ou mho au mètre)} \\ \rho = \text{résistivité en } \Omega\text{m (ohm par mètre)} \end{array}$$

Exemple :

Données : $\rho = 50 \Omega\text{m}$ (résistivité du terrain dans un lieu humide, *tableau III, figure 1*).

$$\text{Conductivité : } \gamma = \frac{1}{50} = 0,02 \text{ S/m.}$$

OBSERVATION - Si la résistivité est exprimée en *microhm par mètre* (voir la *formule 64*), en appliquant la *formule 72* on obtient la valeur de conductivité exprimée en *mégasiemens au mètre* (MS/m) :

$$1 \text{ MS/m} = 1.000.000 \text{ S/m}$$

$$1 \text{ S/m} = 0,000001 \text{ MS/m}$$

Le mégasiemens au mètre est indiqué par le symbole $\text{m}/\Omega\text{mm}^2$ (mètre à l'ohm par millimètre carré).

FORMULE 73 - Calcul de la *RESISTIVITE* d'un conducteur, connaissant sa *conductivité*.

$$\rho = \frac{1}{\gamma}$$

ρ = résistivité en Ωm (ohm par mètre)

γ = conductivité en S/m (siemens au mètre, ou mho au mètre)

(La présente formule a été tirée de la *formule 72* suivant les règles de calcul exposées dans la *Mathématique 1*).

Exemple :

Données : $\gamma = 2.000.000 \text{ S/m}$ (conductivité maximum du constantan)

$$\text{Résistivité du constantan : } \rho = \frac{1}{2.000.000} = 0,000\ 000\ 5 \Omega\text{m} = 0,5 \mu\Omega\text{m}$$

(valeur reportée dans le *tableau III, figure 1*)

FORMULE 74 (Loi d'OHM) - Calcul de la *RESISTANCE* d'un circuit connaissant la *tension* appliquée et l'*intensité du courant*.

Enoncé : La résistance, exprimée en *ohm*, s'obtient en divisant la ten-

sion, exprimée en *volt*, par l'intensité du courant, exprimée en *ampère* (*Théorie 3, paragraphe 3*).

$$R = \frac{V}{I}$$

R = résistance en Ω (ohm)

V = tension en V (volt)

I = intensité de courant en A (ampère)

Exemple :

Données : V = 150 V, I = 0,2 A.

Résistance du circuit : $R = \frac{150}{0,2} = 750 \Omega$

OBSERVATION - La *formule 74* peut aussi s'appliquer en exprimant la tension et l'intensité du courant respectivement en sous-multiples (ou en multiples) du *volt* ou de l'*ampère* ; en particulier on peut exprimer la tension en *millivolt* (mV ; 1 mV = 0,001 V) et l'intensité du courant en *milliampère* (mA ; 1 mA = 0,001 A) : la résistance sera exprimée en *ohm*. Si pourtant la tension est exprimée en *volt* et l'intensité du courant en *milliampère*, la résistance sera exprimée en *kiloohm* (k Ω ; 1 k Ω = 1.000 Ω). On exprime quelquefois la tension en *volt* et l'intensité du courant en *microampère* (μ A ; 1 μ A = 0,000001 A) ; dans ce cas, en appliquant la *formule 74*, on obtient la résistance exprimée en *mégohm* (M Ω ; 1 M Ω = 1.000.000 Ω).

FORMULE 75 (Loi d'OHM) - Calcul de la *TENSION* appliquée à un circuit, connaissant la *résistance* et l'*intensité du courant*.

$$V = R I$$

V = tension en V (volt)
 R = résistance en Ω (ohm)
 I = intensité de courant en A (ampère)

(La présente formule a été tirée de la *formule 74*, suivant les règles de calcul exposées dans la *Mathématique 1*).

Exemple :

Données : $R = 1,500 \Omega$, $I = 0,1 \text{ A}$.

Tension appliquée : $V = 1.500 \times 0,1 = 150 \text{ V}$.

OBSERVATION - La *formule 75* peut aussi s'appliquer en exprimant la résistance et l'intensité de courant respectivement dans les multiples et sous-multiples de l'*ohm* et de l'*ampère* ; on peut en particulier exprimer I la résistance en *kiloohm* ($k\Omega$) et l'intensité de courant en *milliampère* (mA) ; la tension sera exprimée en *volt* (voir ce qui a été dit à propos de ce sujet dans l'observation qui suit la *formule 74* ; le même argument sera traité en général dans le *Formulaire 5*).

FORMULE 76 (Loi d'OHM) - Calcul de l'*INTENSITE DU COURANT* connaissant la *résistance* et la *tension* appliquée au circuit.

$$I = \frac{V}{R}$$

I = intensité de courant en A (ampère)
 V = tension en V (volt)
 R = résistance en Ω (ohm)

(La présente formule a été tirée de la *formule 74* suivant les règles de calcul exposées dans la *Mathématique 1*).

Exemple :

Données : $V = 90 \text{ V}$, $R = 180 \Omega$.

Intensité de courant : $I = \frac{90}{180} = 0,5 \text{ A}$.

OBSERVATION - La *formule 76* peut aussi s'appliquer en exprimant la tension et la résistance respectivement en sous-multiples ou en multiples du *volt* et de l'*ohm*. Par exemple, la tension peut être exprimée en *millivolt* (mV) et la résistance en *ohm* ; dans ce cas, l'intensité de courant sera exprimée

en *milliampère* (mA) ; d'une façon analogue, la tension peut être exprimée en *volt* et la résistance en *kiloohm* (kΩ) : l'intensité de courant calculée sera exprimée en *milliampère* (voir ce qui a été dit à ce sujet dans l'observation qui suit la *formule 74* ; le même argument sera traité en général dans le *Formulaire 5*).

FORMULE 77 - Calcul de la *RESISTANCE TOTALE* d'un circuit formé de plusieurs résistances reliées en série, connaissant *leurs valeurs*.

Énoncé : La résistance présentée totalement par plusieurs résistances reliées en série, s'obtient en additionnant les diverses valeurs des résistances. (*Théorie 3, paragraphe 4.1*).

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

R_t = résistance totale

R_1 = valeur de la première résistance

R_2 = valeur de la deuxième résistance

R_3 = valeur de la troisième résistance

R_n = valeur de la dernière résistance

Les valeurs de résistance doivent être exprimées toutes dans la même unité de mesure.

a) - Données : $R_1 = 300 \Omega$ (ohm), $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$ (kiloohm) = 1.000 Ω .

Résistance totale : $R_t = 300 + 1.000 = 1.300 \Omega$.

b) - Données : $R_1 = 2 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 0,5 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 1.500 \Omega = 1,5 \text{ k}\Omega$.

Résistance totale : $R_t = 2 + 0,5 + 1,5 = 4 \text{ k}\Omega$.

c) - Données : $R_1 = 0,5 \text{ M}\Omega$ (mégohm ; $1 \text{ M}\Omega = 1.000.000 \Omega$),

$R_2 = 2,7 \text{ M}\Omega$, $R_3 = 300 \text{ k}\Omega = 0,3 \text{ M}\Omega$, $R_n = R_4 = 1 \text{ M}\Omega$

Résistance totale : $R_t = 0,5 + 2,7 + 0,3 + 1 = 4,5 \text{ M}\Omega$.

FORMULE 78 - Calcul de la *CONDUCTANCE TOTALE* d'un circuit formé par plusieurs résistances reliées en parallèle, connaissant *leurs résistances*.

Énoncé : La conductance présentée totalement par plusieurs résistances reliées en parallèle s'obtient en additionnant les diverses conductances respectives des résistances (*Théorie 3, paragraphe 4.1*).

$$G_t = G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_n$$

G_t = conductance totale

G_1 = conductance de la première résistance

G_2 = conductance de la deuxième résistance

G_3 = conductance de la troisième résistance

G_n = conductance de la dernière résistance

Les valeurs de conductance doivent être exprimées toutes dans la même unité de mesure.

Exemple :

Données : $G_1 = 10.000$ S (siemens), $G_2 = 15.000$ S, $G_3 = 5.000$ S,
 $G_n = 60.000$ S.

Conductance totale : $G_t = 10.000 + 15.000 + 5.000 + 60.000 = 90.000$ S.

FORMULE 79 - Calcul de la *RESISTANCE EQUIVALENTE* de plusieurs résistances reliées en parallèle, connaissant *leurs résistances*.

Énoncé : La résistance équivalente de plusieurs résistances reliées en parallèle s'obtient en exécutant les calculs en trois temps : on calcule d'abord la conductance de chaque résistance (*formule 70*) ; ensuite on calcule la conductance totale des résistances en parallèle (*formule 78*) ; enfin on calcule la résistance équivalente, c'est-à-dire la résistance qui correspond à la conductance totale (*formule 71*).

Tous les calculs indiqués dans le précédent énoncé peuvent se représenter au moyen de la formule suivante :

$$R_e = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}}$$

R_e = résistance équivalente

R_1 = valeur de la première résistance

R_2 = valeur de la deuxième résistance

R_3 = valeur de la troisième résistance

R_n = valeur de la dernière résistance

Les valeurs de résistance doivent être exprimées toutes dans la même unité de mesure.

Exemple :

Données : $R_1 = 200 \Omega$ (ohm), $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$ (kiloohm) = 1.000Ω , $R_3 = 20 \Omega$,
 $R_4 = 500 \Omega$, $R_n = R_5 = 100 \Omega$.

Résistance équivalente des cinq résistances reliées en parallèle :

$$\begin{aligned} R_e &= \frac{1}{\frac{1}{200} + \frac{1}{1.000} + \frac{1}{20} + \frac{1}{500} + \frac{1}{100}} = \\ &= \frac{1}{0,005 + 0,001 + 0,05 + 0,002 + 0,01} = \\ &= \frac{1}{0,068} \approx 14,7 \Omega \text{ (valeur approximative par défaut).} \end{aligned}$$

FORMULE 80 - Calcul de la *RESISTANCE EQUIVALENTE* de deux résistances reliées en parallèle, connaissant *leurs résistances*.

Enoncé : La résistance équivalente de deux résistances reliées en parallèle s'obtient en multipliant les valeurs des deux résistances et en divisant le produit par la somme de ces valeurs.

$$R_e = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

R_e = résistance équivalente
 R_1 = valeur d'une résistance
 R_2 = valeur de l'autre résistance

Les valeurs de résistance doivent être exprimées toutes dans la même unité de mesure.

Exemple :

Données : $R_1 = 2 \text{ k}\Omega$ (kiloohm) = 2.000Ω (ohm), $R_2 = 800 \Omega$

Résistance équivalente de deux résistances reliées en parallèle :

$$R_e = \frac{2.000 \times 800}{2.000 + 800} = \frac{1.600.000}{2.800} \approx 571,4 \Omega \text{ (valeur approximative par défaut)}$$

OBSERVATION - Pour calculer la valeur de la résistance équivalente de deux résistances on peut également se servir de la *formule 79* :

$$\begin{aligned}
 R_e &= \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{1}{\frac{1}{2.000} + \frac{1}{800}} = \frac{1}{0,0005 + 0,00125} = \\
 &= \frac{1}{0,00175} \approx 571,4 \Omega
 \end{aligned}$$

FORMULE 81 - Calcul de la *VALEUR* d'une résistance à mettre en parallèle à une *autre résistance* pour obtenir une *résistance donnée équivalente*, la valeur de la *seconde résistance* étant connue.

Énoncé : La valeur d'une résistance à mettre en parallèle à une autre résistance pour obtenir une résistance donnée équivalente, se calcule en multipliant la valeur de la résistance connue par la résistance équivalente et en divisant le produit par la différence de ces mêmes valeurs.

$$R_i = \frac{R \times R_e}{R - R_e}$$

R_i = résistance inconnue
 R = valeur de la résistance connue
 R_e = résistance équivalente que l'on veut obtenir

Les valeurs de résistance doivent être exprimées toutes dans la même unité de mesure.

Exemple :

Données : $R = 2.000 \Omega$ (ohm), $R_e = 600 \Omega$.

$$\text{Résistance inconnue : } R_i = \frac{2.000 \times 600}{2.000 - 600} = \frac{1.200.000}{1.400} \approx 857 \Omega$$

(valeur approximative par défaut).

FORMULE 82 - Calcul de la *RESISTANCE EQUIVALENTE* de deux ou plusieurs résistances de valeur égale, montées en parallèle.

Énoncé : La résistance équivalente de deux ou plusieurs résistances de valeur égale s'obtient en divisant la valeur donnée par le nombre de résistances.

$$R_e = \frac{R}{n}$$

R_e = résistance équivalente
 R = valeur des résistances
 n = nombre de résistances

La résistance équivalente sera exprimée dans la même unité de mesure utilisée pour indiquer la valeur des résistances.

Exemple :

a) - Données : $R = 1.200 \Omega$ (ohm), $n = 2$.

$$\text{Résistance équivalente : } R_e = \frac{1.200}{2} = 600 \Omega.$$

b) - Données : $R = 150 \text{ k}\Omega$ (kiloohm), $n = 3$.

$$\text{Résistance équivalente : } R_e = \frac{150}{3} = 50 \text{ k}\Omega.$$

c) - Données : $R = 2 \text{ M}\Omega$ (mégohm), $n = 4$.

$$\text{Résistance équivalente : } R_e = \frac{2}{4} = 0,5 \text{ M}\Omega = 500 \text{ k}\Omega.$$

FORMULE 83 - Calcul de la *FORCE ELECTROMOTRICE* que l'on obtient en reliant en série deux ou plusieurs piles, connaissant la *force électromotrice de chaque pile*.

Énoncé : En mettant en série deux ou plusieurs piles, on obtient une force électromotrice égale à la somme des forces électromotrices de chaque pile (*Théorie 3, paragraphe 4.2*).

$$E_t = E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n$$

E_t = force électromotrice totale

E_1 = force électromotrice de la première pile

E_2 = force électromotrice de la deuxième pile

E_3 = force électromotrice de la troisième pile

E_n = force électromotrice de la dernière pile

Les forces électromotrices doivent être exprimées toutes dans la même unité de mesure.

Exemple :

Données : $E_1 = 4,5 \text{ V (volt)}$, $E_2 = 4,5 \text{ V}$, $E_3 = 9 \text{ V}$, $E_n = E_4 = 9 \text{ V}$.

Force électromotrice totale : $E_t = 4,5 + 4,5 + 9 + 9 = 27 \text{ V}$.

FORMULE 84 - Calcul de l'*INTENSITE DE COURANT MAXIMUM* que peuvent fournir deux ou plusieurs piles quand elles sont reliées en parallèle, connaissant l'*intensité de courant maximum de chacune des piles*.

Énoncé : L'intensité de courant (maximum) qui peut être fournie ensemble par deux ou plusieurs piles égales, reliées en parallèle, est égale à la somme des intensités de courant (maxima) de chacune des piles (*Théorie 3, paragraphe 4.2*).

$$I_t = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

I_t = intensité de courant totale

I_1 = intensité de courant de la première pile

I_2 = intensité de courant de la deuxième pile

I_3 = intensité de courant de la troisième pile

I_n = intensité de courant de la dernière pile

Les intensités de courant doivent être exprimées toutes dans la même unité de mesure.

Exemple :

Données : $I_1 = 0,5 \text{ A (ampère)}$, $I_2 = 0,5 \text{ A}$, $I_3 = 0,5 \text{ A}$, $I_n = I_4 = 0,3 \text{ A}$.

Les tensions des quatre piles sont égales, mais alors que les trois premières admettent la même intensité de courant maximum (0,5 A), la dernière admet une intensité de courant maximum moins grande que les précédentes (0,3 A). Le cas peut se trouver quand on utilise des piles de fabrication différente.

Intensité de courant totale : $I_t = 0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,3 = 1,8 \text{ A}$.

FORMULE 85 - Calcul de la *PUISSANCE ELECTRIQUE* d'un appareil, connaissant la *tension* appliquée et l'*intensité de courant* absorbée.

Enoncé : La puissance électrique, exprimée en *watt*, s'obtient en multipliant la tension, exprimée en *volt*, par l'intensité du courant, exprimée en *ampère* (*Théorie 4, paragraphe 1.2*).

$$P = V I$$

P = puissance électrique en W (watt)
V = tension en V (volt)
I = intensité de courant en A (ampère)

Exemple :

Données : $V = 220 \text{ V}$, $I = 1,5 \text{ A}$.

Puissance : $P = 220 \times 1,5 = 330 \text{ W}$.

FORMULE 86 - Calcul de l'*INTENSITE DE COURANT* absorbée par un appareil, connaissant la *tension* appliquée et la *puissance électrique* de cet appareil.

$$I = \frac{P}{V}$$

I = intensité de courant absorbée en A (ampère)
P = puissance électrique en W (watt)
V = tension appliquée en V (volt)

(La présente formule a été tirée de la *formule 85* suivant les règles de calcul exposées dans la *Mathématique 1*).

Exemple :

Données : $P = 300 \text{ W}$, $V = 220 \text{ V}$.

Intensité de courant : $I = \frac{300}{220} \approx 1,36 \text{ A}$ (valeur approximative par défaut).

FORMULE 87 - Calcul de la *TENSION* appliquée à un appareil, connaissant l'*intensité de courant* absorbée et la *puissance électrique* de cet appareil.

$$V = \frac{P}{I}$$

V = tension appliquée en V (volt)
P = puissance électrique en W (watt)
I = intensité de courant absorbée en A (ampère)

(La présente formule a été tirée de la *formule 85* suivant les règles de calcul exposées dans la *Mathématique 1*).

Exemple :

Données : $P = 1.200 \text{ W}$, $I = 5,45 \text{ A}$.

Tension appliquée : $V = \frac{1.200}{5,45} \approx 220 \text{ V}$.

FORMULE 88 - Calcul de l'*ENERGIE ELECTRIQUE* consommée par un appareil, connaissant la *puissance électrique* de cet appareil et le *temps* de fonctionnement.

Enoncé : L'énergie consommée par un appareil électrique, exprimée en *watt par seconde*, s'obtient en multipliant la puissance de l'appareil, exprimée en *watt*, par le temps de fonctionnement, exprimé en *secondes* (*Théorie, paragraphe 1.2*).

$$W = P t$$

W = énergie consommée en W sec (watt par seconde)
P = puissance électrique en W (watt)
t = temps en sec.

Exemple :

Données : $P = 600 \text{ W}$, $t = 5 \text{ min (minutes)} = 300 \text{ sec}$.

Energie consommée : $W = 600 \times 300 = 180.000 \text{ W sec}$.

OBSERVATION - Le watt par seconde (Wsec), unité de mesure utilisée pour exprimer la quantité d'énergie électrique consommée, est équivalente à 1 joule (J), unité de mesure de l'énergie et du travail mécanique :

$$1 \text{ W sec} = 1 \text{ J.}$$

En pratique, pour indiquer les consommations domestiques et industrielles de l'énergie électrique, on utilise un multiple du watt par seconde, le *kilowatt/heure (kWh)* :

$$1 \text{ kWh} = 3.600.000 \text{ W sec} ; 1 \text{ W sec} = \frac{1}{3.600.000} \text{ kWh.}$$

Le résultat de l'exemple précédent peut s'exprimer en kWh au moyen de l'équivalence $180.000 \text{ W sec} = \frac{180.000}{3.600.000} \text{ kWh} = 0,05 \text{ kWh}$.

Si, dans la *formule 88*, la puissance est exprimée en kilowatt (kW ; 1 kW = 1.000 W) et le temps en heures (h ; 1 h = 60 min = 3.600 sec), l'énergie consommée sera exprimée en *kilowatt/heure*.

Par exemple, si $P = 800 \text{ W} = 0,8 \text{ kW}$ et $t = 30 \text{ min} = 0,5 \text{ h}$, l'énergie consommée sera de :

$$W = 0,8 \times 0,5 = 0,4 \text{ kWh.}$$

FORMULE 89 - Calcul de la *PUISSANCE ELECTRIQUE* dissipée par effet Joule par une résistance, connaissant l'*intensité de courant* et la *valeur* de cette résistance.

Enoncé : La puissance électrique, exprimée en *watt*, dissipée par une résistance, s'obtient en multipliant la résistance, exprimée en *ohm*, par le carré du courant qui la parcourt, exprimé en *ampère* (*Théorie 4, paragraphe 1.3*).

$$P = R I^2$$

P = puissance électrique en W (watt)
R = résistance en Ω (ohm)
I = intensité de courant en A (ampère)

Exemple :

Données : $R = 125 \Omega$, $I = 0,3 \text{ A}$.

Puissance électrique dissipée : $P = 125 \times 0,3^2 = 125 \times 0,09 = 11,25 \text{ W}$.

FORMULE 90 - Calcul de la *VALEUR D'UNE RESISTANCE*, connaissant la *puissance électrique dissipée* et l'*intensité de courant* qui la parcourt.

$$R = \frac{P}{I^2}$$

R = résistance en Ω (ohm)

P = puissance dissipée en W (watt)

I = intensité de courant en A (ampère)

(La présente formule a été tirée de la *formule 89* suivant les règles de calcul exposées dans la *Mathématique 1*).

Exemple :

Données : $P = 100 \text{ W}$, $I = 0,5 \text{ A}$.

Résistance : $R = \frac{100}{0,5^2} = \frac{100}{0,25} = 400 \Omega$

FORMULE 91 - Calcul de l'*INTENSITE DE COURANT* qui parcourt une résistance, connaissant la *puissance électrique dissipée* et la *valeur* de cette résistance.

Énoncé : L'intensité de courant qui parcourt une résistance, exprimée en *ampère*, s'obtient en divisant la puissance dissipée, exprimée en *watt*, par la résistance, exprimée en *ohm*, et en extrayant la racine carrée du quotient obtenu.

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}}$$

I = intensité de courant en A (ampère)

P = puissance électrique en W (watt)

R = résistance en Ω (ohm)

Exemple :

Données : $P = 1.200 \text{ W}$, $R = 300 \Omega$

$$\text{Intensité de courant : } I = \sqrt{\frac{1.200}{300}} = \sqrt{4} = 2 \text{ A.}$$

FORMULE 92 - Calcul de la *PUISSANCE ELECTRIQUE* dissipée par effet Joule dans une résistance, connaissant la *tension* appliquée et la *valeur* de cette résistance.

Énoncé : La puissance électrique exprimée en *watt*, dissipée par une résistance, s'obtient en divisant le carré de la tension, exprimée en *volt*, par la résistance, exprimée en *ohm* (*Théorie 4, paragraphe 1.3*).

$$P = \frac{V^2}{R}$$

P = puissance électrique en W (watt)
 V = tension en V (volt)
 R = résistance en Ω (ohm)

Exemple :

Données : $V = 220 \text{ V}$, $R = 242 \Omega$.

$$\text{Puissance électrique dissipée : } P = \frac{220^2}{242} = \frac{48.400}{242} = 200 \text{ W.}$$

FORMULE 93 - Calcul de la *VALEUR D'UNE RESISTANCE*, connaissant la *puissance électrique dissipée* et la *tension* appliquée à cette résistance.

$$R = \frac{V^2}{P}$$

R = résistance en Ω (ohm)
 V = tension appliquée en V (volt)
 P = puissance électrique dissipée en W (watt)

(La présente formule a été tirée de la *formule 92* suivant les règles de calcul exposées dans la *Mathématique 1*).

Exemple :

Données : $V = 220 \text{ V}$, $P = 400 \text{ W}$.

$$\text{Résistance : } R = \frac{220^2}{400} = \frac{48.400}{400} = 121 \Omega$$

FORMULE 94 - Calcul de la *TENSION* appliquée à une résistance, connaissant la *puissance électrique dissipée* et la *valeur* de cette résistance.

Énoncé : La tension appliquée à une résistance, exprimée en *volt*, s'obtient en multipliant la puissance dissipée, exprimée en *watt*, par la résistance exprimée en *ohm*, et en extrayant la racine carrée du produit obtenu.

$$V = \sqrt{P R}$$

V = tension appliquée en V (volt)
 P = puissance électrique dissipée en W (watt)
 R = résistance en Ω (ohm)

Exemple :

Données : $P = 600 \text{ W}$, $R = 24 \Omega$

$$\text{Tension appliquée : } V = \sqrt{600 \times 24} = \sqrt{14.400} = 120 \text{ V.}$$

FORMULE 95 - Calcul de la *QUANTITE DE CHALEUR* obtenue en transformant par effet Joule une *quantité d'énergie électrique* donnée (pour le calcul de l'énergie électrique, voir la *formule 88*).

Énoncé : La quantité de chaleur exprimée en *grandes calories*, produite par une résistance par effet Joule, s'obtient en multipliant l'énergie électrique, exprimée en *watt par seconde (Joule)*, dissipée par une résistance par le nombre fixe 0,000238 (*Théorie 4, paragraphe 1.3*).

$$Q_c \approx 0,000238 W$$

Q_c = quantité de chaleur en Cal (grandes calories)
 W = énergie électrique en W sec (watt par seconde) ou bien en J (joule).

Exemple :

Données : Energie électrique dissipée par une résistance, $W = 0,5$ kWh (kilowatt/heure) = $3.600.000 \times 0,5 = 1.800.000$ W sec (pour l'équivalence entre le kilowatt/heure et le watt par seconde, voir l'observation qui suit la *formule 88*).

Quantité de chaleur produite par la résistance : $Q_c \approx 0,000238 \times 1.800.000 = 428,4$ Cal.

FORMULE 96 - Calcul de la *RESISTANCE A CHAUD* d'un conducteur, connaissant l'*augmentation de température*, le *coefficient de température* du matériau et la *résistance* du conducteur à la température ambiante (20°C).

Énoncé : En augmentant la température d'un conducteur, on augmente sa résistance électrique (*Théorie 4, paragraphe 1.4*).

Pour préparer le calcul de la résistance à chaud d'un conducteur, il faut compléter l'énoncé de la façon suivante : la résistance à chaud, exprimée en *ohm*, s'obtient en additionnant la résistance du conducteur à température ambiante (20°C), avec le produit du coefficient de température du matériau, de la résistance à la température ambiante et de l'augmentation de température exprimée en *degrés centigrades*.

Les coefficients de température des principaux matériaux conducteurs sont reportés dans la dernière colonne de droite du *tableau III* (*figure 1*).

$$R_t = R_{20} + \alpha R_{20} (t - 20)$$

R_t = résistance à chaud (à la température t) en Ω (ohm)

R_{20} = résistance à froid (à la température de 20°C) en Ω (ohm)

α = coefficient de température du matériau

t = température du conducteur chaud en $^{\circ}\text{C}$ (degrés centigrades)

$t - 20$ = augmentation de température en $^{\circ}\text{C}$ (degrés centigrades)

Exemple :

Données relatives à un conducteur de tungstène : $R_{20} = 30 \Omega$ (résistance à froid du conducteur) ; $\alpha = 0,0045$ (coefficient de température du tungstène) ; $t = 320^\circ\text{C}$ (température du conducteur).

Augmentation de température du conducteur : $t - 20 = 320 - 20 = 300^\circ\text{C}$.

Résistance à chaud du conducteur : $R_t = 30 + 0,0045 \times 30 \times 300 =$
 $= 30 + 40,5 = 70,5 \Omega$

FORMULE 97 - Calcul de la *RESISTANCE AU METRE* à froid (à 20°C) d'un fil de chauffage, (radiateur électrique, etc...) connaissant la *section* du fil et la *résistivité* du matériau.

$$R/m = \frac{\rho}{S}$$

R/m = résistance au mètre en Ω/m (ohm au mètre)
 ρ = résistivité en $\mu\Omega m$ (microohm par mètre)
 S = section en mm^2

(La présente formule a été tirée de la *formule 64* donnant à la longueur du fil la valeur de 1 m).

Exemple :

Données relatives à un conducteur de nickel chrome : $\rho = 0,9 \mu\Omega m$ (résistivité de nickel chrome à la température de 20°C ; *tableau III, figure 1*), $S = 0,007854 \text{ mm}^2$ (section du fil)

Résistance au mètre (à 20°C) : $R/m = \frac{0,9}{0,007854} \approx 114 \Omega/m$

OBSERVATION - Dans le *tableau IV (figure 2)* on a reporté les valeurs de résistance au mètre des fils de nickel chrome, constantan et manganine pour les sections d'usage le plus fréquent dans les applications électriques.

FORMULE 98 - Calcul de la *RESISTANCE AU METRE* à chaud d'un fil de chauffage connaissant la *résistance au mètre à froid* (*formule 97*), le *coefficient de température* du matériau (*tableau III, figure 1*) et la *température de fonctionnement* du fil de chauffage.

$$(R/m)_t = (R/m)_{20} + \alpha (R/m)_{20} (t - 20)$$

$(R/m)_t$ = résistance au mètre à la température de fonctionnement du fil de chauffage en Ω/m (ohm au mètre)

$(R/m)_{20}$ = résistance au mètre à la température ambiante en Ω/m (ohm au mètre)

α = coefficient de température du matériau

t = température de fonctionnement du fil de chauffage en $^{\circ}C$ (degrés centigrades)

$t - 20$ = augmentation de température en $^{\circ}C$ (degrés centigrades)

(La présente formule a été tirée de la *formule 96*, substituant le symbole de la résistance R , au symbole de la résistance au mètre R/m).

Exemple :

Données : $(R/m)_{20} = 5,65 \Omega/m$ (résistance au mètre à froid d'un fil de nickel chrome ayant un diamètre de 0,45 mm ; *tableau IV, figure 2*), $\alpha = 0,00011$ (coefficient de température du nickel chrome ; *tableau III, figure 1*), $t = 1.020^{\circ}C$ (température de fonctionnement du fil de chauffage).

Augmentation de température pendant le passage de la température ambiante à la température de fonctionnement du réchauffeur :
 $t - 20 = 1.020 - 20 = 1.000^{\circ}C$.

Résistance au mètre à $1.020^{\circ}C$: $(R/m)_t = 5,65 + 0,00011 \times 5,65 \times 1000$
 $= 5,65 + 0,6215 = 6,2715 \approx 6,28 \Omega/m$ (valeur approximative par excès).

OBSERVATION - Le calcul de la résistance au mètre à chaud d'un fil de chauffage est nécessaire pour en déterminer la longueur, quand on connaît la valeur de résistance qu'il doit avoir pendant le fonctionnement, c'est-à-dire sa résistance à chaud. Pour mieux expliquer avec un exemple pratique, voyons comment on doit procéder dans le calcul de la résistance au nickel chrome d'un appareil électrique par réchauffement.

Calcul de la résistance d'un appareil de chauffage (four électrique, étuve électrique, etc...).

Données : Le four est alimenté avec la tension de 220 V et doit dissiper une puissance de 600 W à la température d'environ 1.020°C (température de fonctionnement du fil de chauffage).

Procédé :

1) - On calcule l'intensité du courant qui alimente le four dans des conditions normales de fonctionnement ; dans ce but on utilise la *formule 86* :

$$I = \frac{P}{V} = \frac{600}{220} \approx 2,73 \text{ A (valeur approximative par excès)}$$

2) - Se basant sur la valeur de courant calculé, on choisit la section du fil ; pour le courant de 2,73 A, il faudra choisir un fil de nickel chrome de diamètre de 0,45 mm, correspondant à la section de 0,159043 mm² (*tableau 4, figure 2*). D'une façon générale, pour faire ce choix, il faut connaître la *densité de courant* nécessaire pour maintenir le fil de nickel chrome à la température de fonctionnement.

Par la suite, dans le *Formulaire 4*, nous verrons comment procéder pour calculer la section d'un fil conducteur, connaissant la densité de courant admise par le matériau et l'intensité du courant qui doit passer dans le fil ; il vous suffit de connaître maintenant les diamètres des fils, qui sont indiqués dans la cinquième colonne, en partant de la gauche, sur le *tableau V (figure 3)* en correspondance avec les diverses valeurs du courant, reportées dans la troisième colonne.

3) - On calcule la valeur de la résistance à chaud que le fil doit présenter pour dissiper la puissance de 600 W, la tension de 220 V étant appliquée ; on utilisera dans ce but, la *formule 93* :

TABLEAU V						
Puissan. absorbée (W)	Tension (V)	Courant (A)	Résist. du fil à chaud (Ω)	Diamè. du fil (mm)	Résist. au mètre à chaud (Ω/m)	Longueur du Fil (m)
300	110	2,73	40,33	0,45	6,28	6,42
	130	2,31	56,33	0,40	7,94	7,09
	140	2,14	63,33	0,40	7,94	7,98
	160	1,87	85,33	0,35	10,37	8,22
	220	1,36	161,33	0,30	14,09	11,45
	260	1,15	225,33	0,25	20,31	11,09
600	110	5,45	20,17	0,80	1,99	10,14
	130	4,62	28,17	0,60	3,43	8,21
	140	4,29	32,67	0,60	3,43	9,52
	160	3,75	42,67	0,60	3,43	12,44
	220	2,73	80,67	0,45	6,28	12,84
	260	2,31	112,67	0,40	7,94	14,19
900	110	8,18	13,44	1,00	1,26	10,66
	130	6,92	18,78	0,90	1,56	12,03
	140	6,43	21,78	0,80	1,99	10,94
	160	5,62	28,44	0,70	2,59	10,98
	220	4,09	53,78	0,60	3,43	15,68
	260	3,46	75,11	0,60	3,43	21,89
1200	110	10,9	10,08	1,20	0,88	11,45
	130	9,23	14,08	1,00	1,26	11,17
	140	8,57	16,33	1,00	1,2	12,96
	160	7,50	21,33	0,90	1,56	13,67
	220	5,45	40,33	0,70	2,59	15,57
	260	4,62	56,33	0,70	2,59	21,75

FILS DE CHAUFFAGE DE NICKEL CHROME (DONNEES SE REFERANT A LA RESISTIVITE DE $0,9 \mu\Omega$ ET A LA TEMPERATURE DU FIL A ENVIRON $1000^{\circ} C$)

Figure 3

$$R = \frac{V^2}{P} = \frac{220^2}{600} = \frac{48.400}{600} = 80,6666 \approx 80,67 \Omega \text{ (valeur approximati-}$$

ve par excès)

4) - En consultant le *tableau IV (figure 2)*, on détermine la résistance au mètre à froid du fil de nickel chrome ayant le diamètre de 0,45 mm (section 0,159043 mm²) ; la valeur indiquée sur le tableau est de 5,65 Ω/m.

5) - Connaissant la valeur de la résistance au mètre à froid du fil de nickel chrome choisi, on calcule la valeur de la résistance au mètre de ce même fil à la température de fonctionnement (1.020°C) ; dans ce but, on utilise la *formule 98* :

$$(R/m)_t = (R/m)_{20} + \alpha (R/m)_{20} (t - 20) = 5,65 + 0,00011 \times 5,65 \times \\ \times 1.000 = 5,65 + 0,6215 = 6,2715 \approx 6,28 \Omega/m \text{ (valeur ap-}$$

proximative par excès).

On peut éviter ce calcul en reprenant la valeur de la résistance au mètre à chaud dans le *tableau V (figure 3)* en correspondance avec les valeurs 600 W et 220 V.

6) - Connaissant la valeur de la résistance à chaud du fil (80,67 Ω) et la valeur de la résistance au mètre à chaud (6,28 Ω) on calcule la longueur du fil en divisant la première valeur par la seconde :

$$\frac{80,67}{6,28} \approx 12,84 \text{ m.}$$

Pour construire un four électrique fonctionnant avec la tension de 220 V, à la température d'environ 1.000°C (1.020 dans les calculs), de façon à dissiper une puissance de 600 W, on peut donc utiliser un fil de nickel chrome ayant le diamètre de 0,45 mm et la longueur de 12,84 m.

Dans le *tableau V (figure 3)* on a rassemblé les données relatives à quelques fils de nickel chrome utilisables en tant que réchauffeurs pour diverses puissances de dissipation et pour diverses tensions de fonctionnement.

Toutes les données reportées sur ce tableau se rapportent à une température de fonctionnement d'environ 1.000°C (1.020°C théoriques) et ont été calculés pour un nickel chrome ayant la résistivité de 0,9 μΩm (*tableau III figure 1*). La valeur de la résistivité du nickel chrome n'a pas été mentionnée

dans le calcul, mais a été introduite précédemment dans la *formule 97* pour calculer les résistances au mètre indiquées dans le *tableau IV (figure 2)*, c'est-à-dire les valeurs des résistances au mètre à froid utilisées successivement dans la *formule 98* pour calculer les résistances au mètre à chaud indiquées sur le *tableau V*.

FORMULE 99 - Calcul de la *PUISSANCE ELECTRIQUE* d'un appareil relié au secteur, connaissant le *temps* de fonctionnement, le *nombre correspondant de tours* du disque visible au compteur et le *nombre de tours au kilowatt/heure* indiqué pour chaque type d'appareil.

Enoncé : La puissance électrique, exprimée en *watt*, s'obtient en multipliant par 3.600.000 le *nombre de tours* du disque tournant (*figure 4*) et en divisant le produit obtenu par le *nombre de tours au kilowatt/heure* (2.160 tours/kWh dans le cas du compteur de la *figure 4*) et par le temps de fonctionnement, exprimé en *secondes*.

$$P = \frac{3.600.000n}{N t}$$

P = puissance électrique en W (watt)
n = nombre de tours du disque du compteur
N = nombre de tours au kilowatt/heure (tours/kWh) du compteur
t = temps employé par le disque pour accomplir n tours en secondes

Exemple :

Données : n = 18 tours (comptés lorsque l'appareil seul dont on veut déterminer la puissance électrique est branché au secteur), N = 2.160 tours/kWh (indiqués sur le cadran du compteur de la *figure 4*), t = 30 sec (temps employé pour accomplir 18 tours, mesurés avec un chronomètre).

$$\text{Puissance électrique de l'appareil : } P = \frac{3.600.000 \times 18}{2.160 \times 30} = \frac{64.800.000}{64.800} = 1.000 \text{ W.}$$

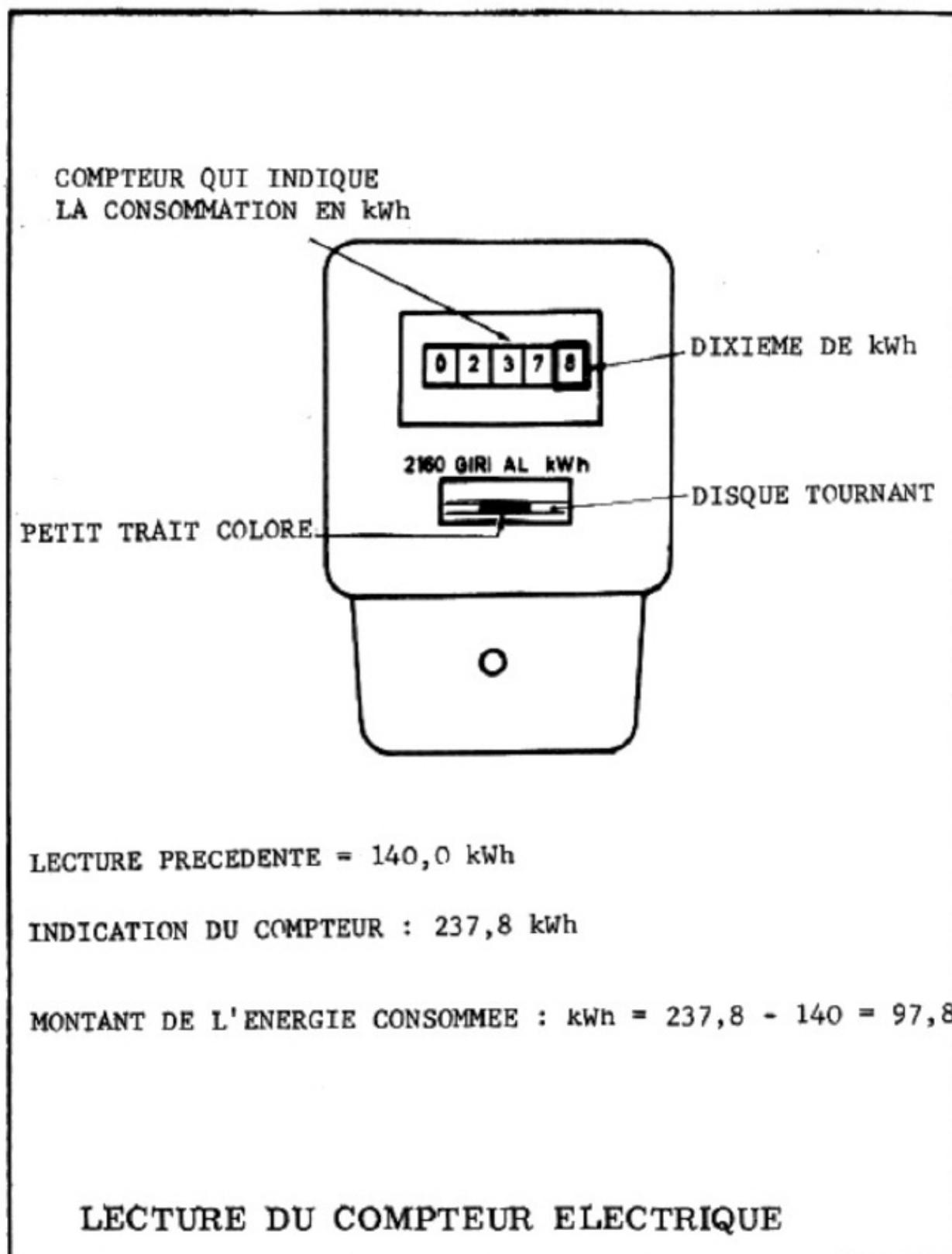


Figure 4

OBSERVATION - Pour établir le nombre de tours (n) accomplis par le disque tournant du compteur, on compte combien de fois, pendant le temps considéré, le petit trait rouge (*figure 4*) passe d'un côté à l'autre de la petite fenêtre à travers laquelle on voit ce disque.

Sur les compteurs, l'indication du nombre de "tours au kilowatt/heure" est presque toujours remplacée par l'indication équivalente "tours par kilowatt/heure" ou bien par le symbole *TOURS/kWh*.

FORMULE 100 - Calcul du *COÛT* de l'énergie électrique consommée par un appareil, connaissant la *quantité d'énergie consommée* et le *prix unitaire* de l'énergie.

Énoncé : le coût en *Francs* de l'énergie s'obtient en multipliant la quantité d'énergie consommée, exprimée en *kilowatt/heure*, par le prix unitaire, exprimé en *Francs par kilowatt/heure*.

$$C = p W$$

C = coût de l'énergie électrique en F (Francs)
 p = prix unitaire de l'énergie électrique en F/kWh (Franc au kilowatt/heure)
 W = énergie électrique en kWh (kilowatt/heure)

Exemple :

Données : $p = 0,40/\text{kWh}$, $W = 97,8 \text{ kWh}$ (voir les indications portées à la *figure 4*).

Coût : $C = 0,40 \times 97,8 = 39,12 \text{ F}$.

FORMULE 101 - Calcul du *COÛT À L'HEURE* de l'énergie consommée par un appareil électrique, connaissant la *puissance* de l'appareil et le *prix unitaire* de l'énergie.

Énoncé : Le coût à l'heure, exprimé en *Francs*, de l'énergie consommée par un appareil électrique s'obtient en divisant par 1.000 le produit en-

tre la puissance, exprimée en *watt*, et le prix unitaire, exprimé en *Francs au kilowatt/heure*.

$$C/h = \frac{P \cdot p}{1.000}$$

C/h = coût à l'heure en F (francs)
 P = puissance électrique en W (watt)
 p = prix unitaire de l'énergie électrique en F/kWh
(Francs au kilowatt/heure)

Exemple :

Données : $P = 100$ W (puissance d'une petite lampe), $p = 0,40$ F/kWh

$$\text{Coût à l'heure : } C/h = \frac{100 \times 0,40}{1.000} = \frac{40}{1.000} = 0,04 \text{ F soit 4 centimes.}$$

