EURELEC

FORMULAIRE

COURS DE BASE
ELECTRONIQUE

ELECTROTECHNIQUE 3

Ce formulaire comprend quelques formules d'électrotechnique générale, mais il est surtout consacré au calcul des transformateurs d'alimentation d'usage courant.

Il est vrai qu'il n'arrive pas souvent au technicien-électronicien d'avoir à étudier un transformateur d'alimentation, puisqu'il est plus simple et plus avantageux d'acquérir le transformateur déjà monté ou d'en confier la construction à un laboratoire équipé dans ce but.

Pourtant, il n'est pas inutile de se pencher au moins une fois sur des calculs de ce genre, étant donné qu'au moyen des calculs de projets, on arrive à une meilleure connaissance des caractéristiques générales des transformateurs.

La dernière partie de ce formulaire est consacrée exclusivement aux instructions pour l'emploi des abaques jointes à cette leçon.

FORMULE 157 - Calcul de l'*impédance* présentée par une bobine et par une résistance en série, connaissant la *réactance* de la bobine et la valeur de la *résistance*.

Enoncé : L'impédance se calcule en extrayant la racine carrée du nombre obtenu en additionnant le carré de la résistance et le carré de la réactance *(Théorie 10, Paragraphe 1)*.

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L{}^2}$$

Z	= impédance
R	= résistance
X_L	= réactance inductive

Toutes les grandeurs représentées dans cette formule doivent être exprimées dans la même unité de mesure, soit en ohm, ou bien dans l'un des multiples ou des sous-multiples de l'ohm.

Exemple

Données : $R = 300\ \Omega$ (ohm), $X_L = 400\ \Omega$.

Impédance du circuit : $Z = \sqrt{300^2 + 400^2} = \sqrt{90.000 + 160.000} =$

$= \sqrt{250.000} = 500\ \Omega$.

FORMULE 158 - Calcul de l'*inductance* d'une bobine à noyau ferromagnétique fermé, connaissant la *perméabilité relative à l'air* du noyau et l'*inductance* de cette bobine sans noyau, c'est-à-dire, par exemple, l'inductance de l'enroulement calculé au moyen de la *formule 129 (Formulaire 3)*.

Enoncé : L'inductance d'une bobine à noyau ferromagnétique fermé, est égale à celle de la bobine sans noyau, multipliée par la perméabilité relative à l'air du matériau constituant le noyau même *(Théorie 10, Paragraphe 2)*.

$$L = \mu_r\ L_o$$

L	= inductance d'une bobine à noyau fermé
μ_r	= perméabilité magnétique relative à l'air du matériau constituant le noyau
L_o	= inductance de l'enroulement sans noyau

Les deux inductances doivent être exprimées dans les mêmes unités de mesure, c'est-à-dire en *henry*, ou alors dans ses sous-multiples.

Exemple

Données : Perméabilité relative du fer silicium, $\mu_r = 7.000$ (valeur maximum) ; inductance de la bobine sans noyau, $L_0 = 0{,}0008$ H (henry).

Inductance de la bobine à noyau fermé de fer silicium :

$$L = 7.000 \times 0{,}0008 = 5{,}6 \text{ H}.$$

OBSERVATION - La perméabilité relative des matériaux ferro-magnétiques varie selon la variation de l'intensité de magnétisation de ce même matériau. Pour cette raison aussi, l'inductance calculée au moyen de la *formule 158* varie selon la variation de l'intensité de magnétisation du noyau. La valeur de la perméabilité relative, considérée dans l'exemple, a été tirée du *tableau VII (figure 3)* du *Formulaire 3.*

FORMULE 159 - Calcul de la *réluctance* d'un circuit magnétique, connaissant la *longueur du circuit*, la *section* et la *perméabilité absolue* du matériau qui constitue ce circuit.

Enoncé : La réluctance d'un circuit magnétique, exprimée en *ampère-tour par weber*, s'obtient en divisant la longueur du circuit, exprimée en *mètres*, par la section, exprimée en *mètres carrés* et par la perméabilité absolue du matériau, exprimée en *henry par mètre* *(Théorie 10, Paragraphe 2).*

Si on change les unités de mesure par ses sous-multiples respectifs, soit le mètre avec le centimètre, le mètre carré avec le centimètre carré et le henry par mètre avec le microhenry par mètre, pour obtenir la réluctance en ampère-tour par weber, il faut multiplier la longueur du circuit par le nombre fixe 100.000.000.

$$\mathcal{R} = \frac{100.000.000\ l}{\mu S}$$

$\mathcal{R}$ = réluctance en At/Wb (ampère-tour par weber).

l = longueur du circuit en centimètre.

μ = perméabilité absolue du matériau en μH/m (microhenry par mètre).

S = section en cm^2.

Exemple

Données : l = 40 cm, μ = 125.000 μH/m (perméabilité absolue maximum de l'alliage magnétique mumétal), S = 12 cm^2.

Réluctance que le circuit magnétique présente en correspondance avec la perméabilité absolue maximum du matériau :

$$= \frac{100.000.000 \times 40}{125.000 \times 12} = \frac{4.000.000.000}{1.500.000} = \frac{40.000}{15} \approx$$

$\approx$ 2.666 At/Wb.

OBSERVATION - Pour le calcul de la perméabilité magnétique absolue du matériau, connaissant sa perméabilité relative au vide ou à l'air, on applique la *formule 127 (Formulaire 3).*

FORMULE 160 - Calcul du *rapport de transformation* d'un transformateur, connaissant la *tension primaire* et la *tension secondaire.*

Enoncé : En divisant la tension primaire d'un transformateur par sa tension secondaire,on obtient le rapport de transformation du transformateur *(Théorie 11, Paragraphe 1 - 2).*

$$n = \frac{V'}{V''}$$

n = rapport de transformation

V' = tension primaire

V'' = tension secondaire

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

Exemple

Données : V' = 220 V (volt), V'' = 5 V.

Rapport de transformation : $n = \dfrac{220}{5} = 44$.

FORMULE 161 - Calcul de la *tension secondaire* d'un transformateur, connaissant le rapport de transformation et la tension primaire.

$$V'' = \frac{V'}{n}$$

V'' = tension secondaire

V' = tension primaire

n = rapport de transformation.

(Cette formule a été tirée de la *formule 160* en suivant les règles du calcul littéral exposées dans *Mathématiques 1*).

Exemple

Données : V' = 220 V (volt), n = 10.

Tension secondaire : $V'' = \dfrac{220}{10} = 22$ V.

OBSERVATION - En général, le rapport de transformation des transformateurs est indiqué sous la forme d'une division ou d'une fraction. Par exemple, on peut avoir 44 : 1, soit 44/1, au lieu de 44 (exemple de la *formule 160*) ; et, d'une manière analogue on peut avoir 22 :1 (ou bien 22/1) au lieu de 22 ; 1 : 2 (ou bien 1/2) au lieu de 0,5 : 3 (ou bien 1/3) au lieu de 0,333...etc. Si le rapport de transformation est donné sous forme de division ou de fraction, on peut effectuer la division et utiliser le quotient de la *formule 161* au lieu de n. Par exemple, si le rapport de transformation est 1:4 on calcule le quotient 1 : 4 = 0,25 et on pose n = 0,25.

FORMULE 162 - Calcul de la *tension primaire* d'un transformateur, connaissant le *rapport de transformation* et la *tension secondaire.*

$$V' = n\,V''$$

V' = tension primaire

n = rapport de transformation

V'' = tension secondaire

(Cette formule a été tirée de la *formule 160* en suivant les règles du calcul littéral exposées dans *Mathématiques 1*).

Exemple

Données : $n = 4$, $V'' = 55$ V.

Tension primaire : $V' = 4 \times 55 = 220$ V.

(Voir l'observation qui suit la *formule 161*).

FORMULE 163 - Calcul du *rapport de transformation* d'un transformateur, connaissant le *nombre de spires primaires* et le *nombre de spires secondaires.*

Enoncé : Le rapport de transformation d'un transformateur est égal au nombre obtenu en divisant les spires primaires par les spires secondaires *(Théorie 11, Paragraphe 1 - 2).*

$$n = \frac{N'}{N''}$$

n = rapport de transformation

N' = nombre de spires primaires

N'' = nombre de spires secondaires

Exemple

Données : $N' = 432$ spires, $N'' = 27$ spires.

Rapport de transformation : $n = \dfrac{432}{27} = 16$.

FORMULE 164 - Calcul du *nombre de spires secondaires* d'un transformateur, connaissant le *rapport de transformation* et le *nombre de spires primaires.*

$$N'' = \frac{N'}{n}$$

N'' = nombre de spires secondaires

N' = nombre de spires primaires

n = rapport de transformation

(Cette formule a été tirée de la *formule 163*, en suivant les règles du calcul littéral exposées dans *Mathématiques 1*).

Exemple

Données : $N' = 420$ spires, $n = 20$.

Nombre de spires secondaires : $N'' = \dfrac{420}{20} = 21$ spires.

(Voir l'*observation* qui suit la *formule 161).*

FORMULE 165 - Calcul du *nombre de spires primaires* d'un transformateur, connaissant le *rapport de transformation* et le *nombre de spires secondaires.*

$$N' = n\,N''$$

N' = nombre de spires primaires

n = rapport de transformation

N'' = nombre de spires secondaires

(Cette formule a été tirée de la *formule 163*, en suivant les règles du calcul littéral exposées dans *Mathématiques 1*).

Exemple

Données : $n = 1 : 4 = 0{,}25$, $N'' = 2.060$ spires.

Nombre de spires primaires : $N' = 0{,}25 \times 2.060 = 515$ spires.

(Voir l'*observation* qui suit la *formule 161*).

FORMULE 166 - Calcul de la *force électromotrice induite dans le primaire* d'un transformateur, connaissant la *fréquence*, la valeur maximum du *flux d'induction* et le *nombre de spires* du primaire.

(La force électromotrice induite dans le primaire d'un transformateur d'alimentation est pratiquement égale à la valeur efficace de la tension de secteur qui est appliquée au primaire afin que le noyau travaille avec le flux d'induction prévu).

Enoncé : La force électromotrice induite dans le primaire d'un transformateur (et donc la valeur efficace de la tension de secteur que l'on doit appliquer à un transformateur d'alimentation), exprimée en volt, doit être égale au produit du nombre 4,44 pour la fréquence, exprimée en hertz, par la valeur maximum du flux, exprimée en weber et par le nombre de spires du primaire *(Théorie 11, Paragraphe 1 - 2)*.

$$E' = 4{,}44\, f\, \Phi_{max}\, N'$$

E' = force électromotrice induite dans le primaire en V (volt).

f = fréquence en hz (hertz).

Φ_{max} = valeur maximum du flux d'induction en Wb (weber).

N' = nombre de spires du primaire

Exemple

Données : $f = 50$ Hz, $\Phi_{max} = 0{,}001147$ Wb, $N' = 432$ spires.

Force électromotrice induite dans le primaire :

$E' = 4{,}44 \times 50 \times 0{,}001147 \times 432 = 222 \times 0{,}001147 \times 432 =$
$= 110{,}001888 \approx 110$ V (valeur approximative).

FORMULE 167 - Calcul du *nombre de spires primaires* d'un transformateur, connaissant la valeur efficace de la *tension primaire*, la *fréquence* et la valeur maximum du *flux d'induction*.

$$N' = \frac{E'}{4{,}44\, f\, \Phi_{max}}$$

N' = nombre de spires primaires

E' = valeur efficace de la tension primaire en V (volt).

f = fréquence en Hz (Hertz).

Φ_{max} = valeur maximum du flux d'induction en Wb (weber).

(Cette formule a été tirée de la *formule 166* en suivant les règles du calcul littéral exposées dans *Mathématiques 1*).

Exemple

Données : $E' = 220$ V, $f = 50$ hz, $\Phi_{max} = 0{,}002294$ Wb.

Nombre de spires primaires : $N' = \dfrac{220}{4{,}44 \times 50 \times 0{,}002294} =$

$$= \frac{220}{0{,}509\,268} \approx 431 \text{ spires.}$$

FORMULE 168 - Calcul du *flux d'induction* qui traverse la section d'un circuit magnétique, connaissant la *densité du flux* (dite aussi *induction ou déplacement magnétique*) et la mesure de la *section* considérée.

Enoncé : Le flux magnétique, exprimé en weber, s'obtient en multipliant la densité du flux (induction), exprimée en weber par mètre carré, ou bien en weber au centimètre carré, par la section, exprimée en mètres carrés, ou bien en centimètres carrés *(Théorie 11, Paragraphe 1 - 4).*

$$\Phi = B\,S$$

Φ = flux d'induction en Wb (weber).

B = densité du flux ou induction en Wb/m^2 (weber par mètre carré).

S = section en m^2.

Si l'induction est exprimée en weber par centimètre carré, pour obtenir le flux d'induction en weber, il faut exprimer la section en centimètres carrés.

Exemple

Données : $B = 1{,}25\ Wb/m^2$, $S = 25\ cm^2 = 0{,}0025\ m^2$.

Flux d'induction : $\Phi = 1{,}25 \times 0{,}0025 = 0{,}003125$ Wb.

FORMULE 169 - Calcul du *nombre de spires primaires* d'un transformateur, connaissant la valeur efficace de la *tension primaire*, la *fréquence*, *l'induction* dans le noyau et la *section* de ce même noyau.

$$N' = \frac{10.000\ E'}{4{,}44\ f\ B\ S}$$

N' = nombre de spires primaires

E' = force électromotrice induite dans le primaire et valeur efficace de la tension appliquée au primaire, en V (volt).

f = fréquence en Hz (hertz).

B = induction en Wb/m^2 (weber par mètre carré).

S = section du noyau en cm^2

Cette formule s'obtient en substituant Φ_{max} dans la *formule 167* par le produit B S relatif à la *formule 168.* La substitution est permise si on considère B en tant que valeur maximum de l'induction dans le noyau du transformateur ; dans ce cas le flux Φ relatif à la *formule 168* est un flux maximum, ce qui correspond à Φ_{max} de la *formule 167.* Le nombre 10.000 qui multiplie la force électromotrice induite E' a été introduite pour compenser la variation numérique dérivant de l'utilisation du centimètre carré au lieu du mètre carré pour exprimer la section du noyau.

Exemple

Données : $E' = 220$ V, $f = 50$ Hz, $B = 1{,}3$ Wb/m^2, $S = 30$ cm^2.

Nombre de spires au primaire : $N' = \dfrac{10.000 \times 220}{4{,}44 \times 50 \times 1{,}3 \times 30} =$

$= \dfrac{2.200.000}{8.658} \approx 254$ spires.

FORMULE 170 - Calcul de la *section du noyau* d'un transformateur, connaissant la *puissance primaire* de ce même transformateur.

Enoncé : La section exprimée en *centimètres carrés*, peut être calculée en extrayant la racine carrée de la puissance primaire du transformateur, exprimée en *voltampère*, et en multipliant le nombre obtenu par un nombre fixe compris entre 1,1 et 1,3 *(Théorie 11, Paragraphe 1 - 4).*

$$S = k\sqrt{P_p}$$

S = section du noyau en cm^2

k = nombre compris entre 1,1 et 1,3

P_p = puissance primaire en VA (voltampère).

Exemple

Données : $k = 1{,}15$, $P_p = 72$ VA.

Section du noyau : $S = 1{,}15 \times \sqrt{72} - 1{,}15 \times 8{,}48 = 9{,}752 \approx 10 cm^2$
(valeur arrondie par excès).

FORMULE 171 - Calcul de la *section des conducteurs* d'un transformateur, connaissant la *densité de courant admissible* (c'est-à-dire le courant maximum qui peut traverser chaque millimètre carré de la section d'un conducteur sans porter la température à des valeurs dangereuses) et *l'intensité du courant* qui doit parcourir l'enroulement (la densité de courant admissible dans les enroulements à fil émaillé est comprise entre 2 A/mm^2, ampères au millimètre carré, et 3 A/mm^2).

$$S = \frac{I}{d}$$

S = section du conducteur en mm^2

I = intensité du courant en A (ampère)

d = densité de courant admissible dans le conducteur en A/mm^2 (ampère au millimètre carré).

Exemple

Données pour le choix d'un fil de cuivre nécessaire à la construction d'un enroulement : $I = 60$ mA (milliampère) $= 0{,}06$ A, $d = 2$ A/mm^2.

Section du fil de cuivre nécessaire : $S = \frac{0{,}06}{2} = 0{,}03$ mm^2

Une fois établie la valeur de la section, il est probable qu'elle ne correspond à aucun fil commercialisé ; dans ce cas,on devra prendre le fil dont la section est immédiatement supérieure à la valeur calculée ; par exemple,il est improbable de pouvoir trouver dans le commerce,un fil de cuivre ayant une section de 0,03 mm^2. Par contre, on peut trouver un fil d'une section de 0,038 mm^2, correspondant au diamètre du fil émaillé de 0,22 mm (environ); pour l'exemple précédent, on devra choisir pour la construction de l'enroulement,un fil émaillé de 0,22 mm de diamètre.

CALCUL SIMPLIFIE D'UN TRANSFORMATEUR D'ALIMENTATION

Les transformateurs d'alimentation sont destinés à fournir les tensions nécessaires au fonctionnement des appareils électriques.

Le transformateur d'alimentation d'un appareil radio par exemple est constitué généralement d'au moins trois enroulements ;

- un primaire pourvu de prises intermédiaires pour les diverses tensions de secteur *(PRIMAIRE UNIVERSEL).*
- un secondaire pour alimenter le filament de tubes électroniques et les lampes de cadran *(SECONDAIRE DE BASSE TENSION).*
- un autre secondaire, presque toujours pourvu d'une prise centrale, et destiné à fournir le courant à redresser *(SECONDAIRE A HAUTE TENSION).*

Pour la détermination des caractéristiques de fonctionnement d'un transformateur d'alimentation, les dimensions du noyau magnétique ont une importance fondamentale ; en particulier, du noyau magnétique dépendent le nombre de spires des enroulements, la puissance qui peut se transférer du primaire au secondaire, et le rendement, c'est-à-dire le rapport entre la puissance utile transférée au secondaire et la puissance du primaire.

Le calcul des transformateurs d'alimentation à rendement élevé est en général un peu plus complexe ; mais, pour les applications normales, on demande un rendement pas trop élevé, et pour cette raison il est possible de simplifier les calculs.

Dans la suite de ce formulaire, un procédé de calcul simplifé pour le projet de petits transformateurs est exposé.

Dans le déroulement des calculs, on utilisera quelques formules déjà vues, et nous vous présenterons des nouvelles formules qui seront numérotées progressivement, selon l'ordre général employé jusqu'à présent.

Voyons maintenant les diverses phases du projet.

1 - DONNEES POUR LE CALCUL

Avant de commencer le calcul, il convient de rassembler et de mettre en ordre les données disponibles.

En général, on connaît les *tensions primaires,* qui sont égales aux diverses tensions de secteur ; de plus, on doit connaître les *tensions secondaires* et les *puissances secondaires* demandées par l'utilisateur.

Pour nous fixer les idées et avoir sous les yeux toutes les données du problème, il est bon de conseiller de dessiner le schéma du transformateur, en reportant à côté de l'enroulement primaire (p) les valeurs des tensions primaires et à côté des enroulements secondaires (s', s'') les valeurs des tensions et des puissances secondaires, comme on peut le voir à la *figure 1.*

Outre les valeurs de tension et de puissance, en correspondance avec les secondaires, les valeurs de courant seront reportées, soit 0,078 A (ampère) pour chaque section du secondaire s' et 3,375 A pour le secondaire s''. L'indication des valeurs de courant n'est pourtant pas indispensable quand les tensions sont déjà données (235 V pour chaque section du secondaire s' ; 6,3 V pour le secondaire s'') et les puissances (18,95 W pour s' ; 21,26 W pour s'') ; en effet, connaissant ces valeurs et les caractéristiques de l'appareil utilisateur il est possible de calculer par conséquent les valeurs des courants secondaires.

Toutefois, pour une plus grande simplicité, nous considérerons

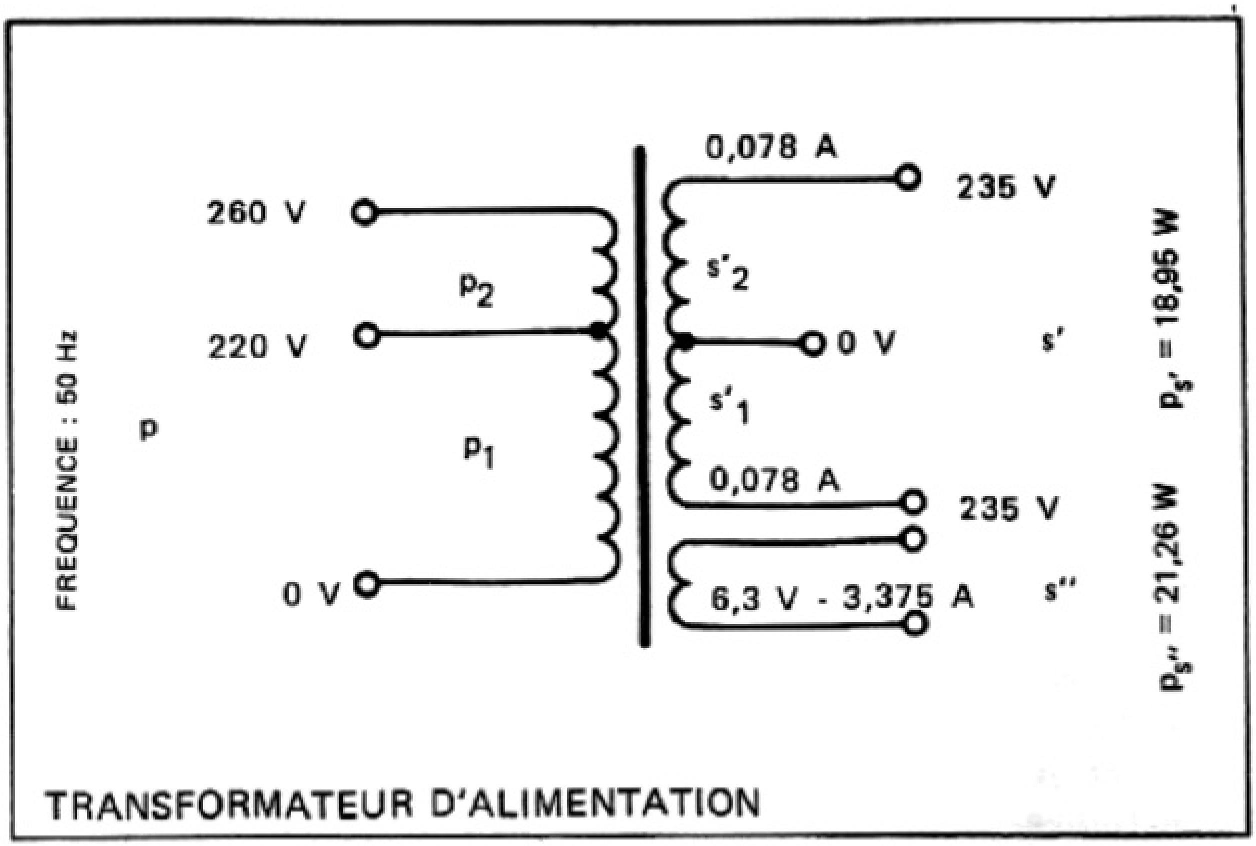


Figure 1

comme connus, outre les tensions et les puissances, également les courants secondaires ; ensuite, lorsque nous commencerons l'étude des alimentations pour appareils récepteurs radio, nous verrons comment on peut déterminer les valeurs que nous considérons actuellement comme connues.

2 - MISE EN PLACE DU PROCEDE DE CALCUL

Une fois rassemblées les données nécessaires à l'exécution du projet, il faut voir le procédé à suivre, en distinguant dans les grandes lignes, les diverses phase du calcul.

Dans le schéma de la *figure 1,* sont indiquées les données de départ. Dans les petits tableaux de la *figure 2* sont indiquées, avec les données, toutes les dimensions du transformateur qui restent à déterminer au moyen de calculs.

<table>
<tr><th colspan="8">PRIMAIRE</th></tr>
<tr><th>TENSIONS (V)</th><th>PUISSANCE (VA)</th><th>COURANTS (A)</th><th colspan="2">SECTION DES FILS NUS (mm2)</th><th>DIAMETRE DES FILS EMAILLES (mm)</th><th colspan="2">NOMBRE DE SPIRES</th></tr>
<tr><td>0–220</td><td rowspan="2">X</td><td>X</td><td colspan="2">X</td><td>X</td><td colspan="2">X</td></tr>
<tr><td>220–260</td><td>X</td><td colspan="2">X</td><td>X</td><td colspan="2">X</td></tr>
<tr><th colspan="8">NOYAU</th></tr>
<tr><th>SECTION de la COLONNE CENTRALE (cm2)</th><th>MESURES EXTERNES a (cm)</th><th>MESURES EXTERNES b (cm)</th><th>COLONNE CENTRALE c (cm)</th><th>FENETRE d (cm)</th><th>FENETRE e (cm)</th><th>EPAISSEUR (cm)</th><th>NOMBRE DE TOLES</th></tr>
<tr><td rowspan="2">X</td><td>X</td><td>X</td><td>X</td><td>X</td><td>X</td><td rowspan="2">X</td><td rowspan="2">X</td></tr>
<tr><td colspan="5">VOIR TABLEAU X (Figure 4)</td></tr>
<tr><th colspan="8">SECONDAIRES</th></tr>
<tr><th>TENSIONS (V)</th><th>PUISSANCE (W)</th><th>COURANTS (A)</th><th colspan="2">SECTION DES FILS NUS (mm2)</th><th>DIAMETRE DES FILS EMAILLES (mm)</th><th colspan="2">NOMBRE DE SPIRES</th></tr>
<tr><td>6,3</td><td>21,26</td><td>3,375</td><td colspan="2">X</td><td>X</td><td colspan="2">X</td></tr>
<tr><td>2 x 235</td><td>18,95</td><td>0,078</td><td colspan="2">X</td><td>X</td><td colspan="2">X</td></tr>
<tr><td colspan="8">GRANDEURS DONNEES ET DIMENSIONS INCONNUES DU TRANSFORMATEUR DE LA FIG. 1</td></tr>
</table>

Figure 2

Les dimensions inconnues sont indiquées d'une façon générale avec la lettre X qui apparaît dans les différentes cases, à la place des valeurs manquantes.

Le calcul commencera par la détermination de la puissance secondaire totale et de la puissance primaire. A ce propos, nous observerons que, alors que la puissance secondaire est exprimée en *watt* (W), la puissance primaire sera exprimée en *voltampère* (VA) ; la distinction est nécessaire parce que la puissance secondaire est égale à la puissance utile requise par l'utilisateur, tandis que la puissance primaire doit être égale à la *puissance apparente* requise pour déterminer les courants primaires et la section de la colonne centrale du noyau magnétique. La puissance utile est toujours exprimée en *watt*, alors que la puissance apparente est exprimée en *voltampère*.

Une fois la valeur de la puissance primaire déterminée, on calcule la section du noyau ; puis successivement on calcule : le nombre de spires de chaque enroulement, les courants primaires, les sections et les diamètres des fils nécessaires à la construction des enroulements.

Enfin, se basant sur la section du noyau calculée précédemment, on choisit les tôles les mieux adaptées parmi celles disponibles et on vérifie que la fenêtre de la tôle choisie est suffisante pour contenir la bobine et sa carcasse .

3 - DETERMINATION DE LA PUISSANCE SECONDAIRE TOTALE ET DE LA PUISSANCE PRIMAIRE

FORMULE 172 - Calcul de la *puissance secondaire totale* d'un transformateur, connaissant la *puissance de chaque secondaire.*

$$P_{st} = P_s' + P_s''$$

P_{st} = puissance secondaire totale

P_s' = puissance d'un secondaire

P_s'' = puissance de l'autre secondaire

Les puissances secondaires sont toutes exprimées dans la même unité de mesure, c'est-à-dire le *watt.*

Exemple

Données relatives au transformateur de la *figure 1* :

$P_s' = 18{,}95$ W, $P_s'' = 21{,}26$ W.

Puissance secondaire totale : $P_{st} = 18{,}95 + 21{,}26 = 40{,}21$ W.

OBSERVATION - Si le transformateur a plus de deux secondaires, on obtiendra la puissance secondaire totale, en additionnant les puissances de tous les secondaires.

FORMULE 173 - Calcul de la *puissance primaire* d'un transformateur d'alimentation, connaissant la *puissance secondaire totale (formule 172)* et le *rendement* du transformateur étant fixé.

$$P_p = \frac{P_{st}}{n}$$

P_p = puissance primaire en VA (voltampère)

P_{st} = puissance secondaire totale en W (watt)

n = nombre qui représente le rendement du transformateur

Exemple

Données relatives au transformateur de la *figure 1* : $P_{st} = 40{,}21$ W, $n = 0{,}81$ (la valeur de n, indique que la puissance secondaire totale doit être égale au moins au 81 % de la puissance primaire).

Puissance primaire : $P_p = \dfrac{40{,}21}{0{,}81} \approx 49{,}64 \approx 49{,}7$ (valeur approchée par excès).

OBSERVATION - Le nombre 0,81 (valeur attribuée à n) ne représente pas le seul rendement, qui doit être en général supérieur ou au moins égal à 0,90 (90 %), ceci pour les transformateurs. Le nombre 0,81 s'obtient en multipliant le rendement 0,90 par le nombre fixe 0,90, appelé *FACTEUR DE PUISSANCE*. Le facteur de puissance 0,9 est introduit dans les calculs pour transformer la puissance du secondaire, exprimée en *watt* (W) en puissance du primaire exprimée en *voltampère* (VA).

4 - DETERMINATION DE LA SECTION DU NOYAU

Pour déterminer la section du noyau, on a recours à la *formule 170.* A ce propos, il faut préciser que la valeur de k, comprise entre 1,1 et 1,3, se choisit à volonté en tenant compte que,plus le noyau du transformateur aura des dimensions plus grandes,plus la valeur de k sera proche de 1,3. En mettant dans la *formule 170* les valeurs $k = 1{,}13$ et $P_p = 49{,}7$, on obtient :

Section du noyau, $S = 1{,}13 \times \sqrt{49{,}7} \approx 1{,}13 \times 7{,}05 = 7{,}9665 \approx 8 \text{ cm}^2$ (valeur approchée par excès).

5 - DETERMINATION DU NOMBRE DE SPIRES DE CHAQUE ENROULEMENT -

Dans le but de calculer le nombre de spires des enroulements, on détermine d'abord le nombre de spires par volt en appliquant la formule suivante.

FORMULE 174 - Calcul du *nombre de spires par volt* d'un transformateur d'alimentation, connaissant la *fréquence* de fonctionnement du transformateur, l'*induction* du noyau (dite aussi *densité du flux magnétique* du noyau) et la *section* de ce même noyau.

$$N/V = \frac{10.000}{4{,}44 \, f \, B \, S}$$

N/V = nombre de spires par volt en sp/V (spire par volt).

f = fréquence en Hz (hertz)

B = induction en Wb/m^2 (weber par mètre carré).

S = section du noyau en cm^2

Cette formule a été tirée de la *formule 169* en substituant les lettres N' et E' respectivement par N et V, et en transportant la lettre V du second au premier membre ,selon les règles du calcul littéral exposées dans *Mathématiques 1.*

Exemple

Données relatives au transformateur de la *figure 1 :*

$f = 50$ Hz, $B = 1{,}25$ Wb/m^2,

$S = 8$ cm^2 (valeur établie précédemment).

Nombre de spires par volt : $N/V = \dfrac{10.000}{4{,}44 \times 50 \times 1{,}25 \times 8} =$

$= \dfrac{10.000}{2.220} \approx 4{,}5$ sp/V (spires par volt).

OBSERVATION - La valeur de l'induction (B) du noyau magnétique d'un transformateur d'alimentation peut varier de 1 Wb/m^2 à 1,3 Wb/m^2. Si on utilise des tôles de bonne qualité, il convient de donner à B une valeur proche de 1,3 Wb/m^2, par exemple 1,25 Wb/m^2 comme dans le calcul précédent ; si au contraire, on utilise des tôles de qualité quelconque, il faut donner à B une valeur de 1,15 Wb/m^2 ; enfin, si on utilise des tôles de qualité inférieure, il faut donner à B la valeur de 1 Wb/m^2 .

FORMULE 175 - Calcul du *nombre de spires* de chaque enroulement d'un transformateur d'alimentation, connaissant les *tensions* et ayant déterminé le *nombre de spires par volt (formule 174).*

$$N = N/V . V$$

N = nombre de spires d'un enroulement

N/V = nombre de spires par volt du transformateur en sp/V (spires par volt).

V = tension aux bornes de l'enroulement en V (volt).

Exemple

Les données se réfèrent au transformateur d'alimentation de la *figure 1* et au nombre de spires par volt calculé au moyen de la *formule 174,* soit 4,5 sp/V.

a) Section P_1 du primaire

Données : V = 220 V, N/V = 4,5 sp/V.

Nombre de spires de la section p_1 : $N = 4{,}5 \times 220 = 990$ spires.

b) Section P_2 du primaire

Données : V = 260 – 220 = 40 V. N/V = 4,5 sp/V.

Nombre de spires de la section P_2 : $N = 4{,}5 \times 40 = 180$ spires.

c) Primaire $(p_1 + p_2)$

Données : V = 260 V, N/V = 4,5 sp/V.

Nombre de spires au primaire : $N = 4{,}5 \times 260 = 1.170$ spires (ce nombre de spires est égal à la somme du nombre de spires de la section P_1 avec le nombre de spires de la section P_2 : $990 + 180 = 1.170$).

d) Secondaire s'

Données : $V = 2 \times 235 = 470$ V, N/V = 4,5 sp/V.

Nombre de spires du secondaire s' : $N = 4{,}5 \times 470 = 2.115$ spires (avec prise centrale).

e) Secondaire s''

Données : V = 6,3 V, N/V = 4,5 sp/V

Nombre de spires du secondaire s'' : $N = 4{,}5 \times 6{,}3 = 28{,}35 \approx 28$ spires (valeur arrondie par défaut).

6 - DETERMINATION DES COURANTS PRIMAIRES ET CHOIX DES FILS POUR LES ENROULEMENTS

Avant de décider quels fils on doit utiliser pour la construction du transformateur, il faut calculer l'intensité du courant primaire, qui correspond aux diverses tensions de secteur et à la puissance calculée précédemment avec la *formule 173.*

Pour déterminer la valeur du courant primaire, connaissant la puissance primaire du transformateur (49,7 VA) et la tension de secteur (220 V ou bien 260 V), on a recours à la *formule 86* du *Formulaire 2.*

Pour la tension de 220 V, qui s'applique à la section p_1 du primaire *(figure 1)*, on obtient la valeur suivante :

$$\text{courant primaire, } I = \frac{P}{V} = \frac{49{,}7}{220} \approx 0{,}225 \text{ A.}$$

Pour la tension de 260 V, qui s'applique à tout le primaire ($p=p_1+p_2$) on obtient la valeur suivante :

$$\text{courant primaire, } I = \frac{P}{V} = \frac{49{,}7}{260} \approx 0{,}191 \text{ A.}$$

Observons alors que la section p_1 peut être parcourue par deux courants, celui de 0,225 A (quand la tension de 220 volts est appliquée) et celui de 0,191 A (quand la tension de 260 V est appliquée), la section p_2 peut être parcourue par un seul courant, soit celui de 0,191 A (quand la tension de 260 V est appliquée). *Pour la section p_1 du primaire, nous prendrons en considération le courant d'intensité maximale, soit le courant de 0,225 A ; pour la section p_2 nous prendrons au contraire en considération le courant unique qui la traverse, soit celui de 0,191 A.*

Nous connaissons à ce sujet, les valeurs des courants qui parcourent chaque enroulement du transformateur :

a) section p_1 du primaire ; $I = 0{,}225$ A

b) section p_2 du primaire ; $I = 0{,}191$ A

c) secondaire s' ; $I = 0{,}078$ A (valeur donnée)

d) secondaire s'' ; $I = 3{,}375$ A (valeur donnée)

Se basant sur les valeurs précédentes, on peut maintenant calculer la section et donc le diamètre des fils conducteurs de chaque enroulement.

Pour calculer la section d'un fil, il faut établir quelle doit être la densité de courant admissible dans le fil même. Pour le primaire (p) et le secondaire de haute tension (s') on peut admettre la densité de courant de 2 A/mm^2

(ampère au millimètre carré) ; alors que pour le secondaire s'',on peut admettre la densité de courant de 3 A/mm², puisque le secondaire de basse tension se trouve généralement à l'extérieur et peut donc se refroidir mieux.

Connaissant la densité de courant admissible et l'intensité du courant qui doit parcourir l'enroulement,on détermine la section du fil nu au moyen de la *formule 171 :*

a) pour la section p_1 du primaire, on obtient :

$$\text{section du fil, } S = \frac{I}{d} = \frac{0{,}225}{2} = 0{,}1125 \text{ mm}^2 \quad ;$$

b) pour la section p_2 du primaire, on obtient :

$$\text{section du fil, } S = \frac{I}{d} = \frac{0{,}191}{2} = 0{,}0955 \text{ mm}^2 \quad ;$$

c) pour le secondaire s', on obtient :

$$\text{section du fil, } S = \frac{I}{d} = \frac{0{,}078}{2} = 0{,}039 \text{ mm}^2 \quad ;$$

d) pour le secondaire s'', on obtient :

$$\text{section du fil, } S = \frac{I}{d} = \frac{3{,}375}{3} = 1{,}125 \text{ mm}^2 \quad ;$$

Une fois les valeurs des sections calculées, il faut choisir entre les fils disponibles dans le standard de la production industrielle,ceux dont les valeurs de section sont égales ou légèrement plus grandes que les valeurs calculées.

Dans le *tableau IX (figure 3)* on a reporté les dimensions (section et diamètres) des fils nus et des fils émaillés pour enroulements électriques,que l'on peut trouver normalement sur le marché.

Les valeurs des sections se trouvent dans la première colonne de gauche à droite ; les valeurs des diamètres des fils nus se trouvent dans la deuxiè-

TABLEAU IX

Section du fil nu (mm^2)	Diamètres (mm)		Indice d'encombrement sp/cm^2
	Fil nu	Fil émaillé	
0,0078	0,10	0,115	5.015
0,0095	0,11	0,125	4.312
0,0113	0,12	0,135	3.692
0,0176	0,15	0,170	2.806
0,0254	0,18	0,200	1.872
0,0314	0,20	0,220	1.584
0,0380	0,22	0,240	1.320
0,0490	0,25	0,270	1.050
0,0615	0,28	0,300	864
0,0706	0,30	0,330	780
0,0804	0,32	0,350	670
0,0962	0,35	0,384	550
0,1134	0,38	0,410	495
0,1256	0,40	0,436	440
0,1590	0,45	0,488	360
0,1963	0,50	0,540	288
0,2375	0,55	0,592	240
0,2827	0,60	0,644	210
0,3318	0,65	0,696	182
0,3848	0,70	0,748	156
0,4417	0,75	0,800	132
0,5026	0,80	0,852	110
0,5674	0,85	0,904	100
0,6361	0,90	0,956	90
0,7088	0,95	1,008	81
0,7854	1,00	1,060	80
1,1309	1,20	1,262	49
1,5393	1,40	1,464	36
1,7671	1,50	1,565	30
2,5446	1,80	1,868	25
3,1416	2,00	2,070	19
4,9087	2,50	2,591	12

SECTION, DIAMETRES DES FILS ET INDICE D'ENCOMBREMENT

Figure 3

me colonne et les valeurs des diamètres comprenant l'épaisseur de l'émail,se trouvent dans la troisième colonne.

Aucune des valeurs de section calculées précédemment ne se retrouve dans les tableaux cités plus haut ; de toute façon, si on considère des valeurs légèrement supérieures aux valeurs calculées, on peut prendre *0,1134 mm²* *au lieu de 0,1125 mm², 0,0962 mm² au lieu de 0,0955 mm², 0,0490 mm²* *au lieu de 0,039 mm², 1,1309 mm² au lieu de 1,125 mm²* .

En correspondance avec chaque valeur de section, on établit sur les mêmes tableaux les valeurs des diamètres des fils émaillés utilisables pour la construction des différents enroulements :

a) enroulement primaire, section p_1:section du fil, 0,1134 mm² ; diamètre du fil nu, 0,38 mm ; diamètre du fil émaillé, 0,410 mm ;

b) enroulement primaire, section p_2 : section du fil, 0,0962 mm² ; diamètre du fil nu, 0,35 mm, diamètre du fil émaillé, 0,384 mm.

c) enroulement secondaire s' : section du fil, 0,0490 mm² ; diamètre du fil nu, 0,25 mm ; diamètre du fil émaillé, 0,270 mm ;

d) enroulement secondaire s'' : section du fil, 1,1309 mm² ; diamètre du fil nu, 1,20 mm ; diamètre du fil émaillé, 1,262 mm.

7 - ENCOMBREMENT DES ENROULEMENTS ET CHOIX DU TYPE DE TOLES

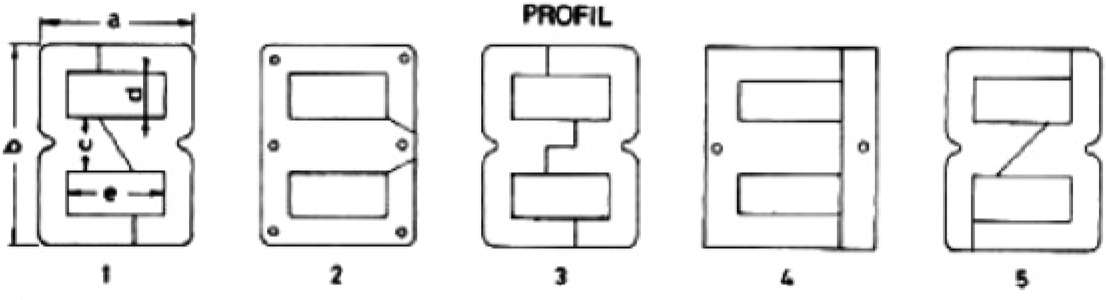
D'une façon générale, un dépanneur radio peut calculer un transformateur d'alimentation quand il a déjà à sa disposition le stock des tôles.

Les tôles pour transformateurs d'alimentation peuvent avoir des profils et dimensions diverses,selon le standard de production adopté par les différents constructeurs. Au *tableau X (figure 4)* on a reporté les dessins des profils et les dimensions des tôles que l'on peut se procurer le plus facilement.

TABLEAU X

Profil	Mesures Externes a cm	Mesures Externes b cm	Colonne Centrale c cm	Fenêtre d cm	Fenêtre e cm	Profil	Mesures Externes a cm	Mesures Externes b cm	Colonne Centrale c cm	Fenêtre d cm	Fenêtre e cm
1	4	4,8	1,6	0,8	2,4	3	10,5	10,5	3,2	2,05	7,3
1	4,5	5,6	1,6	1,2	1,8	3	11,6	12,6	4	2,3	7,65
1	5,4	5,4	1,7	0,95	3,6	3	11,6	12,6	4	2,5	7,9
1	4,7	5,7	1,9	0,95	1,85	3	14,6	17	5	3,5	9,6
1	5	6	2	1	3	3	16,8	19,6	5,6	4,2	11,2
1	5,6	6,7	2,25	1,1	3,4	4	4,75	5,7	1,9	0,95	2,85
1	7,6	8	2,5	1,65	5,4	4	5,6	6,75	2,25	1,12	3,55
1	6,4	7,8	2,6	1,3	2,8	4	8,5	19	2,5	2	18,65
1	7,6	8	3	1,1	4,8	4	9	23,4	2,5	2	18,95
1	8	9,6	3,2	1,6	1,7	4	6,5	7,8	2,6	1,3	3,9
1	9,4	7,4	4	1,6	5,1	4	7	8,4	2,8	1,1	4,2
2	7	7	2	1,6	5	4	8,15	9,8	2,85	1,75	4,9
3	5,8	6,8	2,2	1,15	3,4	4	7,8	9,2	3	1,6	4,55
3	7,6	8	2,5	1,5	5,1	4	8	9,6	3,2	1,6	4,8
3	7,1	8,3	2,6	1,5	4,5	4	10	12	4	2	6
3	7,2	9,1	2,7	1,8	4,4	4	12	16	4	2	12
3	8,2	10,5	3	2,25	5,15	5	7,1	8,3	2,6	1,5	4,5
3	10	10	3	2	7	5	7,2	9,1	2,7	1,8	1,4
3	10,5	10,5	3	2,25	7,5	5	10,5	10,5	3	2,25	7,5
3	9,1	10,6	3,2	0,1	6	5	11,6	12,6	4	2,3	7,65

PROFIL



DIMENSIONS DES TOLES POUR TRANSFORMATEURS DE PRODUCTION STANDARD

Figure 4

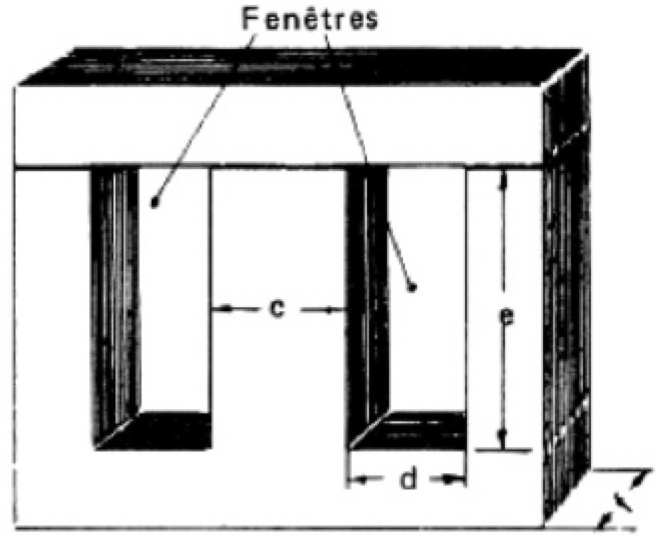
Les dimensions extérieures (a,b) permettent d'établir l'encombrement du transformateur dans l'ensemble de l'appareil sur lequel il sera utilisé. La mesure de la colonne centrale (c) permet de déterminer l'épaisseur du noyau se basant sur la section du noyau calculée précédemment.

Les mesures de la fenêtre (d, e) permettent de vérifier que l'encombrement total des enroulements et de la carcasse s'adapte à la fenêtre de la tôle choisie.

Parmi toutes les dimensions de la tôle, la mesure c, et la mesure d, indiquées à la *figure 5*, ont une importance particulière pour le calcul du transformateur.

En continuant maintenant l'étude du transformateur, on suppose avoir à sa disposition un noyau semblable à celui illustré à la *figure 5*, et constitué par des tôles ayant les dimensions suivantes :

c = 3 cm d = 1,6 cm e = 4,55 cm.



c = 3 cm d = 1,6 cm e = 4,55 cm f = 2,9 cm

NOYAU DU TRANSFORMATEUR

Figure 5

La surface de la fenêtre s'obtient en appliquant la *formule 12* du *Formulaire 1* :

$$\text{surface, } A = b\ h = d\ e = 1{,}6 \times 4{,}55 = 7{,}28 \text{ cm}^2$$

Une fois la surface de la fenêtre établie, et avant de déterminer le nombre des tôles nécessaires à former le noyau, il convient de s'assurer que l'encombrement total de la carcasse et des enroulements ne dépasse l'espace délimité par la fenêtre.

Dans ce but,on calcule séparément les surfaces occupées dans la fenêtre par les fils des divers enroulements en recourant à l'indice de l'encombrement reporté dans la dernière colonne du *tableau IX (figure 3)* ; d'une façon successive,on additionne les surfaces calculées au moyen de l'indice d'encombrement et on multiplie la somme obtenue par le facteur fixe 1,4.

Pour le calcul des surfaces occupées par chaque enroulement, on procède de la façon suivante .

FORMULE 176 - Calcul de la *surface* occupée par le fil d'un enroulement dans une fenêtre, connaissant *l'indice d'encombrement* (reporté au *tableau IX* pour chaque fil) et le *nombre de spires* de ce même enroulement.

$$A = \frac{N}{k}$$

A = surface occupée par le fil de l'enroulement en cm^2 .

N = nombre de spires de l'enroulement.

k = indice de l'encombrement en sp/cm^2 - (spires au centimètre carré).

Exemple

Les données sont reprises dans l'exemple qui suit la *formule 175* et se réfèrent au transformateur de la *figure 1.*

a) section p_1 du primaire

Données : $N = 990$ spires, $k = 495$ sp/cm^2 (*tableau IX,* fil ayant la section de $0{,}1134$ mm^2).

Surface occupée par p_1 : $A = \frac{990}{495} = 2 \text{ cm}^2$

b) section p_2 du primaire

Données : $N = 180$ spires, $k = 550$ sp/cm² (*tableau IX*, fil ayant une section de 0,0962 mm²).

Surface occupée par p_2 : $A = \frac{180}{550} \approx 0{,}327 \approx 0{,}33 \text{ cm}^2$ (valeur approchée par excès).

c) secondaire s'

Données : $N = 2.115$ spires, $k = 1.050$ sp/cm² (*tableau IX*, fil ayant une section de 0,0490 mm²).

Surface occupée par s' : $A = \frac{2115}{1050} \approx 2{,}014 \approx 2{,}02 \text{ cm}^2$ (valeur approchée par excès).

d) secondaire s''

Données : $N = 28$ spires, $k = 49$ sp/cm² (*tableau IX*, fil ayant une section de 1,1309 mm²).

Surface occupée par s'' : $A = \frac{28}{49} \approx 0{,}57 \text{ cm}^2$.

Additionnons maintenant les surfaces calculées pour chaque enroulement : la surface totale que l'on obtient indique l'encombrement total des fils nécessaires à la construction de la bobine du transformateur.

Surface totale occupée par les fils des divers enroulements de la fenêtre du noyau :

$$2 + 0{,}33 + 2{,}02 + 0{,}57 = 4{,}92 \text{ cm}^2 .$$

Dans le calcul précédent, on n'a pas tenu compte de l'espace occupé par le papier isolant et la carcasse ; pour introduire maintenant dans le calcul ces facteurs, on peut multiplier le résultat par le nombre fixe 1,4, obtenant ainsi une indication de l'encombrement total de la bobine dans la fenêtre du noyau

$$\text{encombrement total} : 4{,}92 \times 1{,}4 = 6{,}888 \text{ cm}^2 .$$

En comparant l'encombrement de la bobine, avec la surface de la fenêtre de la tôle choisie, on trouve que l'encombrement prévu (6,888 cm^2) est inférieur à la surface de la fenêtre (7,28 cm^2) ; pour cette raison, on peut utiliser sans empêchement la tôle choisie ; dans le cas contraire, on devrait trouver une autre tôle dont la fenêtre pourrait contenir l'encombrement de la bobine.

Pour terminer le calcul, il reste à établir le nombre de tôles nécessaires à la formation du noyau et l'épaisseur du noyau.

FORMULE 177 - Calcul du *nombre de tôles* nécessaires à la formation du noyau d'un transformateur, connaissant la section du noyau et l'épaisseur de chaque tôle.

$$N_1 = \frac{11\,S}{s\,c}$$

N_1 = nombre de tôles

S = section du noyau en cm^2 *(formule 170).*

s = épaisseur de chaque tôle en mm.

c = largeur de la colonne centrale de la tôle en cm.

Exemple

Données : $S = 8$ cm^2 ; $s = 0{,}5$ mm ; $c = 30$ mm $= 3$ cm.

Nombre de tôles : $N_1 = \dfrac{11 \times 8}{0{,}5 \times 3} = \dfrac{88}{1{,}5} \approx 58$ tôles.

Connaissant le nombre de tôles,on peut déterminer facilement l'épaisseur que le noyau doit avoir (épaisseur f de la *figure 5*), en multipliant le nombre des tôles par l'épaisseur de la tôle choisie :

$$f = 58 \times 0{,}5 = 29 \text{ mm} = 2{,}9 \text{ cm}.$$

Les mesures c, d, e, f, indiquées à la *figure 5*, sont nécessaires pour construire la carcasse.

Dans les tableaux de la *figure 6*, reprise de la *figure 2*, ont été rassemblées toutes les données initiales et les dimensions du transformateur calculées par la suite.

Le procédé de calcul qui vient d'être décrit peut être considéré comme valable pour les transformateurs dont la puissance (primaire) est comprise entre 30 VA et 150 VA.

PRIMAIRE

TENSIONS (V)	PUISSANCE (VA)	COURANTS (A)	SECTION DES FILS NUS (mm2)	DIAMETRE DES FILS EMAILLES (mm)	NOMBRE DE SPIRES
0-220	49,7	0,225	0,1134	0,410	990
220-260		0,191	0,0962	0,384	180

NOYAU

SECTION de la COLONNE CENTRALE (cm2)	MESURES EXTERNES a (cm)	MESURES EXTERNES b (cm)	COLONNE CENTRALE c (cm)	FENETRE d (cm)	FENETRE e (cm)	EPAISSEUR (cm)	NOMBRE DE TOLES
8	7,8	9,2	3	1,6	4,55	2,9	58
	VOIR TABLEAU X (Figure 4)						

SECONDAIRES

TENSIONS (V)	PUISSANCE (W)	COURANTS (A)	SECTION DES FILS NUS (mm2)	DIAMETRE DES FILS EMAILLES (mm)	NOMBRE DE SPIRES
6,3	21,26	3,375	1,1309	1,262	28
2 x 235	18,95	0,078	0,0490	0,270	2115

GRANDEURS DONNEES ET DIMENSIONS CALCULEES DU TRANSFORMATEUR DE LA FIG.1

Figure 6

CALCUL GRAPHIQUE (ABAQUES)

Dans le Formulaire 3, nous avons vu comment procéder à la lecture des échelles régulières et logarithmiques ; nous commencerons maintenant la revue des abaques qui peuvent être utiles au radio-technicien et au radio amateur.

D'une façon générale, chaque abaque est constitué d'un certain nombre d'échelles, sur lesquelles sont reportées des valeurs de grandeurs déterminées ; et pour chaque abaque, des instructions d'utilisation très simples sont nécessaires. D'une façon habituelle, pour illustrer l'utilisation d'un abaque il suffira d'un exemple de calcul graphique. Sur l'espace blanc des exemples vous pourrez imaginer d'autres exercices de façon à acquérir graduellement de l'aisance dans les diverses opérations et dans la lecture des échelles.

Toutes les instructions qui suivent, se rapportent aux tableaux hors texte inclus dans ce groupe de leçons.

ABAQUE 1 (*Tableau 1* hors texte)

ECHELLES DE CONVERSION DES DEGRES THERMIQUES

Cet abaque est constitué de huit échelles de température : quatre en degrés centigrades (C) ; deux en degrés Farenheit (°F) ; deux en degrés Kelvin (°K).

Il s'agit d'échelles régulières, tracées sur quatre axes, et on peut considérer chaque axe comme indépendant des autres. Les échelles qui se trouvent sur le même axe sont appelées en général *ECHELLES ACCOLEES* ou aussi *ECHELLES SUPERPOSEES*; dans ce cas particulier, elles sont appelées *ECHELLES DE CONVERSION DES DEGRES THERMIQUES*, puisqu'elles permettent de convertir une température exprimée en degrés centigrades dans la mesure correspondante exprimée en degrés Farenheit ou en degrés Kelvin, ou vice-versa.

Ces échelles de conversion peuvent remplacer la *formule 51*, la *formule 52*, la *formule 53* et la *formule 54 (Formulaire 1)*, quand on ne demande pas une détermination très précise de la température.

Les déterminations sur le premier et le troisième axe (de gauche à droite) seront largement approchées ; celles sur le second et le quatrième seront beaucoup plus précises.

Exemples

1) Déterminer à combien de degrés Farenheit (°F) correspond la température de 100 °C (degrés centigrades).

Utilisant les échelles du premier axe, on trouve qu'à 100 °C correspond un peu plus de 200 °F (exactement 212 °F avec la *formule 51*).

En utilisant au contraire les échelles du second axe, on trouve qu'à 100 °C correspond un peu plus de 210 °F. Cette dernière détermination est évidemment plus proche de la première pour la valeur exacte.

2) Déterminer à combien de degrés centigrades (°C) correspond la température de 380 °K (degrés Kelvin).

Utilisant les échelles du troisième axe, on trouve qu'à 380 °K correspond un peu plus de 100 °C (exactement 106,84 °C avec la *formule 54*).

En utilisant au contraire les échelles du quatrième axe,on trouve qu'à 380 °K correspond un peu plus de 106 °C.

Cette détermination est plus précise que la précédente.

ABAQUE 2 (*Tableau 2* hors-texte)

RESISTANCE DES FILS DE CUIVRE

Cet abaque est constitué par trois axes parallèles, interdépendants, et de quatre échelles logarithmiques : deux échelles superposées sur l'axe central, une sur l'axe de gauche et une sur l'axe de droite.

L'échelle superposée sur l'axe central,représente les *sections S* des fils de cuivre, exprimées en *millimètres carrés* ; l'échelle superposée de droite sur le même axe central,représente les *diamètres correspondants,* exprimés en *millimètres* ; l'échelle sur l'axe de gauche représente les *longueurs* (l) des fils de cuivre, exprimées en *mètres ;* enfin l'échelle sur l'axe de droite représente les *résistances* (R) des fils de cuivre, exprimées en *ohm.*

L'abaque dans son ensemble peut servir à exécuter trois types de calculs graphiques, correspondant à la *formule 64*, à la *formule 65* et à la *formule 66 (Formulaire 2).*

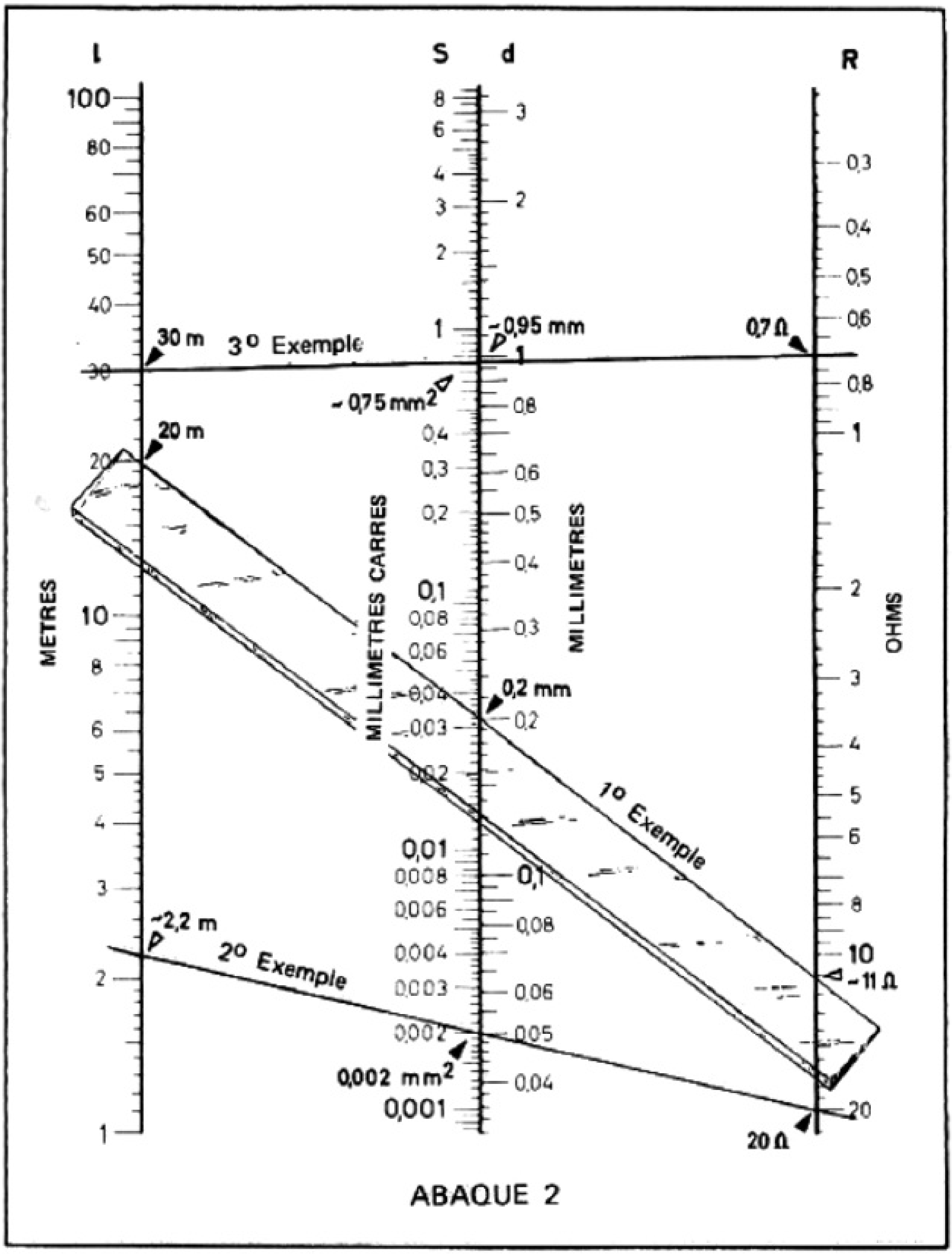
Le procédé de calcul est analogue dans les trois cas. On prend une règle, de préférence en matière transparente, et on l'applique sur l'abaque comme indiqué sur la *figure 7,* de façon à ce que le bord supérieur passe par les points qui représentent sur les axes les valeurs des grandeurs connues. L'intersection entre le bord de la règle et le troisième axe indique dans l'échelle respective la valeur que l'on veut déterminer.

Exemples (figure 7)

1) Déterminer la *résistance* R d'un fil de cuivre, connaissant la *section* S, ou bien le *diamètre* d, et la *longueur* Lde ce fil.

Données : $d = 0{,}2$ mm (à ce diamètre correspond la section du fil

$S \approx 0{,}0314\ mm^2$) , $L = 20$ m.



l
S
d
R
METRES
MILLIMETRES CARRES
MILLIMETRES
OHMS
30 m
3° Exemple
0,95 mm
0,7 Ω
0,75 mm²
20 m
0,2 mm
1° Exemple
11 Ω
2,2 m
2° Exemple
0,002 mm²
20 Ω
ABAQUE 2

Figure 7

Résistance du fil de cuivre : $R \approx 11\ \Omega$ (lue sur l'échelle logarithmique R).

2) Déterminer la *longueur* L que doit avoir un fil de cuivre, ayant une *section* donnée S, pour obtenir une *résistance* R de valeur donnée.

Données : $S = 0{,}002\ mm^2$ (à cette section correspond le diamètre du fil $d \approx 0{,}05\ mm$), $R = 20\ \Omega$.

Longueur du fil de cuivre : $L \approx 2{,}2\ m$.

3) Déterminer la *section* S et le *diamètre* d que doit avoir un fil de cuivre ayant une *longueur* donnée l et une *résistance* R donnée.

Données : $L = 30\ m$, $R = 0{,}7\ \Omega$.

Section du fil : $S \approx 0{,}75\ mm^2$

Diamètre du fil : $d \approx 0{,}95\ mm$.

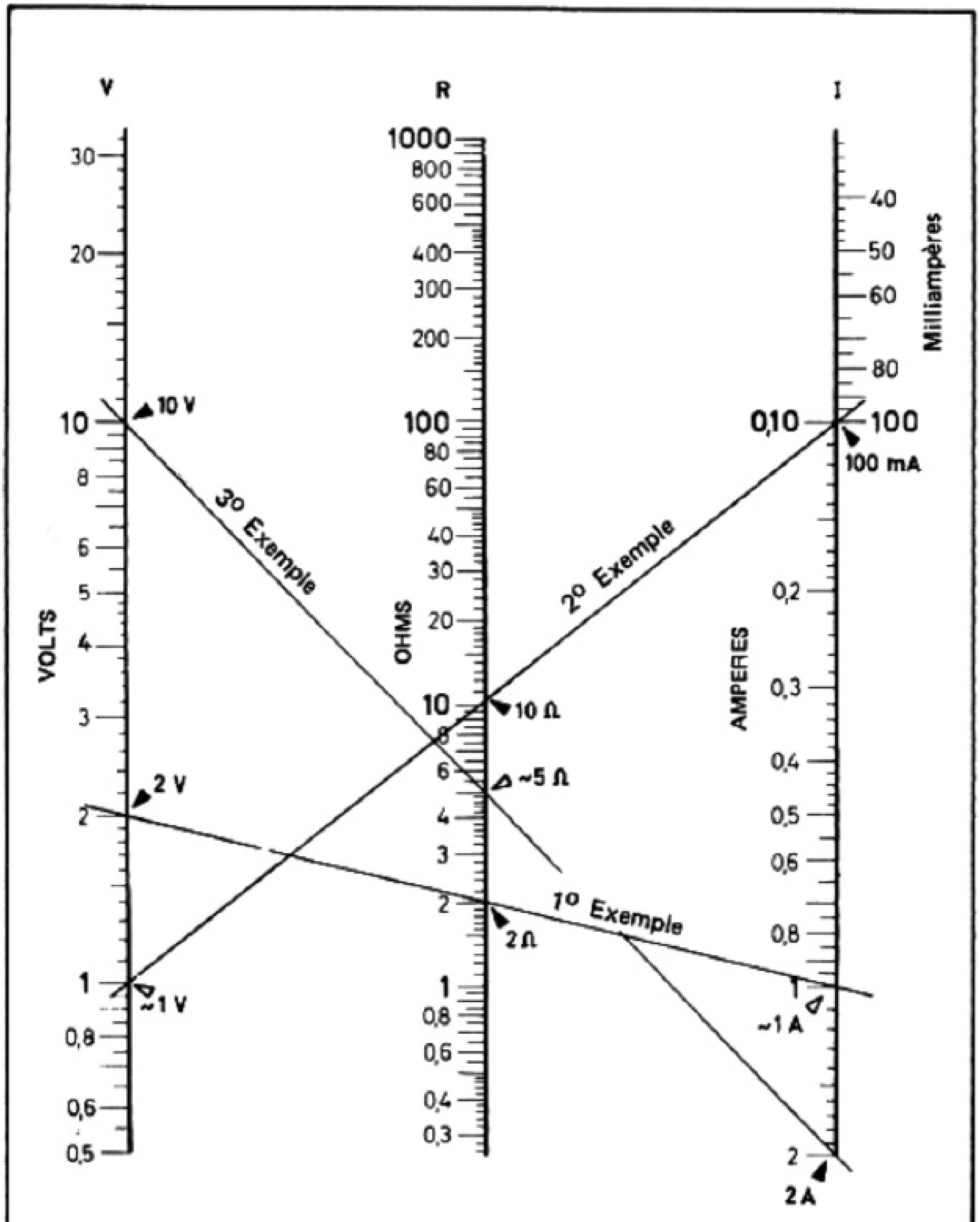
OBSERVATION - S'il arrive que le bord de la règle ne rencontre pas le troisième axe, cela voudra dire que l'abaque ne sert pas à exécuter directement le calcul graphique choisi ; dans ce cas il faut utiliser les formules.

ABAQUE 3 (*Tableau 3* hors-texte)

LOI D'OHM

Cet abaque est semblable à l'*abaque 2* ; évidemment les grandeurs représentées sont différentes, sur les échelles des trois axes. L'échelle sur l'axe de gauche représente les tensions (V) ; l'échelle sur l'axe central représente les résistances (R) ; l'échelle sur l'axe de droite représente les intensités de courant (I). Tensions, résistances et courants se rapportent à un même circuit, auquel soit applicable la loi d'Ohm ; donc, l'abaque dans son ensemble peut servir à exécuter trois types de calcul relatifs à la loi d'Ohm et correspondant à la *formule 74*, à la *formule 75* et à la *formule 76* *(Formulaire 2)*.

Le procédé de calcul graphique est semblable à celui de l'*abaque 2*.



ABAQUE 3

Figure 8

Exemples (figure 8)

1) Déterminer l'*intensité de courant* I qui parcourt une résistance R d'une valeur connue, quand une *tension donnée* V est appliquée aux bornes de la résistance.

Données : V = 2 V (volt); R = 2 Ω (ohm).

Intensité de courant : I = 1 A (ampère).

2) Déterminer la valeur de la *tension* V que l'on doit appliquer à une *résistance* R de valeur connue,pour faire passer un courant d'intensité I donné.

Données : R = 10 Ω, I = 100 mA (milliampère).

Tension : V ≈ 1 V.

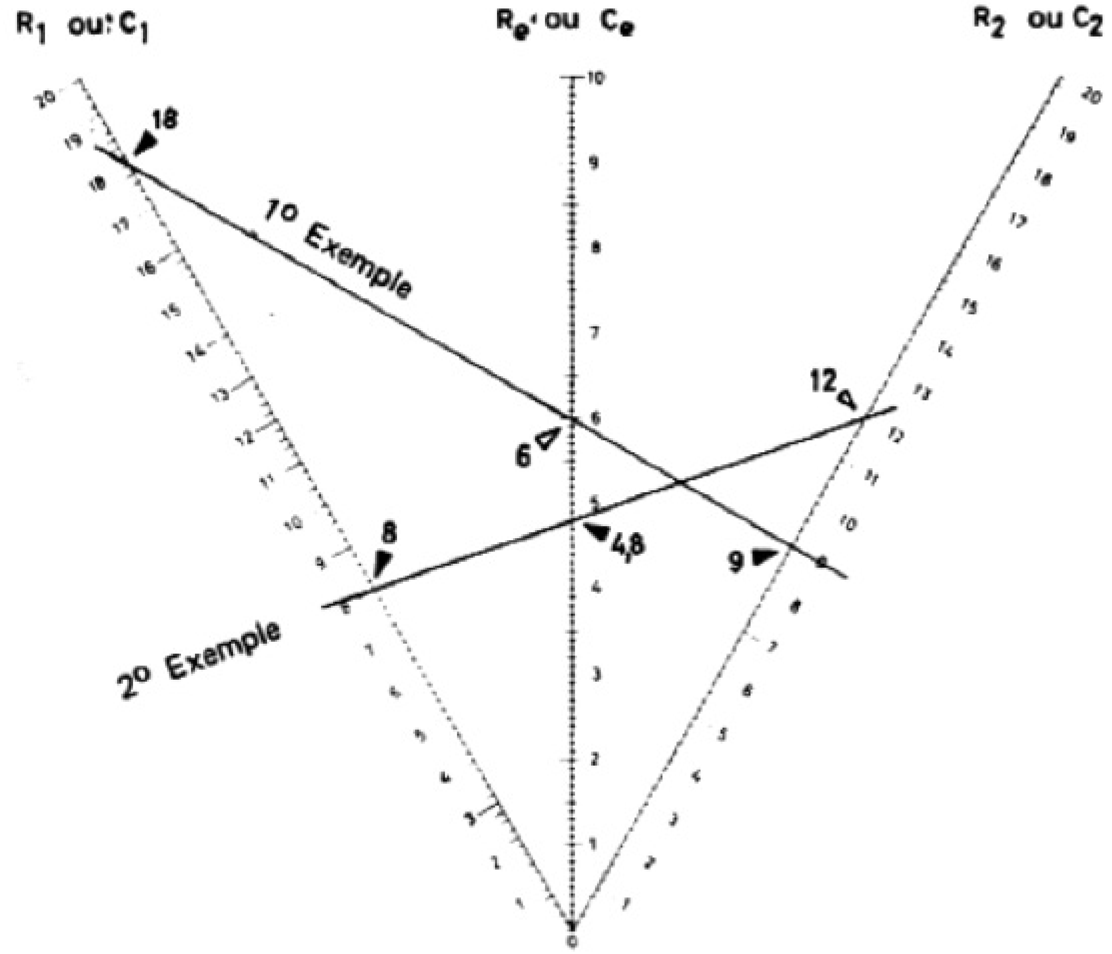
3) Déterminer la valeur d'une *résistance* R parcourue par un courant d' *intensité* I connu, quand on lui applique une *tension* donnée V.
Données : V = 10 V ; I = 2 A.
Résistance : R = 5 Ω

ABAQUE 4 *(Tableau 4* hors-texte)

RESISTANCES EN PARALLELE ET CAPACITES EN SERIE

Cet abaque se distingue des précédents, soit parce qu'il est constitué par trois axes concourants, et donc non parallèles comme dans les *abaques 1, 2 et 3,* soit parce que les échelles tracées sur les axes sont *régulières,* alors qu'on avait des échelles logarithmiques dans *l'abaque 2* et dans *l'abaque 3.*

Celui-ci est utilisé pour déterminer la *résistance équivalente* de deux résistances reliées en parallèle, ou bien la *capacité équivalente* de deux condensateurs reliés en série *(formule 80, Formulaire 2 ; formule 121, Formulaire 3)* ; en outre, il peut être utilisé pour déterminer la *valeur d'une résistance à relier en parallèle à une autre résistance,* de façon à obtenir une résistance équivalente donnée *(formule 81, Formulaire 2),* ou bien pour déterminer la *valeur d'un condensateur à relier en série à un autre condensateur, de façon à* obtenir une capacité donnée équivalente *(formule 122, Formulaire 3).*



ABAQUE 4

Figure 9

Les procédés de calcul graphique sont les mêmes pour les résistances et pour les capacités ; pour cette raison, il a été possible d'adopter le même abaque et les unités de mesure n'ont pas été indiquées sur les axes ; de toute façon, il faut tenir compte du fait que les valeurs connues et la valeur inconnue doivent être exprimées dans la même unité de mesure, soit les résistances en *ohm*, ou bien *kiloohm*, ou bien en *mégohm*, et la capacité en *microfarad*, ou bien en *nanofarad*, ou bien en *picofarad* (l'unité *farad* n'est pas utilisée en pratique).

Exemples (figure 9)

1) - Déterminer la *résistance équivalente* R_e de deux résistances R_1 et R_2 de valeur connue, reliées en parallèle.

Données : $R_1 = 18\ k\Omega$, $R_2 = 9\ k\Omega$.

Résistance équivalente : $R_e = 6\ k\Omega$.

2) - Déterminer la *capacité inconnue* C_i, d'un condensateur à relier en série à un autre condensateur C, de valeur connue, pour obtenir une *capacité équivalente* C_e .

Données : $C_e = 4{,}8\ \mu F$ (microfarad), $C_1 = 8\ \mu F$.

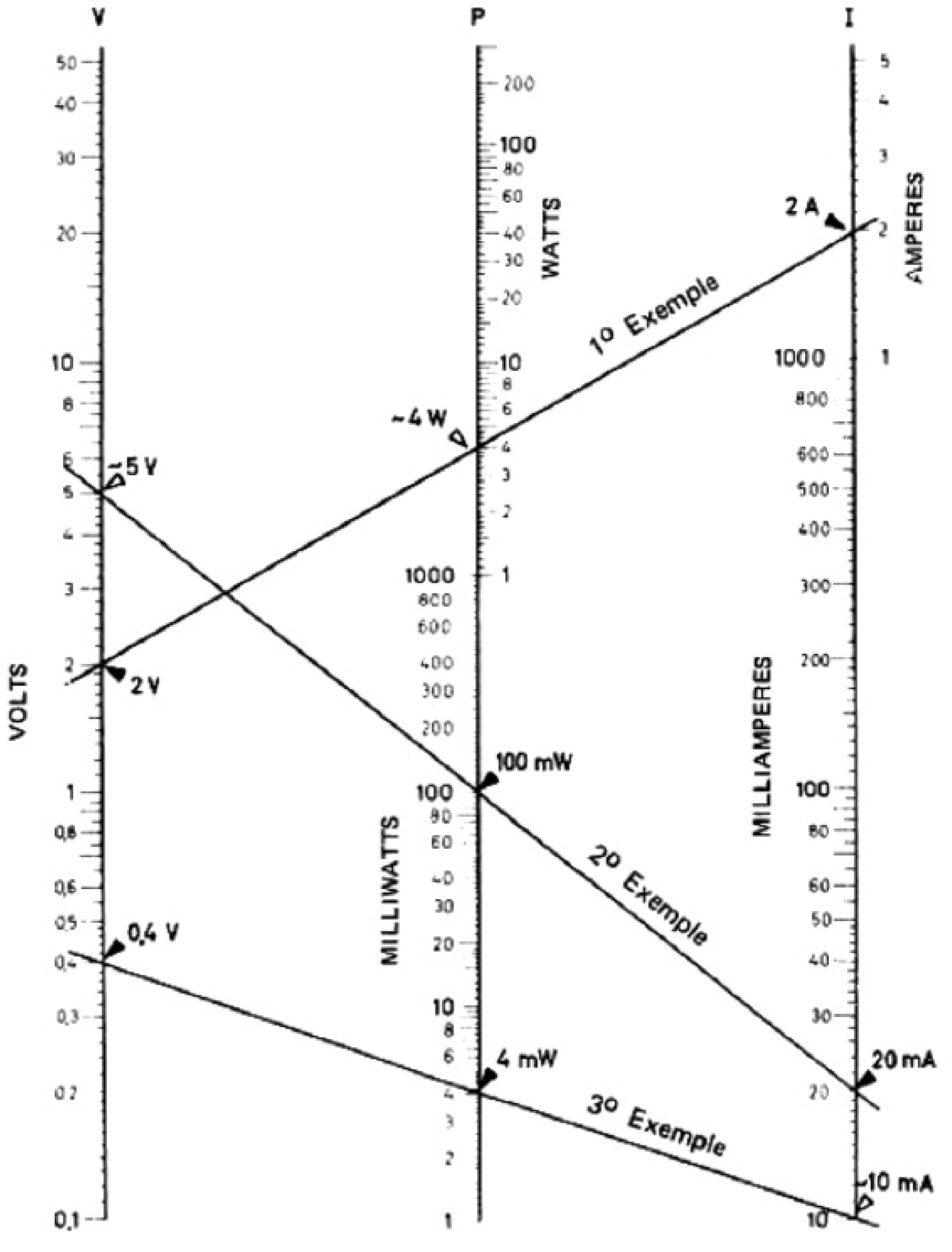
Capacité inconnue : $C_i = C_2 = 12\ \mu F$.

ABAQUE 5 (*Tableau 5* hors-texte)

PUISSANCE ELECTRIQUE

Cet abaque est semblable à l'*abaque 2* et à l'*abaque 3*, et les considérations faites précédemment sont donc valables pour cet abaque.

Sur le premier axe, de gauche à droite, l'échelle des tensions est tracée, tensions exprimées en volt ; sur le second axe est tracée l'échelle des puissances exprimées successivement en milliwatt, en watt et en kilowatt, sur le troi-



ABAQUE 5

Figure 10

sième axe est tracée l'échelle des *intensités de courant*, exprimées successivement en *milliampère* et en *ampère.*

L'abaque peut servir à exécuter graphiquement les calculs relatifs à la *formule 85*, à la *formule 86* et à la *formule 87 (Formulaire 2)* ; il peut aussi servir à déterminer la *puissance* (apparente), connaissant la *tension* et *l'intensité du courant* ; la *tension* connaissant la *puissance* et *l'intensité du courant* ; et enfin *l'intensité du courant*, connaissant la *puissance* et la *tension.*

Exemples (figure 10)

1) Déterminer la *puissance* P d'un circuit, connaissant les valeurs du *courant absorbé* I et de la *tension appliquée* V.

Données : V = 2 V (volt), I = 2 A (ampère).

Puissance : P ≈ 4 W (watt).

2) Déterminer la *tension* V applicable à un circuit se basant sur les valeurs de *puissance* P et *du courant* I qu'il doit absorber.

Données : I = 20 mA (milliampère), P = 100 mW (milliwatt)

Tension : V ≈ 5 V.

3) Déterminer l'*intensité du courant* I qui parcourt un circuit de *puissance* P connue, la valeur de la *tension appliquée* V étant donnée.

Données : V = 0,4 V, P = 4 mW.

Intensité du courant : I ≈ 10 mA.

ABAQUE 6 *(Tableau 6* hors texte*)*

LOI D'OHM ET PUISSANCE ELECTRIQUE

Cet abaque est quelque peu différent des précédents. Au point de vue mathématique, il constitue un exemple de généralisation des diagrammes cartésiens, étudiés dans *Mathématiques 2* ; il s'agit alors d'un diagramme en *échelles logarithmiques,* alors que dans le diagramme cartésien normal,on utilise des *échelles métriques* (régulières). Les diagrammes cartésiens à échelles logarithmiques ou à échelles différentes des échelles métriques,sont appelés d'une façon générale *ABAQUES CARTESIENS.*

Au point de vue pratique, l'abaque que nous sommes en train d'examiner est très utile pour le calcul des résistances, ou bien pour déterminer les valeurs de *résistance* et de *puissance* (dissipation) connaissant la *tension* appliquée et *l'intensité de courant* qui passe dans la résistance, ou vice-versa.

Dans cet abaque,sont comprises toutes les formules reportées dans l'*abaque 3* et dans l'*abaque 5 (Tableau 3* et *Tableau 5* hors-texte).

Il ne faut pas de règle pour l'usage de cet abaque.

Exemples (figure 11)

1) - Déterminer la *résistance* et la *puissance* dissipée par une résistance, à laquelle est appliquée la tension de 100 V (volt) et dans lequel doit passer un *courant* de 5 mA (milliampère).

Suivant la verticale passant par le point qui représente la valeur de 5 mA et l'horizontale passant par le point qui représente la valeur de 100 V, on voit que les deux lignes droites se rencontrent au point Q du diagramme *(figure 11).* Par ce même point Q passent deux autres lignes droites : une inclinée vers la droite, l'autre inclinée vers la gauche. En suivant la ligne droite inclinée vers la droite,on voit qu'elle coupe le premier axe des ohms en un point correspondant à 20.000 Ω ; c'est la valeur de la résistance cherchée.

En suivant au contraire la ligne droite inclinée vers la gauche,on voit qu'elle coupe le premier axe des watts en un point correspondant à 0,5 W ; c'est la valeur de la puissance dissipée par la résistance.

2) - Déterminer la *tension* applicable à une résistance et le *courant* qui la parcourt, connaissant la *résistance* et la *puissance* pouvant être dissipée.

En se référant au diagramme de la *figure 11,* nous pourrons reconsidérer l'exemple précédent en procédant à l'envers, c'est-à-dire en supposant connues la résistance de 20.000 Ω et la puissance de 0,5 W, nous pourrons déterminer les valeurs de tension et de courant. Dans ce but, suivant les deux lignes droites inclinées qui passent respectivement par le point relatif à

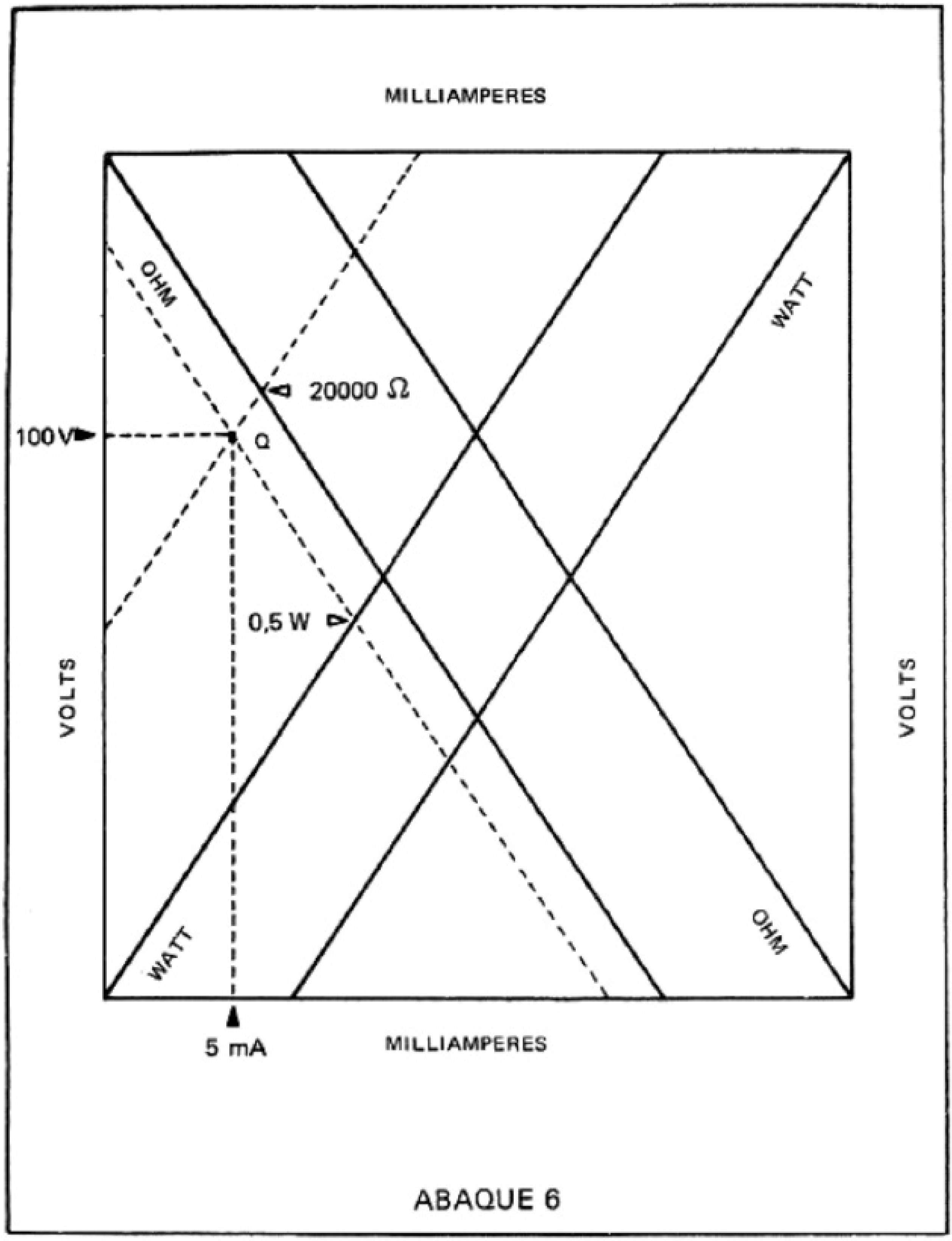

MILLIAMPERES
OHM
WATT
20000 Ω
100 V
Q
0,5 W
VOLTS
VOLTS
WATT
OHM
5 mA
MILLIAMPERES
ABAQUE 6

Figure 11

20.000 Ω et par celui relatif à 0,5 W, on cherche le point Q, c'est-à-dire le point de rencontre de ces lignes droites. En suivant successivement la ligne verticale et la ligne horizontale passant par le point Q, on détermine respectivement, sur les marges du diagramme, la valeur du courant (5 mA) et la valeur de la tension (100 V).

Avec un procédé analogue, on trouve directement sur le *tableau 6* hors texte qu'à 100 Ω et 1 W correspondent 100 mA et 10 V, à 100 Ω et 0,04 W, correspondent 20 mA et 2 V, à 200.000 Ω et 0,8 W correspondent 2 mA et 400 V, etc...

3) L'*abaque 6* peut aussi servir pour déterminer la *puissance* qu'une résistance doit avoir quand les valeurs de *résistance* et de *tension* (ou de *courant*) sont connues.

Le procédé à suivre est le suivant. On considère l'intersection Q de la ligne droite inclinée (à droite) qui passe par la valeur de résistance, avec la ligne verticale qui passe par la valeur de courant (ou avec la ligne droite horizontale qui passe par la valeur de tension). Une fois le point Q trouvé, on considère l'autre ligne droite passant par Q et inclinée à gauche ; l'intersection de cette ligne droite détermine la valeur de la puissance de dissipation sur un des deux axes des watts. Se référant à l'exemple de la *figure 11,* pour la résistance de 20.000 Ω et pour la tension appliquée de 100 V (ou bien pour le courant de 5 mA), nous voyons qu'il faut choisir une résistance ayant 0,5 W de dissipation.

ABAQUE 7 *(Tableau 7* hors-texte)

CAPACITE DE CONDENSATEURS PLANS A AIR

Cet abaque permet de calculer la capacité maximum des *condensateurs variables* et des *condensateurs ajustables* (petits condensateurs semi-fixes en usage sur les récepteurs radio).

La capacité minimum de ces condensateurs variables et ajustables peut se déterminer seulement de façon expérimentale.

L'abaque est constitué de deux abaques superposés : le premier est formé par les échelles logarithmiques A, d, C, et sert à déterminer la *capacité*

(C) d'un élément du condensateur variable, connaissant la *surface* (A) de la plaque et la *distance* (d) entre les deux plaques qui composent chaque élément ; le second est formé par les échelles logarithmiques C, n et C_1, et sert à déterminer la *capacité totale* (C_t) du condensateur, connaissant le *nombre des éléments* (n) et la *capacité* (C) de chacun des éléments du condensateur.

Au premier des deux abaques superposés correspond la *formule 108* du *Formulaire 3* ; au second correspond la *formule 109* toujours dans le *Formulaire 3.*

Il suffit d'employer l'abaque de la manière habituelle mais en deux fois, déterminer la capacité C d'un élément, l'autre pour déterminer la capacité C_t de tout le condensateur.

Exemple (figure 12)

Calculer la capacité totale maximum d'un condensateur ajustable ayant comme bases les données initiales suivantes :

$A = 2\ cm^2$, $d = 0{,}3\ mm$, $n = 17$.

En premier lieu, on détermine la capacité d'un élément, se basant sur la valeur de A ($2\ cm^2$) lue sur la première échelle et sur la valeur de d (0,3 mm) lue sur l'échelle centrale. La valeur que l'on obtient est $C \approx 6\ pF$, lue sur la troisième échelle.

Se basant sur la valeur de C maintenant déterminée et à la valeur de n (17) donnée, on trouve le résultat suivant

capacité totale : $C_t \approx 95\ pF$.

OBSERVATION - D'une façon pratique, pour obtenir des résultats à prendre en considération, il faut tenir compte de ce qui suit.

a) Le champ électrique, le long du contour des plaques n'est pas uniforme comme dans les zones internes : pour tenir compte de ceci, il faut augmenter de 3 % à 5 % la valeur trouvée pour C ou pour C_t. Dans le cas de l'exemple précédent, on pourra donc avoir une capacité totale comprise entre 97,85 pF et 99,75 pF ; la première valeur se réfère à une augmentation de 3 % de la valeur C_t (95 pF), alors que le second se réfère à une augmenta-

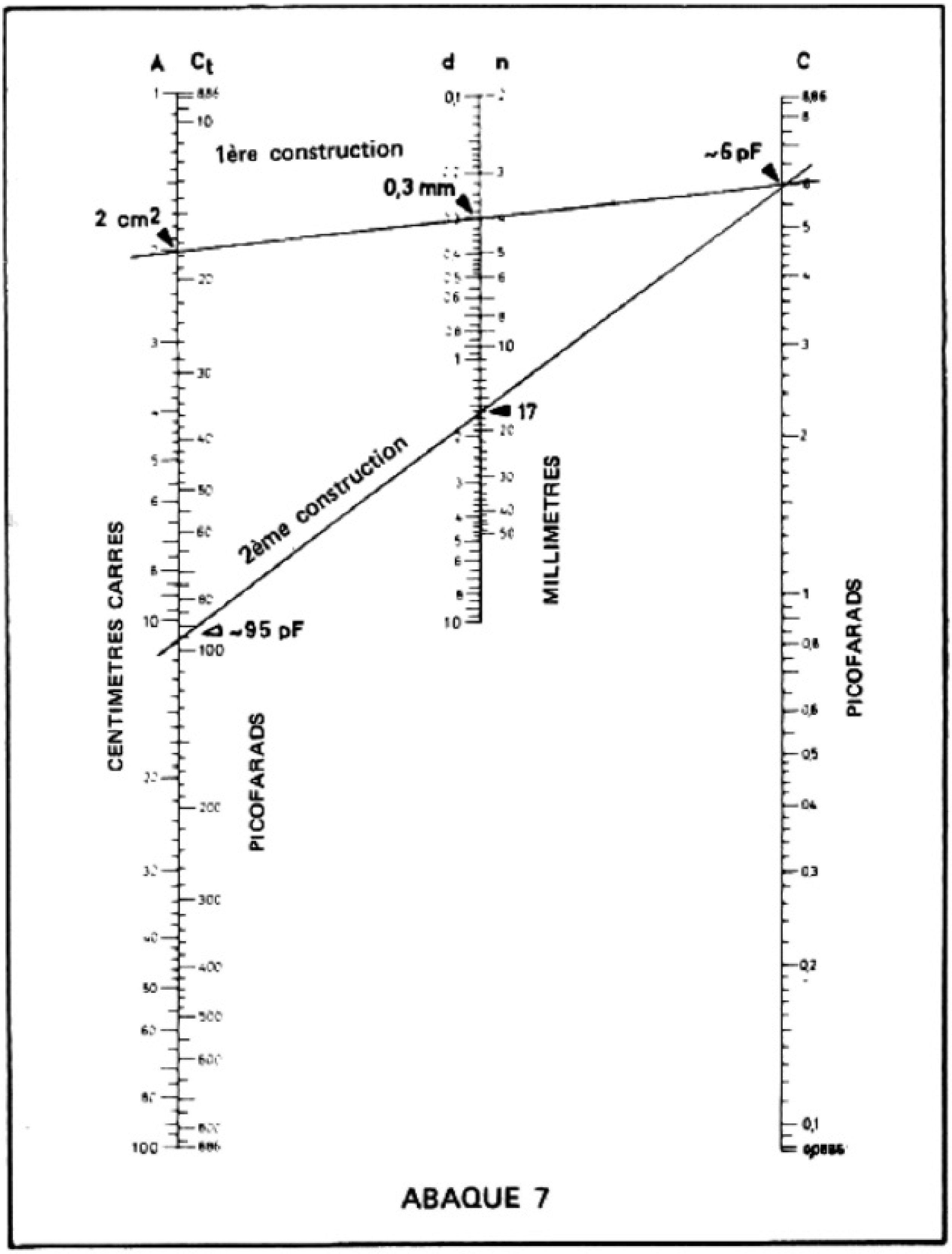

A
C_t
d
n
C
1ère construction
2ème construction
2 cm2
0,3 mm
~6 pF
17
~95 pF
CENTIMETRES CARRES
PICOFARADS
MILLIMETRES
PICOFARADS
ABAQUE 7

Figure 12

tion maximum de 5 % .

b) Il faut aussi ajouter à la valeur calculée les capacités parasites supports, bobinages). La somme de ces capacités est difficile à évaluer, mais pour nous orienter nous pouvons retenir qu'elle est comprise entre 5 pF et 10 pF avec une grande approximation. En prenant la valeur de 8 pF et en considérant l'augmentation précédente portant la capacité totale à 98 pF, on peut retenir que la capacité maximum totale est en réalité égale à environ 106 pF (98 + 8 = 106) au lieu de 95 pF.

c) La mesure de la distance entre les plaques doit être exécutée avec le plus grand soin, parce que les erreurs dans la détermination de cette valeur influent d'une façon notable sur le résultat final.

ABAQUE 8 *(Tableau 8* hors texte)

INFLUENCE DU DIELECTRIQUE SUR LA CAPACITE D'UN CONDENSATEUR

Cet abaque est du type classique à trois axes parallèles, déjà vu précédemment (voir l'*abaque 2*) ; de plus, en comparaison aux autres abaques du même type, il porte à droite de l'échelle ϵ_r l'indication de la *constante diélectrique relative (formule 107, Formulaire 3)* de quelques substances utilisées fréquemment en électronique. Voulant connaître les valeurs de la constante diélectrique d'autres matériaux, on peut voir le tableau VI (figure 1) du Formulaire 3.

L'abaque sert à déterminer la *capacité* (C) prise par un condensateur à air quand un autre diélectrique est interposé entre les armatures ; pour exécuter ce calcul il faut connaître la *constante diélectrique relative* (ϵ_r) du matériau isolant interposé entre les armatures et la *capacité* (C_{air}) du condensateur à air.

Procédant en sens inverse, on peut aussi déterminer la *capacité* prise par un condensateur quand, en retirant le matériau isolant interposé entre les armatures, on obtient un condensateur à air.

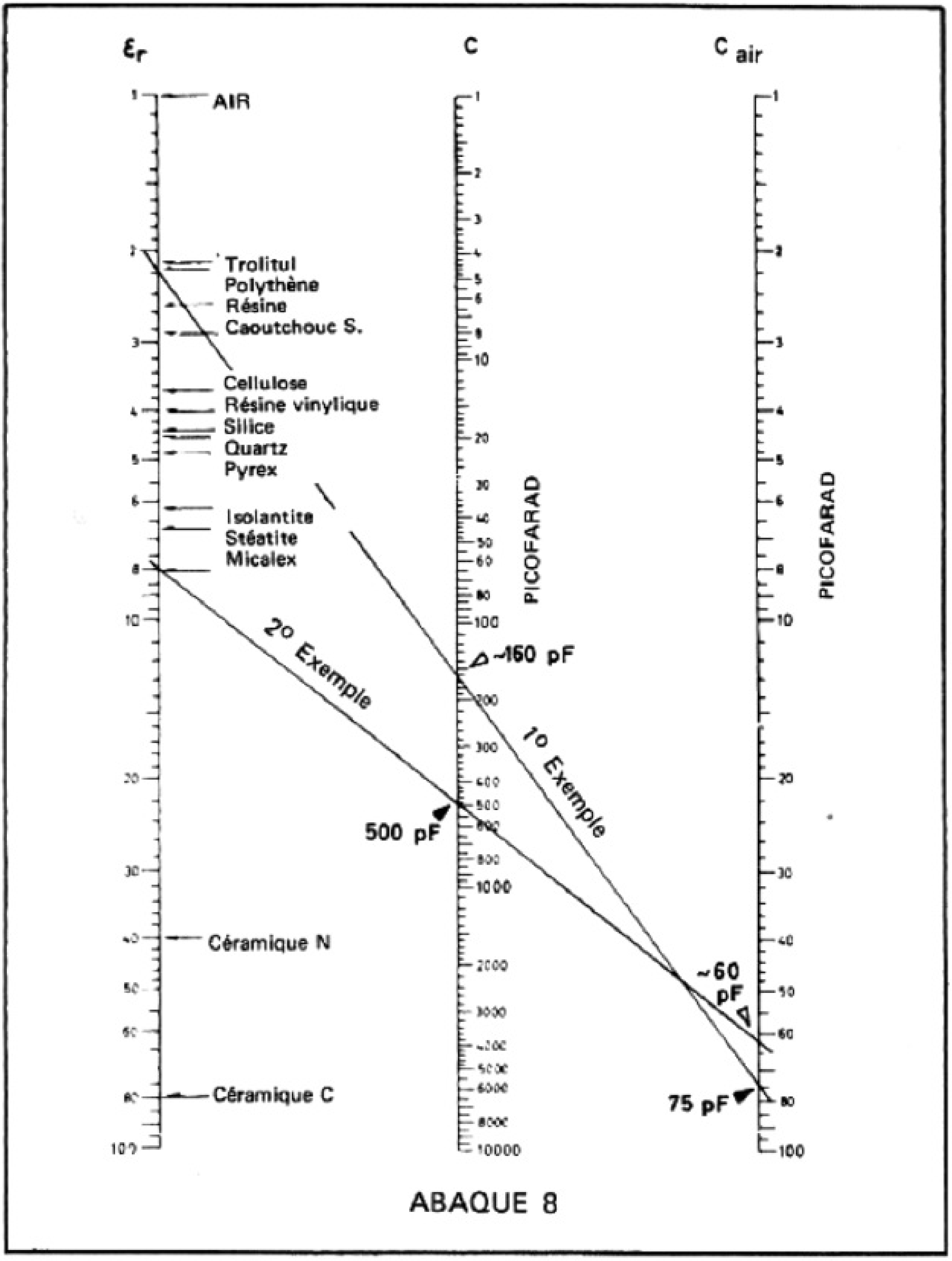

ε_r
C
C air
AIR
Trolitul
Polythène
Résine
Caoutchouc S.
Cellulose
Résine vinylique
Silice
Quartz
Pyrex
Isolantite
Stéatite
Micalex
Céramique N
Céramique C
PICOFARAD
PICOFARAD
2° Exemple
1° Exemple
~160 pF
500 pF
~60 pF
75 pF
ABAQUE 8

Figure 13

Exemples (figure 13)

1) - Déterminer la *capacité* C d'un condensateur avec diélectrique de polyéthylène, connaissant la *capacité* C_{air} de ce condensateur sans polyéthylène et la *constante diélectrique* du polyéthylène.

Données : $\epsilon_r \approx 2{,}2$ (constante diélectrique relative du polyéthylène).
C air = 75 pF
Capacité du condensateur avec diélectrique polyéthylène : C ≈ 160 pF

2) - Déterminer la *capacité* C_{air} d'un condensateur avec diélectrique micalex, connaissant sa *capacité* C et la *constante diélectrique* du micalex.

Données : $\epsilon_r \approx 8$ (constante diélectrique du micalex), C = 500 pF (capacité du condensateur avec diélectrique micalex).

Capacité du condensateur à air obtenu en retirant le micalex :

$C_{air} \approx 60$ pF (valeur comprise entre 60 pF et 65 pF).

ABAQUE 9 *(Tableau 9 hors texte)*

INDUCTANCE DES BOBINES CYLINDRIQUES A UNE COUCHE

Cet abaque est du type classique à trois axes parallèles, déjà vus précédemment (voir l'*abaque 2*).

Il sert à calculer *l'inductance* (L) d'une bobine, en connaissant le *diamètre* (d), la *longueur* (l) et le *nombre de spires* (N).

Le calcul s'exécute en trois phases successives. Tout d'abord, on détermine avec la règle la valeur de N^2d (dernière colonne à droite), en partant des valeurs du diamètre (d) et du nombre de spires (N) ; successivement, on calcule à part la valeur du rapport l/d, soit on divise la longueur de la bobine par le diamètre ; enfin, une fois connues les valeurs de N^2d et 1/d, on détermine de la façon habituelle sur l'axe central la valeur de l'inductance L.

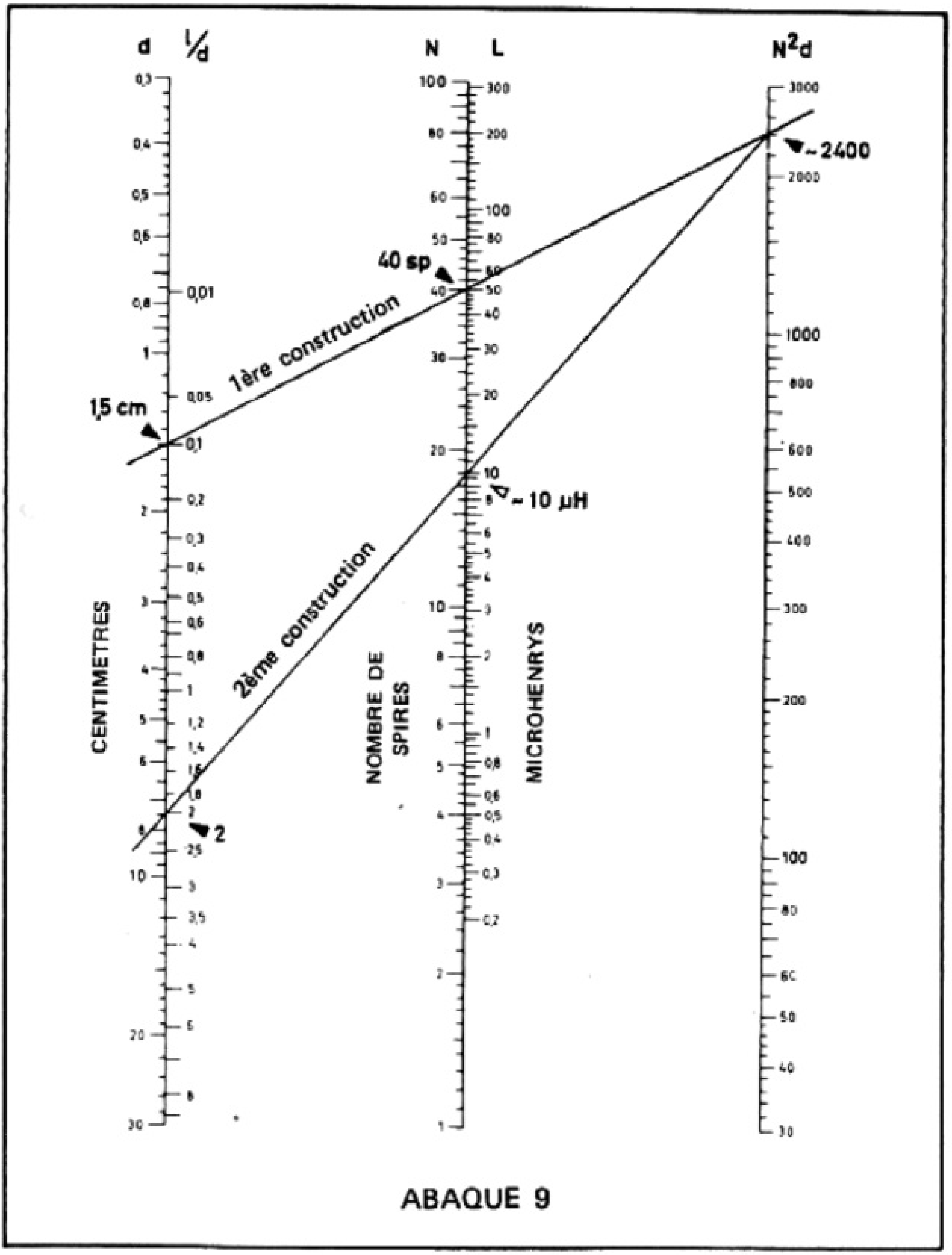

d
1/d
N
L
N²d
CENTIMETRES
NOMBRE DE SPIRES
MICROHENRYS
1ère construction
2ème construction
1,5 cm
40 sp
~ 2400
~ 10 µH
2
ABAQUE 9

Figure 14

Exemple (figure 14)

Déterminer *l'inductance* L d'une bobine cylindrique, à une seule couche, connaissant le *diamètre* d, et la *longueur* L de la bobine et le *nombre de spires* N.

Données : d = 1,5 cm, N = 40 spires. L = 3 cm.

$$N^2 d \approx 2.400 \; ; \frac{L}{d} = \frac{3}{1{,}5} = 2.$$

Inductance : L ≈ 10 μH (microhenry).

OBSERVATION - L'*abaque 9* correspond à la *formule 129 (Formulaire 3)*. Dans la formule, la *section* (S) a pourtant été introduite, au lieu du diamètre (d) ; en outre, on exprime l'inductance (L) en *millihenry* au lieu de *microhenry*.

ABAQUE 10 (*Tableau 10* hors-texte)

NOYAU DES TRANSFORMATEURS D'ALIMENTATION et NOMBRE DE SPIRES PAR VOLT

Cet abaque et les deux autres que nous examinerons ensuite, sont à considérer comme des moyens auxiliaires, pour abréger le calcul des transformateurs d'alimentation exposé dans la première partie du présent formulaire.

Le calcul des transformateurs se déroule en plusieurs phases, comme nous l'avons déjà vu précédemment. Parmi ces phases, la plus importante est celle relative à la détermination de la section du noyau *(formule 170)*, celle du calcul du nombre de spires par volt *(formule 174)*, celle relative au choix de la section et donc du diamètre des fils *(Formulaire 171, tableau IX)* et celle relative à la vérification de l'encombrement des fils (indice d'encombrement, *tableau IX*).

L'*abaque 10* sert à déterminer la *section du noyau* (S), se basant sur la *puissance secondaire totale* (P_{st}) du transformateur, et le *nombre de spires* *par volt* (N/V) se basant sur les valeurs de la *section* (S), de *l'induction* (B) et de la *fréquence* (f).

Exemple (figure 15)

a) Déterminer la *section du noyau magnétique* (S) d'un transformateur, connaissant la *puissance secondaire totale* : $P_{st} = 40$ W (watt).

Dans le but d'exécuter la *première construction graphique* indiquée dans la *figure 15* et on lit la valeur de la section sur l'échelle S du premier axe à gauche : $S \approx 8\ cm^2$.

Ce calcul s'exécute en reliant le point A, indiqué sur l'axe central, avec le point qui représente sur l'axe P_{st} la valeur de la puissance (40 W). Le point A n'a aucune référence avec les échelles B (induction) et f (fréquence) de l'axe central.

b) Une fois déterminée la valeur de la section S, on peut calculer graphiquement le nombre de spires par volt (N/V) se basant sur les données suivantes :

$S = 8\ cm^2$, $B = 1{,}25\ Wb/m^2$ (weber au mètre carré), $f = 50$ Hz (hertz).

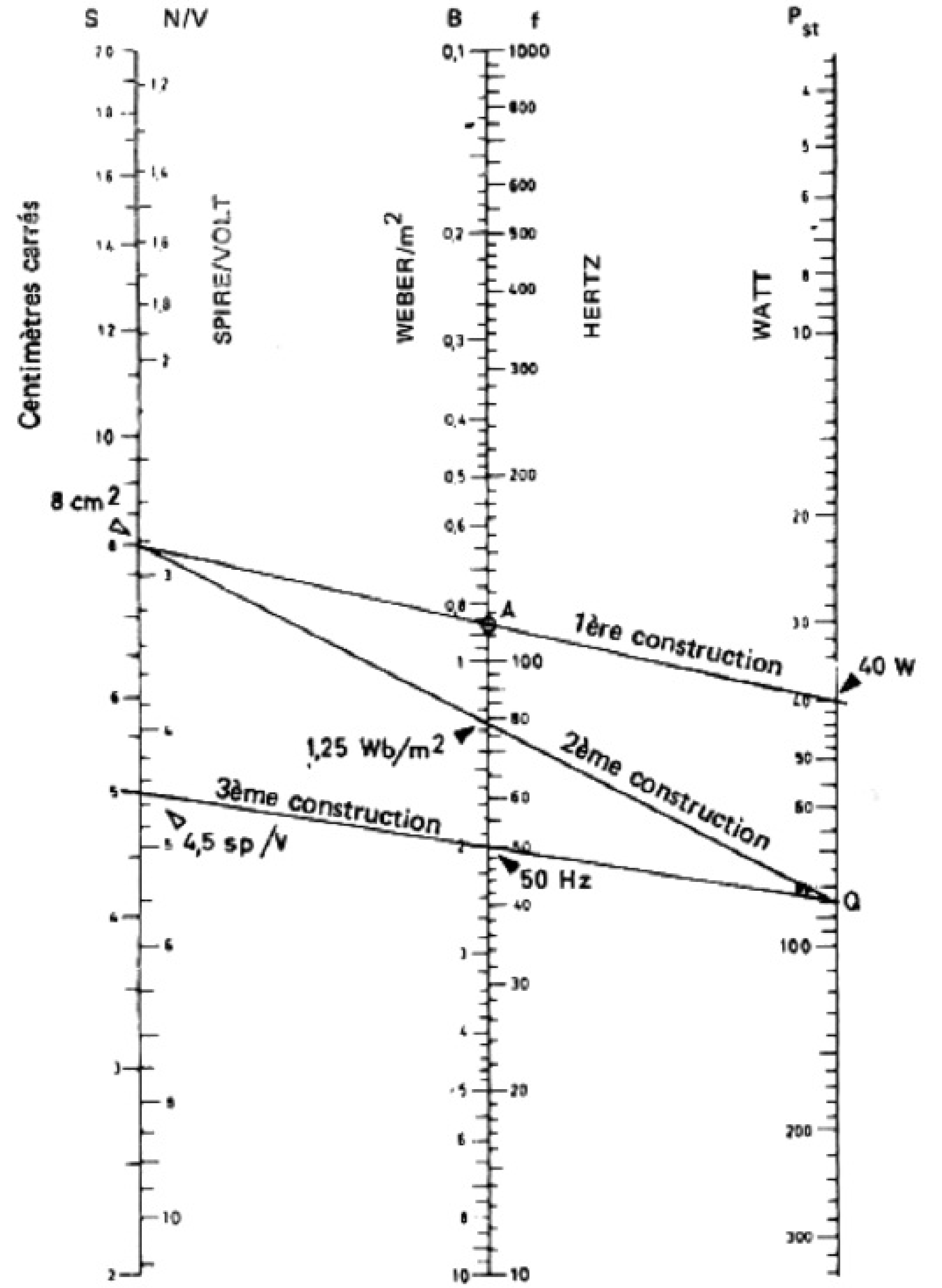
Ce calcul s'exécute en deux temps. D'abord, on choisit le point qui rejoint la section $S = 8\ cm^2$, avec le point qui représente la valeur de l'induction $B = 1{,}25\ Wb/m^2$ (*seconde construction graphique* de la *figure 15*), et en prolongeant la droite on détermine sur le dernier axe à droite le point auxiliaire Q. Le point Q déterminé par le second calcul graphique, n'a aucun contact avec l'échelle des puissances secondaires totales (P_{st}), mais sert seulement pour passer aux phases finales du calcul, soit la *troisième construction graphique* de la *figure 15.*

Ce calcul consiste à faire se rejoindre le point Q et le point qui, sur l'axe central, représente la valeur de la fréquence ($f = 50$ Hz) et à lire le nombre de spires par volt que la droite indique sur l'échelle N/V du premier axe : $N/V = 4{,}5$ (spires par volt).

En reprenant les calculs précédents, on obtient :

section nette du noyau : $S \approx 8\ cm^2$;

nombre de spires par volt : $N/V \approx 4{,}5$ sp/V.



ABAQUE 10

Figure 15

ABAQUE 11 *(Tableau 11 hors-texte)*

DIAMETRE DES FILS DES TRANSFORMATEURS

Cet abaque, comme le précédent, sert au calcul des transformateurs, c'est-à-dire en particulier, à déterminer le diamètre (D) des fils nus, ne considérant pas l'épaisseur de l'émail.

Pour exécuter ce calcul, il est nécessaire de connaître l'intensité du courant (I) qui doit parcourir le fil et la densité de courant (d) admissible dans ce fil.

L'abaque permet de calculer le diamètre des fils pour des intensités de courant comprises entre 10 mA (milliampère) et 10 A (ampère) et pour deux valeurs de la densité de courant admissible : d' = 3 A/mm² (ampère au millimètre carré), représenté par le point central A, d'' = 2 A/mm², représenté par le point central B.

Exemples (figure 16)

1) - Déterminer le diamètre (D) d'un fil de cuivre, ne considérant pas l'épaisseur de l'émail, connaissant l'intensité du courant (I) et la densité de courant (d) admissible dans le fil.

Données : I = 3,5 A, d' = 3 A/mm².

Diamètre du fil : D ≈ 1,2 mm.

2) - Déterminer le diamètre (D) d'un fil de cuivre, ne tenant pas compte de l'épaisseur de l'émail, connaissant l'intensité du courant (I) et la densité (d) du courant admissible.

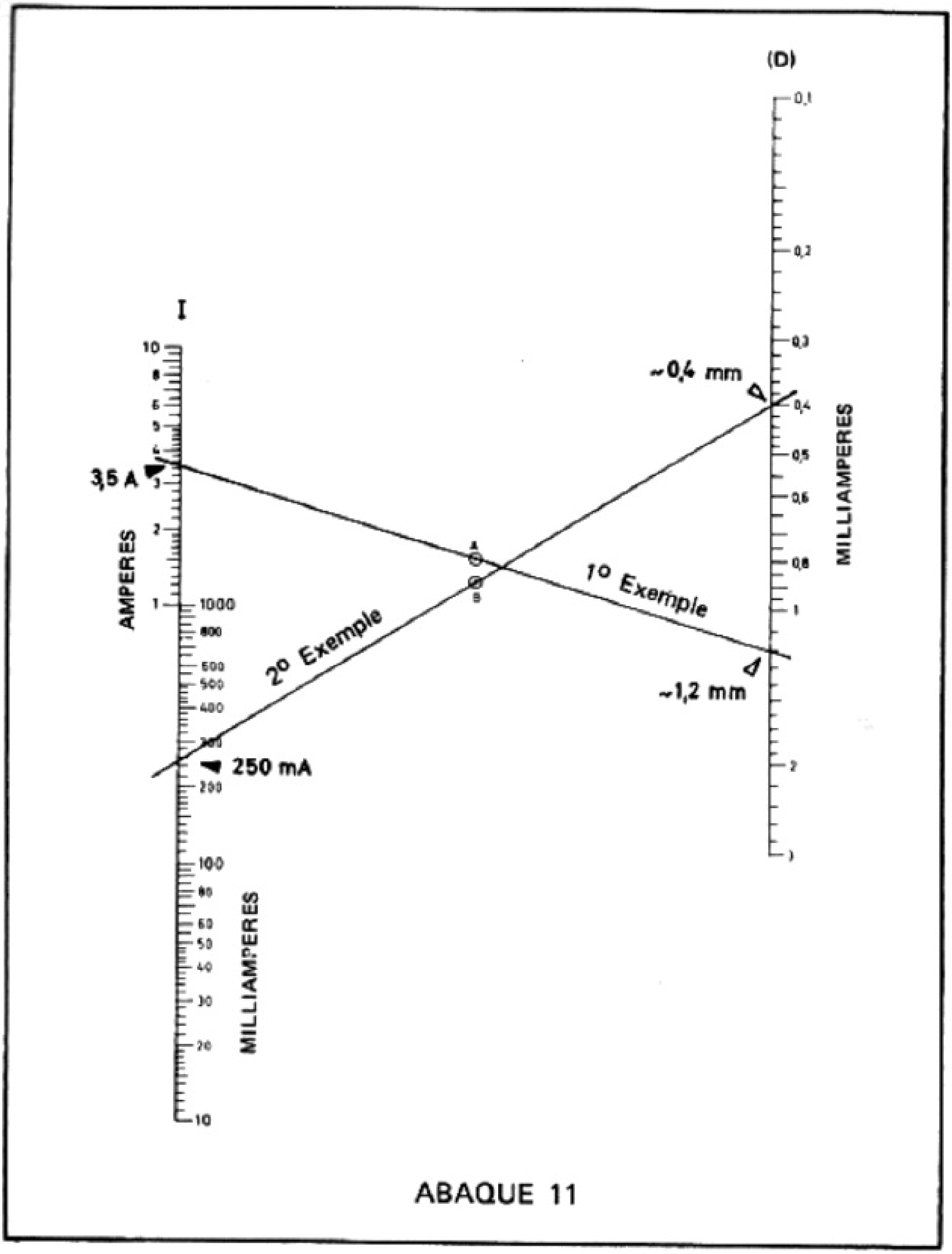

(D)
I
AMPERES
MILLIAMPERES
MILLIAMPERES
3,5 A
250 mA
~0,4 mm
~1,2 mm
1° Exemple
2° Exemple
A
B
ABAQUE 11

Figure 16

Données : $I = 0{,}250\ A = 250\ mA$, $d'' = 2\ A/mm^2$

Diamètre du fil : $D \approx 0{,}4\ mm$

ABAQUE 12 *(Tableau 12 hors texte)*

ENCOMBREMENT DES FILS EMAILLES DANS LES TRANSFORMATEURS

Cet abaque, comme les deux précédents, sert au calcul des transformateurs et en particulier à déterminer l'indice d'encombrement (k) des fils émaillés (voir Tableau IX - figure 3).

L'abaque est constitué par deux axes et deux points ; donc, sous cet aspect, il est semblable à l'abaque 11. Sur l'axe d sont représentés, en échelles logarithmiques toujours, les diamètres des fils émaillés ; sur l'axe k sont représentées toujours en échelles logarithmiques, les valeurs de l'indice k ; le point A est utilisé pour le calcul de l'indice k des fils émaillés ayant un diamètre compris entre 2 mm et 0,2 mm ; le point B est utilisé au contraire pour déterminer l'indice k des fils émaillés ayant un diamètre compris entre 0,2 mm et 0,04 mm.

Exemples (figure 17)

1) - Déterminer la valeur de l'indice d'encombrement k pour le fil émaillé ayant un diamètre de 1,25 mm.

En joignant le point A qui, sur l'axe d représente le diamètre 1,25 mm on détermine sur l'axe k, la valeur $k \approx 50\ sp/cm^2$ (spires au centimètre carré).

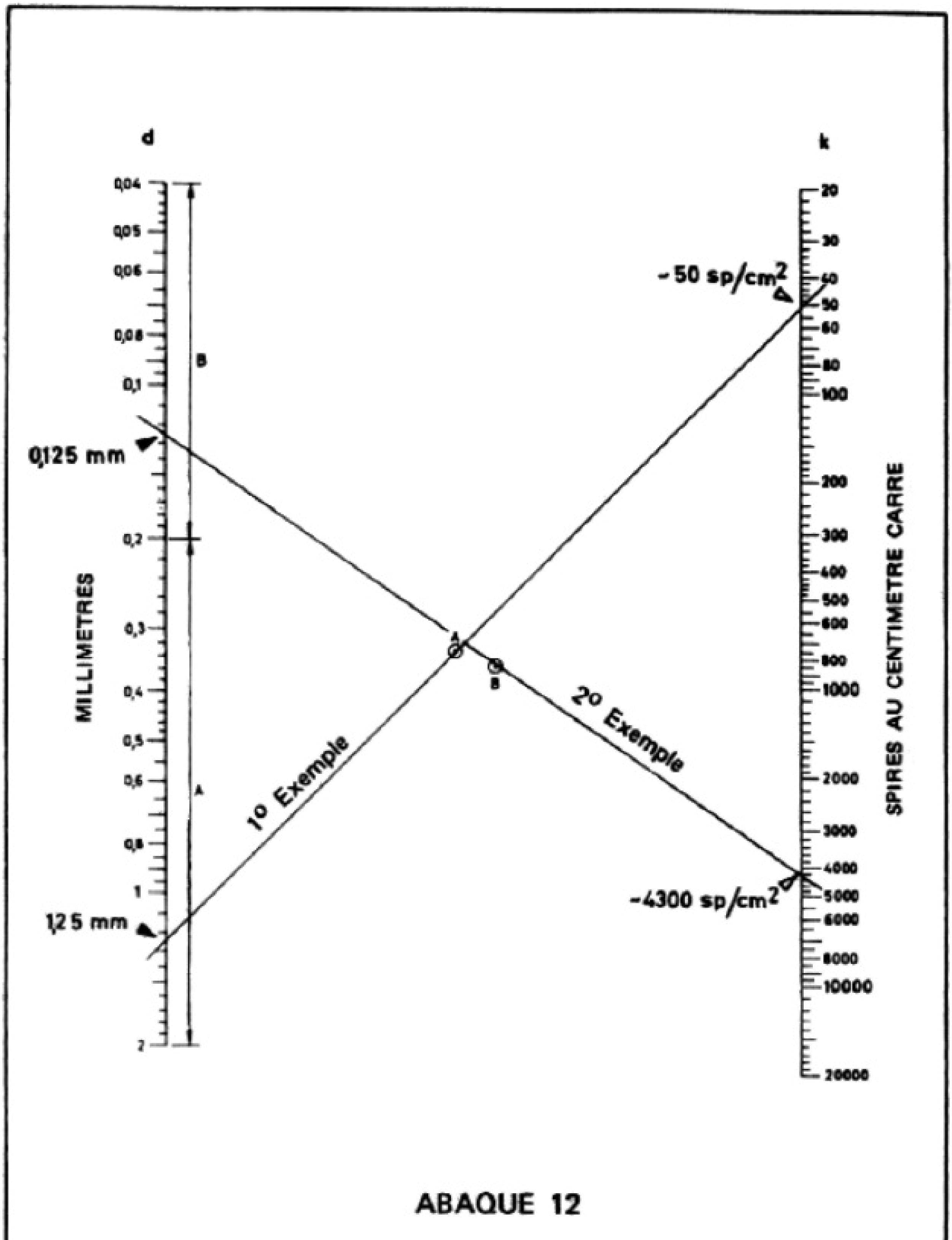

d
k
0,04
0,05
0,06
0,08
0,1
0,125 mm
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,8
1
1,25 mm
2
B
A
MILLIMETRES
1° Exemple
2° Exemple
-50 sp/cm²
-4300 sp/cm²
20
30
50
60
80
100
200
300
400
500
600
800
1000
2000
3000
4000
5000
6000
8000
10000
20000
SPIRES AU CENTIMETRE CARRE
ABAQUE 12

Figure 17

2) - Déterminer la valeur de l'indice k pour le fil émaillé ayant un diamètre de 0,125 mm.

En joignant le point B avec le point qui représente le diamètre de 0,125 mm (environ) sur l'axe d, on peut déterminer sur l'axe k la valeur $k \approx 4.300$ sp/cm .