

4

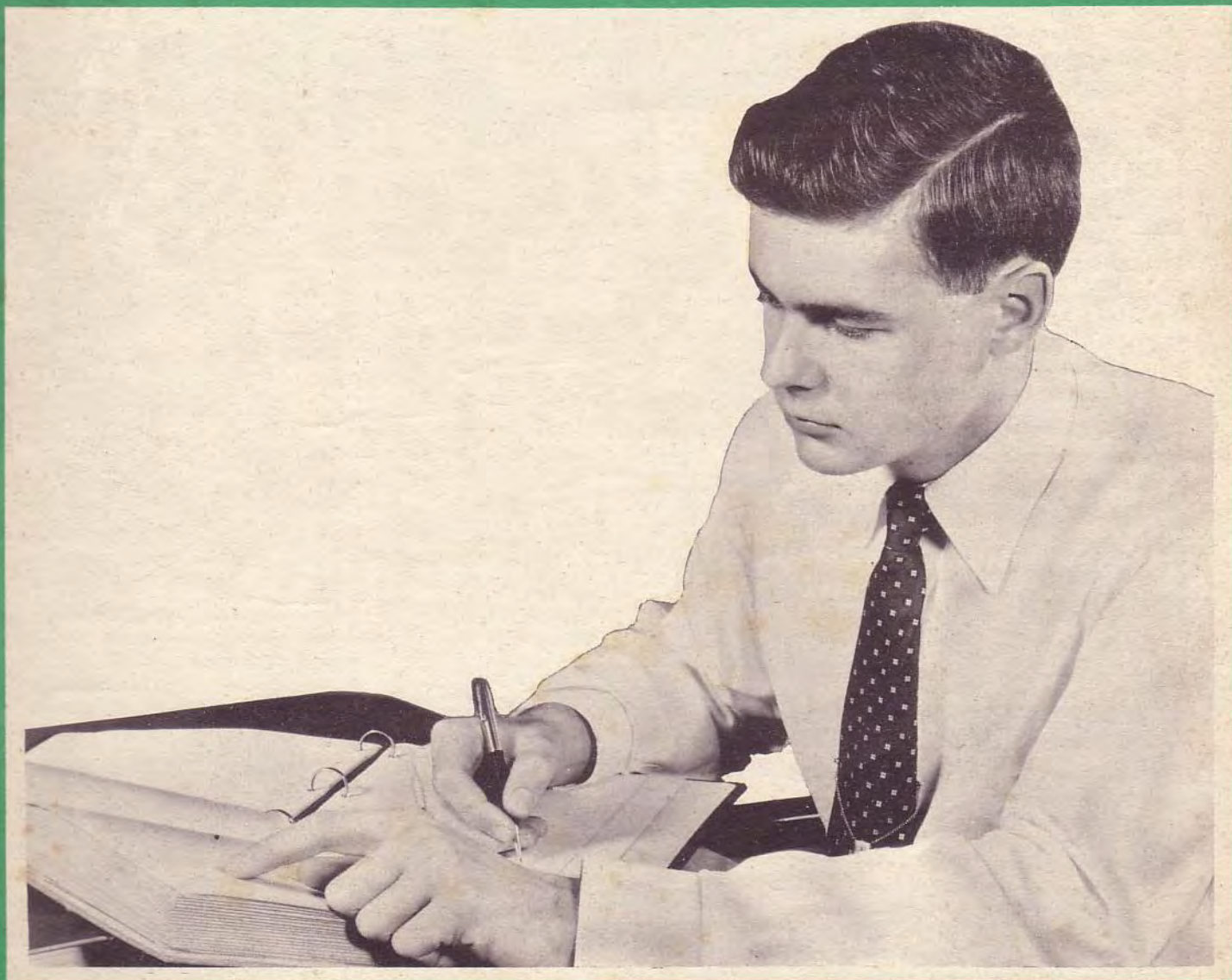
vosre Carrière

revue hebdomadaire avec

cours de

TECHNIQUE RADIO

magazine des futurs électroniciens



REVUE HEBDOMADAIRE POUR LA FORMATION PROFESSIONNELLE — 22/28 MARS 1965 — LE NUMERO : 1,60 F.
DIRECTION - ADMINISTRATION - ABONNEMENTS: EDITIONS CHIRON - 40, Rue de Seine - Tél. 633-18-93 - PARIS C.C.P. 53-35.
ABONNEMENTS: FRANCE - 1 AN (52 numéros) 70 F; 6 MOIS (26 numéros) 38 F - ETRANGER - 1 AN (52 numéros) 90 F.
Si vous possédez déjà des numéros, vous pouvez déduire du montant de l'abonnement la somme de 1,20 F par numéro.
PUBLICITE: PUBLEDITEC - 13 Rue Charles Lecocq - Paris (15^e) - Téléphone BLO. 88-04 et 05 - DEPOT A LA PARUTION.
DISTRIBUTION: Nouvelles Messageries de la Presse Parisienne - Paris - Directrice de la publication: Mme Etienne Chiron.



La revue est en vente aux kiosques, chaque semaine: si le kiosque en est démuné, ou si vous craignez d'être privé de quelques numéros, demandez l'envoi hebdomadaire directement à votre domicile.

ABONNEMENTS

Les abonnements peuvent être souscrits en cours d'année, à n'importe quelle date. Les numéros déjà parus au moment de la souscription seront envoyés en une seule expédition.

Les anciens numéros peuvent être commandés séparément au prix unitaire.

Aucun envoi contre remboursement.

RENSEIGNEMENTS

Toute demande de renseignements doit être accompagnée d'une enveloppe timbrée à votre adresse ou d'un coupon-réponse.

COPYRIGHT

Tous droits de reproduction, même partielle, réservés pour tous pays.

LA SEMAINE PROCHAÎNE

Courrier technique - Chronique des métiers de la Radio - Magnétisme et électro-magnétisme - Moyens de production du courant électrique - Symboles et abréviations - Formules - Symboles schématiques - Questions sur la 13^{ème} et 14^{ème} leçons - Réponses aux questions du numéro précédent - Unités magnétiques et leurs définitions - Comparaison entre les unités électriques et magnétiques - Conversion des unités magnétiques C.G.S. et M.K.S. - Caractéristiques des couples thermo-électriques - Valeurs de B, H, et μ pour des substances magnétiques - Caractéristiques des alliages magnétiques pour noyaux et des principaux alliages pour aimants permanents - Caractéristiques des cellules photo-électriques et batteries solaires - Correspondance des températures en degrés °C et Fahrenheit - Dictionnaire Anglais-Français.

Sommaire

★ Courrier technique	page 2
★ Chronique des métiers de la Radio	» 3
★ La loi d'Ohm	» 5
★ Piles et accumulateurs	» 14
★ Dictionnaire Anglais-Français d'Electronique	» 17
★ Symboles - Abréviations - Formules	» 27
★ Symboles schématiques	» 27
★ Questions sur la 10 ^{ème} et 11 ^{ème} leçons	» 27
★ Réponses aux questions du numéro précédent	» 28
★ Constantes physiques des métaux	» 28
★ Liste et caractéristiques des piles usuelles	» 29
★ Tension maximum en volts admissible aux bornes d'une résistance	» 30
★ Analogies entre termes et unités hydrauliques et électriques	» 31
★ Graphique donnant les relations entre tension, intensité, résistance et puissance	» 32
★ Ne tuez pas le transistor	» 34

Courrier technique

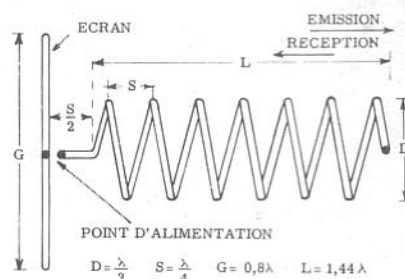
S. LELANIER, qui a lu notre page « Antennes » publiée dans le N. 3, demande des éclaircissements sur les antennes à hélice ainsi que sur les éléments de calcul permettant leur construction.

L'utilisation des antennes à hélice découle dans certains cas du type particulier de polarisation qui les caractérise. Tandis que pour la plupart des antennes pour très haute fréquence la polarisation (c'est-à-dire la direction suivant laquelle le champ électrique vibre) est plane, verticale ou horizontale, elle est circulaire dans le cas des antennes à hélice. Ceci signifie que l'énergie irradiée est également répartie dans la composante à polarisation horizontale et dans la composante à polarisation verticale qui sont deux composantes déphasées à 90°. Cependant on obtiendra une onde dirigée dans le sens contraire des aiguilles d'une montre ou dans le sens des aiguilles d'une montre suivant que la composante verticale sera en avance ou en retard sur la composante horizontale.

Une antenne à polarisation circulaire peut capter n'importe quelle onde, qu'elle soit, polarisée sur un plan horizontal, vertical ou oblique, et d'autre part une onde polarisée circulairement peut être reçue par une antenne à polarisation plane, indépendamment de l'orientation d'un tel plan.

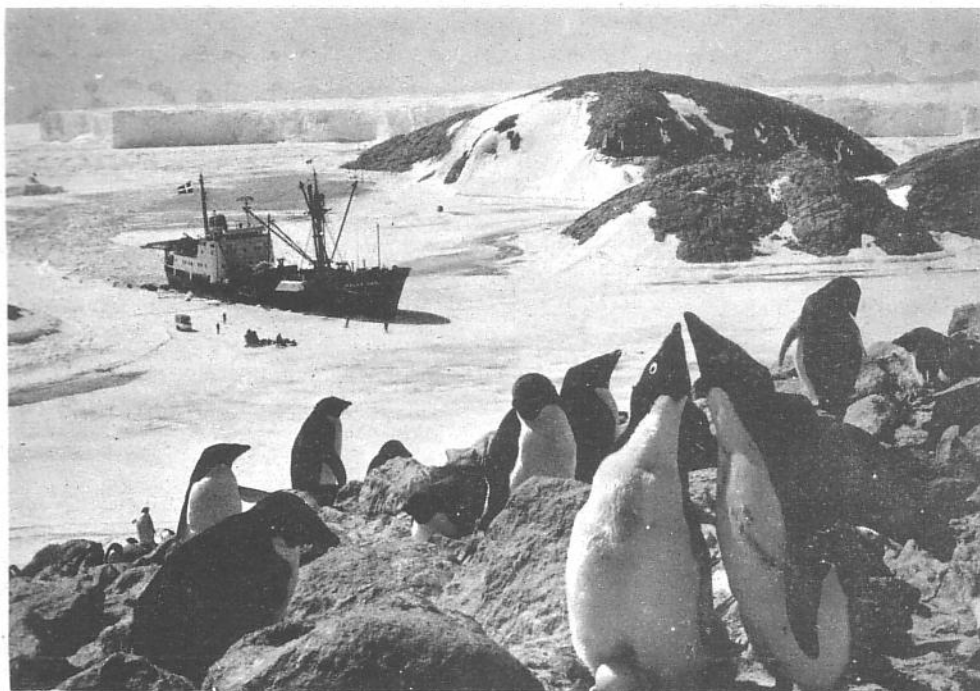
La structure la plus simple d'antenne hélicoïdale (selon les études de John D. Krauss) consiste en une hélice de fil métallique, avec axe perpendiculaire et un écran relié à la terre, alimenté par un câble coaxial (voir figure). On obtiendra une antenne à bande large si elle est bien dimensionnée. En fait dans

ce cas le lobe principal du diagramme de radiation présente de faibles variations. L'impédance du point d'alimentation reste pratiquement invariable quand elle atteint la valeur de 125 ohms pour une gamme de fréquence dans le rapport de 1,7 à 1.



Nous reproduisons le dessin d'une antenne hélicoïdale à 6 spires dans lequel les dimensions indiquées sont valables pour un champ de fréquence compris entre $\pm 20\%$ de la fréquence de base. Pour les fréquences comprises entre 100 et 500 MHz, le contrepois peut être réalisé avec un filet métallique à mailles de 2,5 cm fixé sur un cadre de bois ou de métal. Un disque de tôle métallique, de diamètre D/2 sera fixé au centre de l'écran par étamage: le conducteur interne du câble coaxial sera connecté à l'hélice à travers un trou pratiqué au centre du disque. Un tube d'aluminium recuit, ou un conducteur plein d'aluminium assez doux convient pour l'hélice. Le diamètre du conducteur ou du tube sera de $0,17 \lambda$.

L'ouverture du faisceau est d'environ 50° et le gain de puissance de 12 dB est référé à une antenne non directive, avec polarisation circulaire.



Allo Nouméa!

par Mario MARRET
Chef de l'expédition en Terre Adé-
lie 1952. Ancien élève de l'E.C.E.

Base Dumont d'Urville - Ile des
Pétrels

En janvier 1952, la quatrième expédition en Terre Adélie, en prenant contact avec les Terres du Sud avait deux buts: relever les membres de l'expédition Michel Barre et organiser un groupe dont la mission serait la construction d'une base nouvelle à Pointe Géologie, à 70 kilomètres de la base principale de Port Martin. René Garcia était chargé du groupe de relève et Mario Marret de l'équipe de Pointe Géologie. Celle-ci devait être indépendante de la base principale, mais cette dernière devait en assurer à la fois le relais des communications radio et la sécurité.

Or, dans la nuit du 23 au 24 janvier 1952, alors que toutes les équipes étaient en place, un incendie d'une violence extrême, attisé par un vent de plus de 100 kilomètres/heure, détruisit en moins de 30 minutes le bâtiment principal de la base de Port Martin, sans qu'aucun des moyens de sécurité, cependant très nombreux, pût arrêter la propagation du feu.

L'installation essentielle ayant disparu, l'hivernage de l'équipe Garcia n'était plus justifié. Le navire de l'expédition se dirigea de nouveau vers Pointe Géologie, où Mario Marret se trouvait avec les trois hommes qui devaient primitivement former son équipe. Mis au courant de la situation, seul juge en définitive, il décida, après avoir consulté ses compagnons, de rester et de mener à bien la mission qui lui avait été confiée. Aux quatre hommes, vinrent alors s'ajouter trois membres de l'expédition, dont l'hivernage venait d'être si brutalement interrompu dès le premier jour. Puis le navire appareilla à Pointe Géologie y laissant sept hommes sous la direction de Mario Marret.

Nous assistons ici à l'une des phases de l'installation.

Une de nos plus angoissantes sources d'inquiétude, au cours de toute cette période d'installation, était le problème de nos communications avec le monde extérieur. Alors que l'équipement de la base de Port Martin était conçu pour émettre à longue distance, nous n'avions rien à Terre-Neuve, qui nous permit d'assurer

la liaison avec le monde extérieur. Rien, c'est trop dire. Nous avions un récepteur normal, installé sur le weasel, grâce auquel il nous était possible de capter les postes lointains, nous avions aussi deux émetteurs modèle 274 destinés aux échanges avec Port Martin et un 694 pour les liaisons à courte distance. En outre, nous avions une valise du type qui servait aux émissions clandestines pendant la guerre, et dont les agents de la Résistance faisaient usage.

Si pauvrement pourvus, nous pouvions recevoir des messages, mais nous nous demandions, s'il nous serait possible, avant le raid sur Port Martin, d'y répondre et de faire parvenir de nos nouvelles.

Dès les premiers jours, j'avais demandé à Dovers (1) de nous définir un azimut exact, celui de Nouméa, afin de procéder à l'installation d'une antenne parfaitement orientée. Mais j'étais terrorisé à la pensée de tout ce qui nous manquait. Comment parvenir à coupler une antenne directrice, sans le matériel requis? Trouverais-je une lampe d'émission de 100 TH pour construire un étage amplificateur suffisant? Cette lampe, je ne l'ai jamais trouvée, mais à sa place j'en ai trouvé plusieurs, des 807, lesquelles sont beaucoup moins efficaces.

Pour compliquer les choses, la hâte dans laquelle nous étions de terminer la construction de la baraque m'interdisait de consacrer mon temps à la solution des problèmes de radio.

Toujours est-il qu'à partir du 1^{er} février, Lépineux (2) prenait l'écoute trois fois par jour à notre récepteur, captait Nouméa et en recevait le message suivant: « Bonjour les amis. Rien pour vous ». Il était rageant de penser qu'à ces appels nous allions peut-être devoir rester muets. Ce qui nous consternait aussi, c'était le silence de Paris. Là-bas, ils savaient que nous nous trouvions dans l'incapacité d'émettre, mais ils n'avaient pas songé que nous pouvions recevoir.

En principe, nous devions tenter d'effectuer une vacation le 15 février sur la valise portative. Mais tout le monde était sceptique sur les résultats de cet essai. Lépineux, en particulier, n'y croyait absolument pas. La valise, cependant, était munie de quartz, et nous nous appliquâmes à en régler l'antenne avec un soin méticuleux afin d'opérer dans les conditions les plus favorables. Lorsque Nouméa, le 11 février nous envoya: « Bonjour les amis. Rien pour vous. N'avez-vous rien pour nous ? », nous décidâmes de tenter notre chance. Lépineux appelait FNZ, c'est-à-dire Nouméa (3), sans relâche, mais aussi sans conviction. J'étais penché sur son épaule, suivant attentivement les opérations. Aucune réponse ne venait et nous nous assombrissions de plus en plus, lorsque Nouméa soudain intervint pour dire: « Continuez vos appels. Je crois vous entendre ». Nous étions tous haletants et chacun pensait: pourvu qu'ils ne se trompent pas! Lépineux multipliait ses appels. Un peu plus tard, il fut coupé de nouveau par Nouméa qui disait: « O.K. Je vous entends. Très faible. Avez-vous quelque chose pour nous ? », nous étions tellement pris de court par ce succès inattendu que nous n'avions préparé aucun message. Je griffonnai quelques mots en hâte: « Faites savoir à Paris que tout va bien ». Nous venions d'envoyer notre premier télégramme vers le monde civilisé.

La joie de cette réussite inespérée ne me faisait pas oublier la précarité de notre situation dans ce domaine. En effet, même en admettant que les émissions par la valise puissent se poursuivre pendant quelques temps grâce à des conditions ionosphériques privilégiées, il était certain que nous ne pourrions les continuer pendant l'hiver. Il fallait donc dès à présent mettre sur pied un poste émetteur plus sérieux afin d'assurer la permanence de nos télécommunications.

Je m'attelais donc à la tâche, démontais les postes que nous possédions, et étalais les pièces les unes à côté des autres pour en faire l'inventaire. Je séparais les bonnes des mauvaises, fabriquais celles qui manquaient afin de reconstruire, à l'aide de ces pièces détachées, un poste capable de rendre les services demandés. Je n'avais à ma disposition, comme guide, que le Cours Moyen de Radio de Veaux, livre primaire, avant tout théorique, qui ne pouvait guère m'être utile. Lépineux n'étant pas technicien, mais seulement opérateur, ne pouvait pas m'aider non plus. J'ai passé un mois entier à ce jeu de patience et par moments je croyais devenir fou. Je travaillais sur la grande table de la salle commune, la seule dont les dimensions se prêtaient à ce travail. Avant chaque repas j'étais obligé de retirer tout mon matériel, de le ranger plus loin, pour le rapporter ensuite, ce qui ne simplifiait pas le travail.

En me servant des pièces en bon état provenant du vieux Marconi et d'un des 274, j'ai réussi à reconstituer un poste à trois étages, selon un schéma de fortune pour lequel l'imagination et l'ingéniosité ont dû suppléer au matériel manquant. Ce poste a fonctionné durant tout notre séjour polaire et n'est jamais tombé en panne.

Je dois ici rendre hommage à celui qui fut, tout au

long de notre séjour, l'ami et l'auxiliaire le plus précieux. Il s'agit de Franchette, Chef de Centre à Nouméa, avec lequel nous étions quotidiennement en contact.

Dès le début, sa sollecitude fut sans réserves et, très vite, nos rapports se changèrent en relations de confiance et d'amitié. Grâce à ses conseils, je parvins à résoudre certains des problèmes pratiques de la construction du poste, que l'absence d'un manuel adéquat auraient rendus insolubles.

La création de ce poste émetteur non prévu au départ de l'expédition nous a obligé à doubler nos batteries d'accumulateurs, de façon à pourvoir également à notre consommation domestique d'électricité.

Pendant que je montais le poste, Lépineux se chargeait de l'installation électrique à l'intérieur de la baraque, travail exigeant d'innombrables précautions pour prévenir tout risque d'incendie.

Quant à Vincent (4), c'est l'un des hommes les plus occupés de l'Antarctique. Avec Duhamel (5) il poursuit les travaux d'érection de l'atelier-garage; il assure le fonctionnement et la surveillance des moteurs, il installe des freins sur les traîneaux de Dovers, m'aide à la confection de pièces mécaniques pour Prévost (6), et Rivolier (7) répare des chronomètres, des baromètres; bref, il ne sait où donner de la tête et j'admire qu'il soit si calme et si bien organisé.

Pour le garage, qui est une sorte de grande caisse rectangulaire très simple, Jackie (8) a imaginé une porte étanche, reposant sur du caoutchouc mousse, et s'ouvrant verticalement par un jeu de poulies, comme des ponts-levis. Le plancher est incliné de façon à permettre à Hironnelle — c'est le nom de notre weasel — de mieux entrer. La partie arrière, à plancher horizontal, sera réservée aux moteurs et à l'établi. Ce garage sera précieux, car il permettra une révision générale du weasel avant chaque raid. Dommage qu'il y ait si peu d'espace de chaque côté du véhicule: cela rend le déchenillage difficile.

Autre occupation de Vincent: le classement et le rangement des outils et des pièces détachées.

Prévost, depuis le 28 janvier, s'occupe presque exclusivement de ses observations biologiques. Il se rend tous les matins à la rookerie. Les empereurs ne sont pas encore revenus de leur migration annuelle, mais il en reste quelques-uns, des poussins, notamment. Comme la mer est encore libre dans le champ de glace, entre notre île et l'île Rostand, Prévost s'y rend en youyou toujours accompagné de Jackie Duhamel, car je n'aime pas qu'un de nous s'aventure seul à quelque distance de la base. A l'entrée de la Vallée des Martyrs, qui sépare Carrel de Rostand, le youyou est lancé dans le brash, glace pas encore tout à fait prise, pailletée, jusqu'à ce que l'abordement soit possible sur floe assez résistant. L'emplacement de notre camp doit être particulièrement bien protégé, car Prévost nous dit que là-bas, sur le territoire de la rookerie, il y a de si mauvais couloirs de vent qu'il est obligé de les franchir à quatre pattes.

Pour l'instant — je veux dire pendant le mois de février — Prévost ne peut effectuer sur les empereurs

(suite page 33)

LA LOI D'OHM

Le CIRCUIT ELECTRIQUE

Par circuit électrique, ainsi que nous l'avons brièvement expliqué dans notre quatrième leçon, on entend un parcours établi de telle sorte que le courant électrique puisse y circuler.

L'énergie électrique peut être transmise d'une manière efficace, et par des systèmes de contrôle relativement simples, au moyen de circuits conducteurs; les vastes réseaux de distribution d'énergie, utilisés aujourd'hui pour desservir les villes et les villages, sont un exemple typique de l'acheminement de l'énergie électrique au moyen de circuits.

Par circuit électrique on ne doit pas seulement comprendre les réseaux de distribution du courant; un parcours bien déterminé, de quelques centimètres seulement est également un circuit.

Dans un circuit électrique nous trouvons des éléments divers, placés de différentes manières, utiles ou nuisibles à son fonctionnement.

Quand, pour une cause quelconque, le courant ne parcourt pas le circuit prévu et emprunte un chemin plus court et impropre, on dit que l'on a un *court-circuit*, qui entraîne souvent des conséquences fâcheuses et dont nous avons déjà parlé à propos des matériaux isolants qui sont précisément employés pour empêcher qu'ils ne se produisent.

L'énergie électrique se manifeste toujours dans un circuit électrique fermé, (voir figure 1), lequel, dans sa forme la plus simple, comprend un générateur de courant (une charge d'utilisation à deux bornes) et deux conducteurs reliant la charge au générateur, comme illustré dans la figure 2.

Les trois types principaux de circuits électriques sont:

- 1) le circuit série,
- 2) le circuit parallèle,
- 3) le circuit série-parallèle.

Le premier type est formé d'éléments reliés en série (c'est-à-dire à la suite les uns des autres) et le courant suit un chemin unique (figure 3); le second est constitué d'éléments branchés en parallèle (chacun deux s'ajoutant aux autres) et le courant se divise en plusieurs branches (figure 4); le troisième, enfin, est une combinaison des deux précédents (figure 5).

Pour étudier les circuits électriques, même les plus

simples, il est évidemment nécessaire de connaître les unités pratiques de mesure, le volt (E), l'ampère (I), l'ohm (R) et le watt (W), unités dont nous avons appris la signification dans nos leçons précédentes. L'objet de cette leçon est d'éclaircir les relations existant entre ces unités, particulièrement entre E, I et R, relations connues comme étant la **loi d'Ohm**, pour ce qui concerne les circuits simples et les **lois de Kirchhoff** en ce qui concerne les circuits complexes que nous étudierons par la suite.

La LOI d'OHM

Au XIX^{ème} siècle, un savant allemand, Georges Simon Ohm, démontra expérimentalement la proportionnalité constante existant entre le courant électrique et la tension dans un circuit simple. Il publia, en 1826, les résultats de sa découverte.

La loi d'Ohm est de forme linéaire et, par suite, très simple; elle peut être appliquée, dans ses formules de base, aux circuits à courant continu et à tous les dispositifs parcourus par ces courants.

L'unité de résistance électrique, nous le savons déjà, est l'ohm (représenté par la lettre grecque « oméga » Ω), et trouve de multiples applications dans tous les domaines de l'électronique.

La loi d'Ohm peut être énoncée comme suit:

L'intensité du courant, en ampères, parcourant un circuit électrique est égale au quotient de la différence de potentiel, en volts, présente aux bornes du circuit par la résistance de ce circuit, en ohms.

La même loi peut être exprimée par la formule suivante:

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

dans laquelle I est l'intensité du courant en ampères, E la différence de potentiel en volts et R la résistance en ohms.

Si une des trois valeurs est inconnue, elle peut être facilement trouvée au moyen de cette formule, comme nous le verrons bientôt.

Supposons, maintenant, que la tension présente aux bornes du circuit de la figure 2, soit de 120 volts et que la résistance effective de la charge soit de 20 ohms: l'intensité du courant sera donnée par le rapport 120:20, c'est-à-dire 6 ampères. Si la résistance se maintient

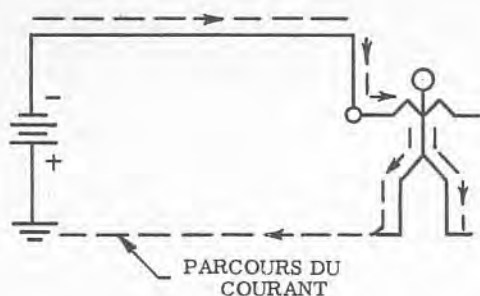


Fig. 1 - Si la source de courant a un pôle relié à la « terre » il est possible de sentir le passage du courant en ne touchant qu'un seul pôle; dans ce cas, le circuit est fermé par le contact des pieds avec le sol.

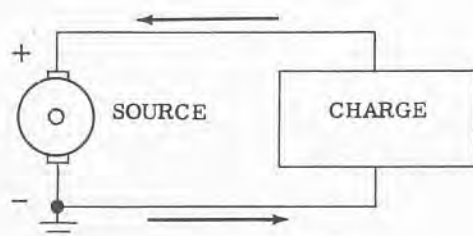


Fig. 2 - Le circuit électrique le plus simple est constitué par une source de courant, par les deux conducteurs qui le transportent et par une charge d'utilisation. Nous sommes en présence d'une combinaison identique à celle illustrée sur la fig. 1 où nous voyons la source et la charge (l'homme).

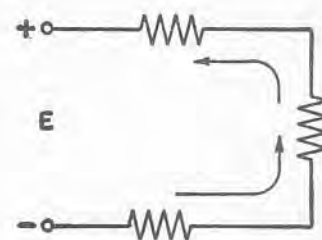


Fig. 3 - Nous trouvons ici en présence d'un schéma classique de liaisons électriques « série ». On a représenté trois résistances reliées les unes à la suite des autres, mais leur nombre peut évidemment être variable. Le courant dans le circuit-série ne peut suivre qu'un seul chemin; celui indiqué par les flèches. (tension « E » appliquée à l'entrée).

constante à sa valeur de 20 ohms, en vertu de la loi d'Ohm, l'intensité doublera si l'on double la tension et deviendra à moitié moindre si l'on diminue la tension de moitié.

En d'autres termes, le courant parcourant le circuit (la charge) varie de manière directement proportionnelle aux variations de la tension; par suite, si cette tension est réduite à zéro, l'intensité sera de $0 : 20 = 0$ ampère et si la tension est augmentée, par exemple de 10 volts en 10 volts de 0 à 120 volts, le courant aura successivement les intensités suivantes:

$$10 : 20 = 0,5 \text{ ampère}; 20 : 20 = 1 \text{ ampère}; \\ 30 : 20 = 1,5 \text{ ampère et ainsi de suite.}$$

La figure 6 illustre la relation existant entre l'intensité et la tension, énoncée dans l'exemple précédent; les valeurs des tensions sont portées sur l'axe horizontal, (sur l'axe des X) à droite du point 0 (point d'origine), tandis que les intensités sont portées verticalement (sur l'axe Y) au-dessus de ce même point (*).

Le graphique se présente sous la forme d'une ligne droite dont l'équation est:

$$I = E : 20.$$

La constante 20 représente la résistance en ohms de ce circuit particulier qui, nous l'avons dit, ne subit aucune variation sous l'effet du passage de courants d'intensités différentes. Le graphique illustre une caractéristique importante de la loi d'Ohm, énoncée plus haut, qui est: **si la résistance reste constante, l'intensité varie directement avec la tension.**

Si, dans le cas de la figure 2, on maintient par contre, la tension à une valeur constante (120 volts, par exemple), le courant traversant le circuit aura une intensité qui dépendra uniquement de la valeur effective

de la résistance. Si la résistance devient égale à 120 ohms, l'intensité sera de $120/120$, c'est-à-dire de 1 ampère. De même, si la résistance est réduite de moitié, l'intensité doublera et vice-versa. En d'autres termes, l'intensité du courant est inversement proportionnelle à la valeur de la résistance et si cette valeur est diminuée de 20 ohms à la fois, en partant de 120 ohms jusqu'à 20 ohms, l'intensité prendra les valeurs suivantes:

$$120 : 100 = 1,2 \text{ ampère}; \\ 120 : 80 = 1,5 \text{ ampère}; \\ 120 : 60 = 2,0 \text{ ampères; etc...}$$

La figure 7 donne la représentation graphique de la relation existant entre l'intensité d'un courant et la résistance du circuit, relation pouvant être exprimée par l'équation:

$$I = 120 : R$$

dans laquelle le numérateur représente la tension de 120 volts donnée dans l'exemple. On voit que si R devient très petit, l'intensité devient très grande. Un tel exemple illustre une seconde caractéristique importante de la loi d'Ohm, qui est: **l'intensité du courant varie d'une manière inversement proportionnelle à la valeur de la résistance.**

Enfin, si dans la figure 2 l'intensité du courant est maintenue à une valeur constante de 5 ampères, la tension aux bornes de la charge dépendra de la résistance de cette charge et elle en suivra directement les variations. La figure 8 montre les relations existant entre la tension et la résistance: les valeurs de la résistance sont portées sur l'axe horizontal (axe des X) à droite du point d'origine, tandis que les valeurs correspondantes des tensions sont portées sur l'axe vertical (axe des Y) au-dessus du même point. Le graphique se présente sous la forme d'une droite dont l'équation est:

$$E = 5 \times R$$

dans laquelle le coefficient 5 représente l'intensité du courant (5 ampères dans notre exemple) qui est maintenue constante. Ceci illustre une troisième conséquence importante de la loi d'Ohm, à savoir: **La tension aux bornes d'une charge varie d'une manière directe-**

(*) Pour illustrer le déroulement d'un phénomène on a recours très souvent à des graphiques du type illustré figure 6 et suivantes. Le long d'une ligne horizontale (appelée axe des X) et le long d'une ligne verticale (axe des Y), on porte les valeurs des variables intéressant le phénomène. Les résultats recueillis sont successivement portés sur le graphique et marqués par des points; on obtient une ligne (appelée « courbe ») qui donne une représentation de la marche du phénomène.

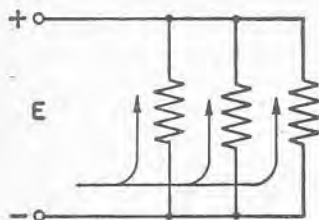


Fig. 4 - Schéma classique de liaison électrique « en parallèle »: les trois résistances sont en dérivation les unes sur les autres. Le courant suit trois chemins.

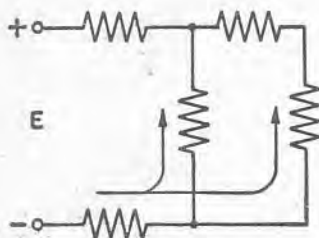


Fig. 5 - Schéma classique de liaison électrique mixte: les résistances sont réunies entre elles par plusieurs combinaisons série-parallèle.

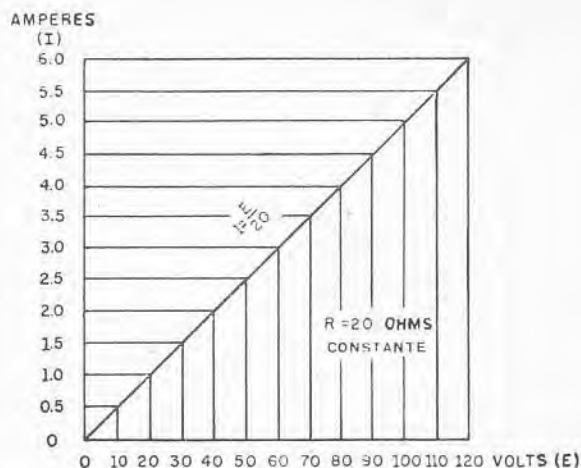


Fig. 6 - Exemple du rapport entre l'intensité (ampère) et tension (volt) avec une résistance de valeur constante égale à 20 ohms.

ment proportionnelle à sa résistance, lorsque l'intensité du courant est maintenue constante.

La CONDUCTANCE

La résistance a été définie comme étant une opposition au passage d'un courant: maintenant, au lieu de caractériser un conducteur par la valeur de l'opposition qu'il présente au passage du courant, nous pouvons le caractériser par la facilité plus ou moins grande avec laquelle il se laisse traverser par un courant, c'est-à-dire par sa **conductance**, qui est justement la mesure de cette facilité.

La conductance est donc le contraire de la résistance et puisque cette dernière s'exprime en ohms, la première sera exprimée en **mho** (inverse du mot ohm) et sera représentée par la lettre G; par suite:

$$G = 1 : R$$

Selon la loi d'Ohm, pour trouver l'intensité il faut diviser la tension par la résistance ($I = E : R$) et, G étant l'inverse de R, nous aurons:

$$I = E \times G$$

En électronique on emploie souvent un sous-multiple de l'unité de conductance, c'est le *micromho*, qui est la millionième partie d'un mho.

PUISSANCE et ENERGIE ELECTRIQUE

En plus du volt, de l'ampère et de l'ohm, deux unités de mesure se retrouvent fréquemment dans les calculs relatifs aux circuits électriques, ce sont l'unité de puissance et l'unité d'énergie.

Puissance

Probablement, pour un non-technicien, la notion de puissance est plus connue que celle de tension, d'intensité ou de résistance. L'électricité est une source de puissance parce qu'elle est capable de produire un travail, comme par exemple faire tourner un moteur, ou — comme nous l'avons vu page 35 — produire de la

chaleur dans une résistance (un fer à souder, par exemple). On entend par puissance la quantité de travail qui peut être produite, pourtant — comme nous le verrons — on ne considère pas seulement le travail fait ou à faire, mais également le temps employé pour l'exécuter.

L'unité de puissance (le **watt**) est égal au produit du potentiel (en volts) appliqué au circuit par l'intensité du courant (en ampères) qui le traverse, l'équation de la puissance est donc:

$$P = E \cdot I$$

Un potentiel de 110 volts qui donne une intensité de 3 ampères dans une résistance transforme l'énergie électrique en une quantité de chaleur égale à 3 fois 110, soit 330 watts. Comme nous avons vu que:

$$P = E \cdot I \text{ et puisque } E = I \cdot R$$

en substituant la valeur de E par $I \times R$, nous obtenons:

$$P = I \cdot R \cdot I \text{ soit } P = I^2 \cdot R$$

Cette forme particulière de l'équation de la puissance — dans laquelle on voit que la puissance en watts dans un circuit varie en fonction du carré de l'intensité en ampères et en fonction de la résistance en ohms — est très utile en électronique. Un courant de 4 ampères dans une résistance de 2 ohms transforme l'énergie électrique en énergie thermique dans un rapport de 16 fois 2, soit 32 watts.

A partir de la loi d'Ohm peut dériver une autre équation pour la puissance:

$$\text{puisque } P = E \cdot I \text{ et que } I = \frac{E}{R}$$

$$\text{on a } P = E \left(\frac{E}{R} \right) \text{ c'est-à-dire } P = \frac{E^2}{R}$$

Si E est égal à 50 volts et R à 40 ohms, on a:

$$P = \frac{50^2}{40} = 62,5 \text{ watts}$$

Entre les deux formules qui donnent la valeur de P,

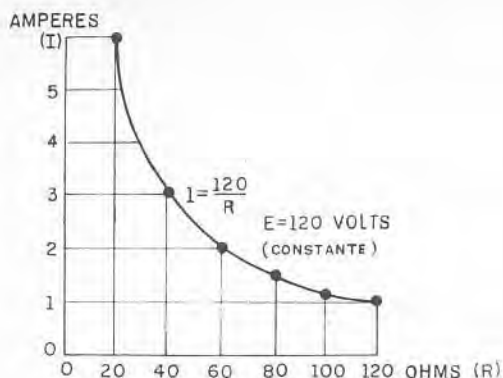


Fig. 7 - Exemple du rapport entre l'intensité (ampère) et la résistance (ohm), la tension étant maintenue constante à une valeur de 120 volts. On voit que si R devient plus petit, I devient plus grand, c'est-à-dire que la variation de l'intensité du courant est inversement proportionnelle à celle de la résistance.

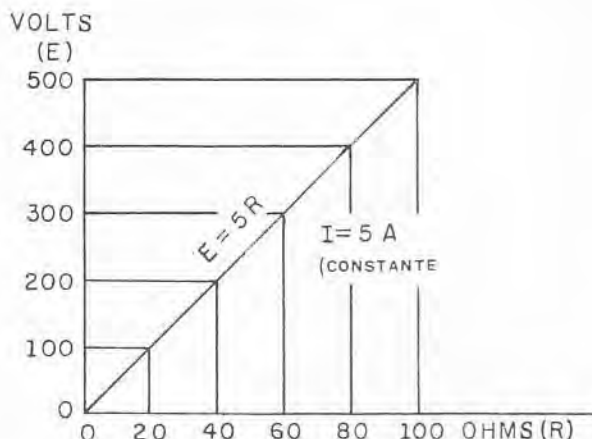


Fig. 8 - Exemple du rapport entre tension (volt) et résistance (ohm) le courant étant maintenu constant sous une intensité de 5 ampères. La tension aux bornes d'une charge varie de façon directement proportionnelle à sa résistance.

on pourra utiliser celle convenant le mieux pour résoudre le problème.

L'énergie électrique n'est pas toujours transformée en chaleur: par exemple, la plus grande partie de l'énergie employée pour actionner un moteur est convertie en énergie mécanique; celle appliquée à un haut-parleur ou à un casque est convertie en énergie sonore et enfin, une partie de l'énergie fournie à un émetteur est transformée en ondes radioélectriques.

De la dernière équation on peut conclure que la **puissance en watts fournie à un circuit est directement proportionnelle au carré de la tension en volts et inversement proportionnelle à la résistance en ohms.** —

La figure 9 montre la représentation graphique de cette équation: la tension est portée sur l'axe X, tandis que les valeurs correspondantes de puissance, en watts, sont figurées verticalement, sur l'axe Y. L'équation $P = E^2 : 20$ représente la relation entre la tension appliquée et la puissance dans un circuit élémentaire analogue à celui de la figure 2, dans lequel la résistance a une valeur constante égale à 20 ohms. On augmente la tension de 20 volts en 20 volts, en partant de 0 jusqu'à un maximum de 100 volts, et les puissances correspondantes sont calculées au moyen de la formule, ce qui donne:

$$\frac{(0)^2}{20} = 0 \text{ watt}; \quad \frac{(20)^2}{20} = 20 \text{ watts}; \quad \frac{(40)^2}{20} = 80 \text{ watts};$$

etc...

Un tel graphique met en relief — comme nous l'avons déjà dit — le fait que la puissance en watts fournie au circuit varie en fonction du carré de la tension appliquée.

Le graphique de la figure 9 illustre également l'équation $P = (I^2) \times 20$ et, dans ce cas, l'intensité du courant est portée horizontalement sur l'axe X, à droite du point d'origine, partant de 0 ampère et augmentant de 1 ampère à la fois jusqu'à un maximum de 5 ampères, tandis que les valeurs des puissances correspondantes sont portées sur l'axe Y, au-dessus de ce point. Ces valeurs sont calculées de la façon suivante:

$$(1)^2 \times 20 = 20 \text{ watts};$$

$$(2)^2 \times 20 = 80 \text{ watts};$$

$$(3)^2 \times 20 = 180 \text{ watts}; \text{ etc...}$$

Il est important de noter que les graphiques relatifs aux équations

$$P = \frac{E^2}{R} \quad \text{et} \quad P = I^2 \cdot R$$

ne sont pas linéaires puisque la puissance varie en fonction du carré de la tension appliquée ou en fonction du carré de l'intensité du courant. Il est également important de noter, comme évident dans l'équation

$$P = \frac{E^2}{R},$$

que la puissance fournie à un circuit dont la tension reste constante, varie d'une manière inversement proportionnelle à sa résistance. Donc si la tension appliquée à un circuit élémentaire, du type de celui de la figure 2, a une valeur constante de 100 volts, et si la résistance est réduite de 20 à 10 ohms, la puissance fournie augmente de:

$$\frac{(100)^2}{20} = 500 \text{ watts à } \frac{(100)^2}{10} = 1.000 \text{ watts}$$

par suite, si la résistance est réduite à moitié, la puissance double.

La figure 10 exprime graphiquement l'équation

$$P = \frac{(100)^2}{R},$$

et donne la relation existant entre la puissance et la résistance dans un circuit auquel est appliquée une tension constante de 100 volts.

Les valeurs de la résistance sont portées sur l'axe X, tandis que les valeurs correspondantes de puissance sont portées sur l'axe Y. On fait varier la résistance à la fois de 100 ohms, jusqu'à un maximum de 1 000 ohms et les valeurs correspondantes de la puissance sont calculées comme suit:

$$\frac{(100)^2}{100} = 100 \text{ watts}; \quad \frac{(100)^2}{200} = 50 \text{ watts}; \quad \frac{(100)^2}{300} = 33,3 \text{ watts, et ainsi de suite.}$$

Un tel graphique met également en évidence la rela-

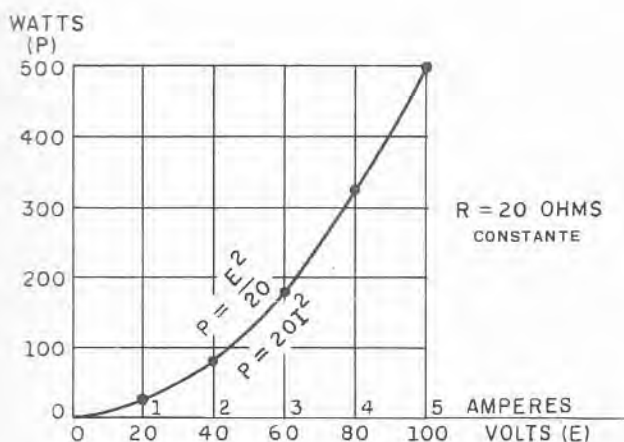


Fig. 9 - Rapport entre puissance (watt) et intensité (ampère), la résistance étant constante et égale à 20 ohms. Nous voyons que la puissance en watts fournie au circuit varie en fonction du carré de la tension appliquée.

tion non linéaire entre la puissance et la résistance dans un circuit à tension constante: tandis que la seconde tend vers des valeurs très faibles, la première prend des valeurs très grandes, et vice-versa.

Par contre, dans un circuit à courant constant, la puissance variera directement avec la résistance, ainsi qu'on peut le voir sur le graphique de la figure 11. Dans cet exemple, le courant est maintenu à la valeur constante de 5 ampères, tandis que la résistance est augmentée de 1 ohm à la fois, jusqu'à 10 ohms. La résistance est portée sur l'axe X, la puissance sur l'axe Y et le calcul est effectué de la façon suivante:

$P = 5 \cdot 0 = \text{watt}$; $(5)^2 \cdot 1 = 25 \text{ watts}$; $(5)^2 \cdot 2 = 50 \text{ watts}$; etc...

Le graphique met en évidence la relation linéaire entre puissance et résistance dans un circuit à courant constant.

Energie

Tout ce qui est capable de fournir un travail peut être défini énergie. En mécanique, on entend par travail le produit de la force par la distance sur laquelle elle agit, tandis qu'en électricité, l'énergie est égale au **produit de la puissance en watts par le temps en heures**. Du moment que la puissance est la mesure du travail effectué, sa multiplication par le temps donne pour résultat un produit correspondant à l'énergie totale pour une période de temps représentée par le facteur t .

Il est facile d'obtenir l'équation de l'énergie en multipliant entre eux les membres de l'équation de la puissance ($P = E \times I$) par le facteur temps t , et en égalant cette expression à l'énergie W comme suit:

$$W = Pt = E \cdot I \cdot t$$

De même, en multipliant par t les membres des équations suivantes.

$$P = E^2 : R \quad \text{et} \quad P = I^2 R$$

on obtient l'énergie W :

$$W = (E^2 : R) t \quad \text{et} \quad W = I^2 R t$$

Dans ces équations, E est exprimé en volts et I en ampères; si t est exprimé en heures, W sera en **watts-heure**.

Si t est exprimé en secondes, W représente des watts par seconde c'est-à-dire des **joules** (1 joule étant égal à 1 watt par seconde).

Du moment que $I \times t = Q$ (Q étant exprimé en coulombs, I en ampères et t en secondes) — voir page 31 — il est possible de substituer P à $(I \times t)$, ce qui donne l'équation ci-dessous:

$$W = QE$$

dans laquelle W est l'énergie en joules, Q la quantité de courant en coulombs et E la tension en volts.

L'énergie électrique est vendue et achetée par unités de kilowatts/heure ($3\,600 \times 10^3$ joules) et dans les grandes centrales électriques, l'énergie électrique est comptée en mégawatts/heure ($3\,600 \times 10^6$ joules). Par exemple, si pendant une période de 10 heures 70 mégawatts par heure sont absorbés en moyenne, l'énergie totale fournie sera de $70 \times 10 = 700$ mégawatts-heure, ou $700 \times 1\,000 = 700\,000$ kilowatts/heure ou encore, $700 \times 3\,600 \times 10 = 2\,520\,000 \times 10^6$ joules. L'unité pratique à employer dépendra de la quantité d'énergie à chiffrer; dans notre dernier exemple, la plus pratique est le mégawatt/heure.

APPLICATIONS de la LOI d'OHM

L'équation de la loi d'Ohm: $I = E : R$, peut subir des transformations pour calculer, comme nous l'avons dit, la résistance, l'intensité et la tension lorsqu'on connaît deux de ces trois termes.

Ainsi connaissant la tension E et l'intensité I , la résistance R sera donnée par:

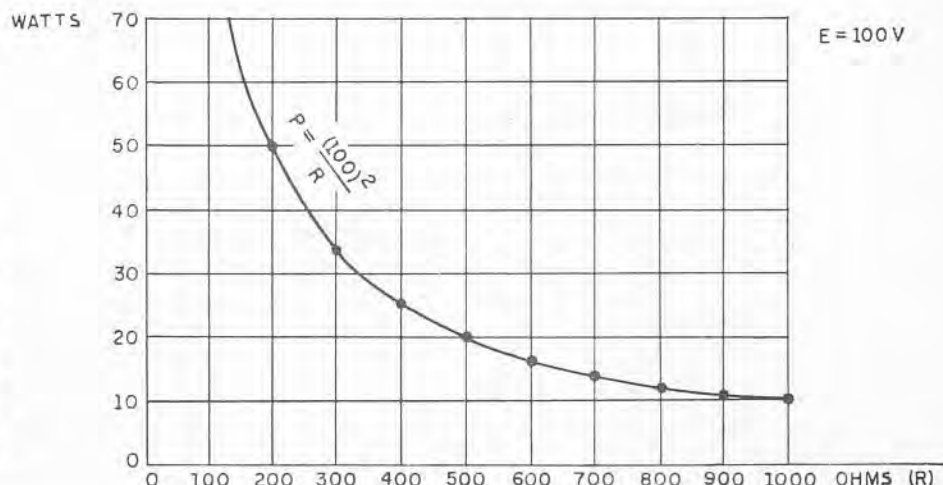
$$R = E : I$$

Connaissant la résistance et l'intensité I , la tension sera donnée par:

$$E = I \times R$$

Exemple: si la tension aux bornes d'un circuit est de 50 volts et l'intensité du courant qui le traverse de

Fig. 10 - Rapport entre puissance (watt) et résistance (ohm), la tension étant constante et égale à 100 volts. La relation entre la puissance et la résistance n'est pas linéaire: la résistance tend vers des valeurs très faibles tandis que la puissance prend des valeurs très grandes.



2 ampères, sa résistance sera égale à $(E : I)$ soit $50 : 2 = 20$ ohms. D'autre part, si un courant passant dans un conducteur a une intensité de 3 ampères, et si la résistance de ce conducteur est de 0,5 ohm, la chute de tension à ses bornes sera égale à $(I \times R)$ soit $3 \times 0,5 = 1,5$ volt.

La formule de base et ses transformations successives peuvent être obtenues rapidement à l'aide de la figure 12. Le cercle contenant E, I et R est divisé en deux parties de telle sorte que E se trouve dans la partie supérieure et IR au-dessous. Pour trouver la valeur inconnue il faut recouvrir avec le doigt la lettre la représentant: la position réciproque des deux lettres restant dans le cercle, indiquera l'opération arithmétique qu'il faudra effectuer pour trouver la valeur de la première.

Par exemple, pour trouver I, on couvre cette lettre avec le doigt: les lettres restant découvertes indiquent que E doit être divisé par R, soit $I = E : R$.

Pour trouver E, on recouvre cette lettre et il apparaît évident que I doit être multiplié par R, soit $E = I \times R$.

Enfin, pour trouver R, on verra que E doit être divisé par I, soit $R = E : I$.

Avertissons le lecteur que, dans ces transpositions de la formule, il ne doit pas se fier uniquement à une telle méthode graphique: elle ne doit être utilisée que comme un complément de ses connaissances algébriques. L'algèbre, en effet, est à la base de toutes les solutions des problèmes de l'électronique et sa connaissance est essentielle et ne saurait être remplacée par des méthodes mnémotechniques telles que celle décrite ci-dessus. Pour cette raison, nous avons jugé utile de meubler notre Cours de quelques aperçus sur ces mathématiques élémentaires qui — pouvant être compris par tous — seront d'une très grande utilité à nos lecteurs.

EXEMPLES D'UTILISATION de la LOI d'OHM

Il suffit de jeter un bref coup d'œil dans le domaine de l'électronique pour découvrir une quantité importante de problèmes faisant appel à la loi d'Ohm et aux

rapports de puissance. Considérons un des exemples les plus courants, celui des lampes à incandescence utilisées dans des circuits à tension constante (la tension du réseau électrique) pour l'éclairage des maisons et des ateliers, dont les caractéristiques sont exprimées en volts et en watts. Combien de courant consomment-elles? Quelle est leur résistance? Si elles sont de forte luminosité, elles peuvent consommer plusieurs ampères, tandis que si elles sont de faible puissance elles ne consommeront qu'une fraction d'ampère. Pour être précis, la consommation de courant d'une lampe de 100 watts, 120 volts, peut être facilement calculée en utilisant la formule

$$I = \frac{P}{E} = \frac{100}{120} = 0,833 \text{ ampère}$$

et la résistance d'une telle lampe, pendant son fonctionnement, peut être calculée en substituant la valeur de l'intensité et de la tension dans la formule

$$I = E : R$$

et en la résolvant par rapport à R, ce qui donne:

$$R = \frac{E}{I} = \frac{120}{0,833} = 14,4 \text{ ohms}$$

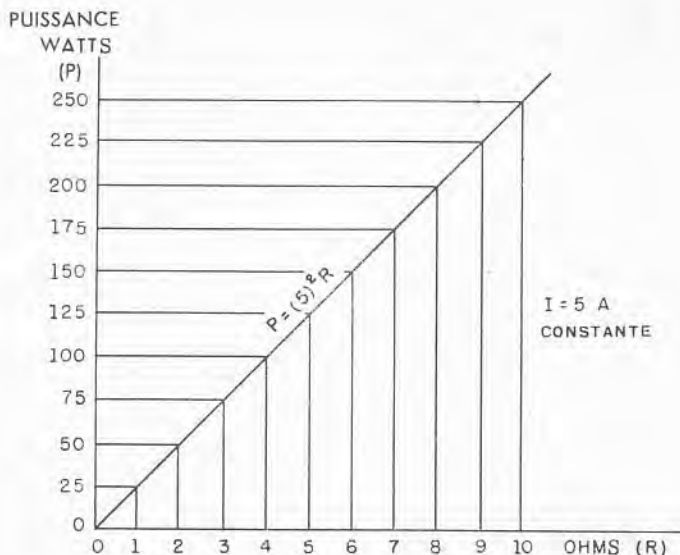
Nous en déduisons qu'une lampe de 100 watts, 120 volts, consomme 0,833 ampère et a une résistance, à chaud, de 144 ohms. Quel sera le coût de l'éclairage fourni par cette lampe pendant quatre heures tous les soirs, pour 30 jours, à 0,32 F le kilowatt-heure? Le calcul ci-dessous nous le fait savoir:

$$\text{kilowatts heure total} = Pt = \frac{100 \cdot 4 \cdot 30}{1.000} = 12$$

$$\text{Coût total} = 32 \cdot 12 = 3,84 \text{ F.}$$

Dans l'opération ci-dessus (et dans celle qui suit), la puissance est exprimée en kilowatts, au lieu de watts, pour cette raison l'opération comporte une division par 1.000 (un kilowatt = 1.000 watts) c'est la raison de la présence du nombre 1.000 au dénominateur de la fraction.

Fig. 11 - Rapport entre puissance (watt) et résistance (ohm), pour un courant constant d'une intensité de 5 ampères. Nous voyons que la puissance varie directement avec la résistance. Le graphique met en évidence la relation linéaire dans un circuit à courant constant. Dans l'exemple la résistance (portée sur l'axe X horizontal) est augmentée progressivement de 1 ohm. On lit la puissance sur l'axe Y vertical.



Considérons maintenant le coût de fonctionnement d'un conditionneur d'air fonctionnant sur 120 volts avec une consommation de 9,4 ampères, pendant 10 heures par jour, pendant 30 jours.

La puissance en kilowatts sera de:

$$P = \frac{E \cdot I}{1.000} = \frac{120 \cdot 9,4}{1.000} = 1,128 \text{ kW}$$

La consommation mensuelle sera de $1,128 \times 30 \times 10 = 338,4 \text{ kW/h}$ et au prix de 0,32 F le kW/h on a $338,4 \times 0,32 = 108,288 \text{ F}$.

Les cuisinières électriques, pour usage domestique, nécessitent des lignes d'alimentation spécialement prévues car leur consommation est élevée; elle peut atteindre, par exemple, 7,5 kW sous 220 volts lorsque toutes les plaques fonctionnent.

La consommation de courant est calculée comme suit:

$$I = \frac{P}{E} = \frac{7.500}{220} = 34 \text{ ampères}$$

Etant donné que la plupart des compteurs à usages domestiques ne permettent pas le passage d'intensités supérieures à 20 ampères, l'emploi d'une charge consommant 34 ampères nécessite, évidemment, l'installation d'une ligne spéciale. Il est important de noter, en outre, que l'alimentation sous une tension de 220 volts au lieu de 110 volts, permet d'employer des conducteurs de plus faible section puisque, pour une puissance donnée, l'intensité d'un courant est inversement proportionnelle à la tension. Ainsi, la même cuisinière alimentée sous 110 volts consommerait 68 ampères au lieu de 34.

Pour éclaircir encore mieux le rapport inverse entre l'intensité et la tension, pour une puissance donnée, calculons la consommation d'une lampe de 100 watts alimentée sous 6 volts; elle est donnée par:

$$I = P : E = 100 : 6 = 16,6 \text{ ampères}$$

Ainsi elle demandera 20 fois plus d'intensité qu'une lampe de 100 watts alimentée sous 120 volts, laquelle

nous l'avons vu, était de 0,833 ampère.

Il est extrêmement important que les lampes à incandescence soient alimentées sous leurs tensions correctes car toute augmentation de tension, même momentanée, entraînerait une diminution notable de la durée de vie. Par exemple, l'augmentation de la tension d'alimentation d'une lampe de 110 à 140 volts, pour une lampe de 110 volts - 25 watts - provoquera une augmentation de l'intensité de:

$$\frac{25}{110} = 0,228 \text{ A. à } \frac{140}{110} \cdot 0,228 = 0,293 \text{ ampère}$$

et comme la puissance dissipée varie en fonction du carré de la tension appliquée, le fait d'augmenter la tension de 110 à 140 volts, augmentera la puissance de:

$$\frac{(140)^2}{(110)^2} = 1,62 \text{ fois}$$

dans ce cas le filament de la lampe se consumera en peu de temps.

On peut encore, à titre d'exemple pour l'application des formules dérivées de la loi d'Ohm, calculer la résistance d'un fer à repasser alimenté sous 120 volts et ayant une puissance de 1 000 watts.

Calculons d'abord l'intensité du courant:

$$I = P : E = 1.000 : 120 = 8,33 \text{ ampères}$$

La résistance à chaud peut être trouvée en appliquant l'équation:

$$R = \frac{E}{I} = \frac{120}{8,33} = 14,4 \text{ ohms}$$

La résistance peut être trouvée également en employant l'autre formule, celle qui se réfère à la puissance:

$$R = \frac{E^2}{P} = \frac{(120)^2}{1.000} = 14,4 \text{ ohms}$$

L'équation à employer dépend des valeurs connues et de celles que l'on désire calculer. Calculons, par exemple, l'énergie totale en watts-heure fournie par une batterie d'accumulateurs de 12 volts donnant un courant

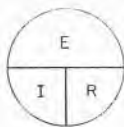


Fig. 12 - Ici on représente un système graphique très commode pour aider dans l'application de la loi d'Ohm. On a comme on le voit un cercle contenant les 3 facteurs (tension: E, courant: I, résistance: R). Le lecteur peut le reproduire tel quel sur un carton, de façon à s'en servir à l'atelier, jusqu'au moment où il aura appris par cœur la loi d'Ohm qui est d'ailleurs très facile à retenir.

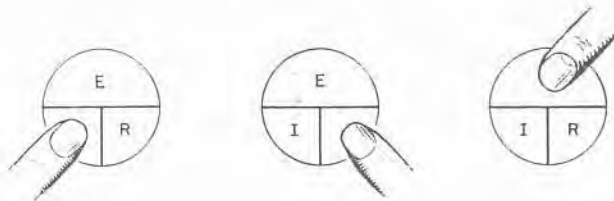


Fig. 12 bis - Voici la façon d'utiliser le cercle représenté dans la figure 12. Pour connaître la relation entre la grandeur E et R, il suffit de couvrir avec le doigt la grandeur inconnue, dans ce cas I, et on verra alors que nous obtenons I par le quotient $E:R$. De même, pour trouver R on couvre celui-ci et on voit qu'on l'obtient en divisant E par I. Enfin pour obtenir la tension E on couvre la lettre et on a alors le produit I par R. En d'autres termes il suffit de couvrir avec le doigt la grandeur inconnue et observer la position réciproque des 2 autres.

de 10 ampères pendant dix heures.

Puisque $W = E I t$ on a

$$W = 12 \cdot 10 \cdot 10 = 1.200 \text{ watts-heure.}$$

Le rapport entre ampère, volt et heure donne l'énergie en watts/heure, et dans cet exemple, la batterie peut fournir une énergie électrique équivalente à 1.200 watts-heure, soit 1,2 kilowatt/heure.

Au moyen des formules déjà vues, on peut résoudre le problème suivant, entre autres: étant donné une résistance de 100 ohms, 500 watts, branchée de telle sorte qu'elle dissipe la puissance pour laquelle elle est prévue, calculer la tension à ses bornes et l'intensité du courant qui la traverse.

L'équation $P = E^2 : R$ peut être résolue par rapport à la tension en fonction de la puissance et de la résistance; on a:

$$E = \sqrt{PR} = \sqrt{500 \cdot 100} = 224 \text{ volts}$$

Ainsi une charge de 500 watts, 100 ohms, aura à ses bornes une tension de 224 volts.

Le courant qui la traverse peut être calculé de la façon suivante:

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{500}{100}} = \sqrt{5} = 2,24 \text{ volts}$$

Les valeurs ainsi obtenues peuvent être vérifiées en les utilisant pour calculer la puissance qui est connue; on doit trouver la même valeur de la façon suivante:

$$P = I^2 R = (2,24)^2 \cdot 100 = 500 \text{ watts}$$

Il en est de même pour la résistance qui peut être ainsi calculée:

$$R = \frac{E}{I} = \frac{224}{2,24} = 100 \text{ ohms}$$

Il est nécessaire que le lecteur prenne l'habitude de vérifier ses calculs en utilisant à cet effet, deux ou plusieurs équations pour obtenir le même résultat: en

fait, deux moyens sont toujours préférables à un seul pour obtenir un même résultat, car ils évitent les erreurs qui peuvent se produire dans le cas où l'on utilise toujours le même mode de calcul.

L'intensité du courant et la tension sont des facteurs très importants du fonctionnement des moteurs électriques. Calculons la puissance dissipée par un moteur industriel qui absorbe 125 ampères sous 600 volts c.c.

Puisque $P = E \times I$ on a $600 \times 125 = 75.000$ watts.

Cette puissance peut être exprimée en chevaux-vapeur (CV) ou chevaux (HP) et donne:

1 HP = 746 watts, on aura donc $75.000 : 746 = 100,2$ HP

1 CV = 736 watts, ce qui donne $75.000 : 736 = 101,9$ CV.

Si la charge effective nécessite une puissance constante en HP, le courant variera d'une manière inversement proportionnelle à la tension. Supposons, par exemple, que la tension tombe de 600 à 450 volts: dans ce cas, l'intensité du courant nécessaire pour maintenir la puissance constante sera:

$$I = \frac{P}{E} = \frac{75.000}{450} = 166 \text{ ampères}$$

ce qui représente une augmentation de 41 ampères, soit de 38,8% du courant normal, qui pourra provoquer un échauffement du moteur. Un tel phénomène est très important dans le cas des moteurs et de toutes les machines rotatives en général: exemple dans lequel la résistance effective de la charge varie en fonction du carré de la tension appliquée ($R = E^2 : P$).

La résistance présentée au courant par le moteur avec une tension de 600 volts est de:

$$R = \frac{E}{I} = \frac{600}{125} = 4,8 \text{ ohms}$$

et quand la tension tombe à 450 volts, elle-même descend à

$$\frac{450}{166} = 2,7 \text{ ohms}$$

La résistance effective à 600 volts peut être contrôlée par l'équation suivante:

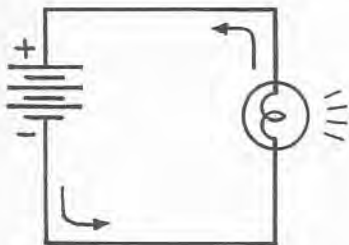


Fig. 13 - Un circuit peut comporter plusieurs variables: dans le filament d'une lampe, par exemple, l'intensité du courant n'est pas exactement proportionnelle à la tension, car la résistance varie avec la température. Dans ce cas, on ne peut pas appliquer directement la loi d'Ohm.

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

dans laquelle les valeurs réelles de E et de P sont remplacées comme suit après avoir transformé la formule pour la résoudre par rapport à R:

$$R = \frac{E^2}{P} = \frac{(600)^2}{75.000} = 4.8 \text{ ohms}$$

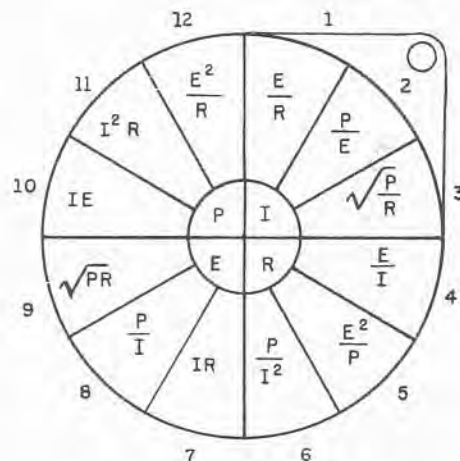
En effectuant la même vérification pour une tension de 450 volts, on obtient encore la valeur de 2,7 ohms.

Cette tendance qu'ont les moteurs à demander une plus grande intensité de courant quand la tension diminue, ne se manifeste pas dans le cas d'autres charges électriques, comme par exemple, les résistances, les appareils de chauffage, les lampes d'éclairage, etc... Le phénomène décrit plus haut ne doit donc pas être considéré comme général, mais au contraire particulier au cas considéré.

L'emploi des formules très simples, équations comportant trois lettres, discutées dans cette leçon, ne présente pas de grandes difficultés, bien qu'elles puissent gêner, quelquefois, un lecteur n'ayant aucune connaissance en mathématiques. Il s'apercevra souvent, dans la pratique, que même pour des circuits très simples, il pourra se trouver en présence, non pas d'une seule, mais de plusieurs variables.

Par exemple, selon la loi d'Ohm, le courant qui passe dans un circuit est directement proportionnel à la tension appliquée, toutefois, dans certains cas (par exemple pour une lampe électrique à incandescence - figure 13) l'augmentation de l'intensité ne sera pas proportionnelle à celle de la tension. Un tel phénomène ne s'explique que par le fait que le tungstène (métal servant à confectionner le filament des lampes), augmente de résistance lorsque sa température augmente. Par suite, une augmentation de la tension d'alimentation du filament provoque une augmentation de l'intensité absorbée et par suite, de la température, laquelle à son tour, fait augmenter la résistance. Dans ce cas, le circuit comporte deux variables, la tension et la résistance, au lieu d'une seule, la tension.

Fig. 14 - Représentation graphique des formules relatives aux grandeurs I, E, R, et P. Chacune d'elles peut être déterminée en connaissant au moins deux autres. Le disque, que l'on peut recopier pour l'avoir toujours à portée de la main est divisé en quatre secteurs contenant chacun trois formules permettant de trouver la grandeur inscrite dans le cercle central. Par exemple: I (intensité) est donnée par E : R, ou par P : E ou, encore, par $\sqrt{P : R}$.



Par exemple, si dans le cas ci-dessus, la tension d'origine est de 110 volts et la résistance de 120 ohms, l'intensité du courant sera de:

$$I = E : R = 110 : 120 = 0,917 \text{ ampère}$$

Si maintenant, la tension passe à 132 volts et la résistance à 130 ohms, l'intensité du courant sera de:

$$I = 132 : 130 = 1,015 \text{ ampère}$$

L'augmentation de tension est de $132 - 110 = 22$ volts et le pourcentage d'augmentation est de:

$$\frac{22 \cdot 100}{110} = 20\%$$

L'accroissement de résistance, par contre, s'élève à $130 - 120 = 10$ ohms, correspondant à un pourcentage de 8,33% et enfin, l'intensité du courant aura augmenté de $1,015 - 0,917 = 0,098$ ampère, soit 10,7%. On en déduit qu'à une augmentation de tension de 20% correspond une augmentation de l'intensité de seulement 10,7%. Si la tension avait été la seule quantité variable, l'intensité aurait subi une augmentation proportionnelle, soit 20%. Dans notre cas par contre, les variations ne sont pas proportionnelles.

Les équations étudiées jusqu'à présent ne suffisent pas, à elles seules, à nous faire connaître le fonctionnement du circuit; toutefois, elles nous apprennent les relations numériques existant entre volts, ampères, ohms et watts et, dans ces limites, contribuent à donner au lecteur des connaissances de base indispensables.

La figure 14, représentant un cercle divisé en 12 secteurs, donne une représentation synoptique des combinaisons de ces équations, qui sont placées en ordre progressif, du 1^{er} au 12^{ème} secteur, en suivant l'ordre adopté dans nos explications théoriques.

Il convient toutefois de ne pas oublier que cette figure ne peut suppléer aux connaissances nécessaires pour trouver, par le seul raisonnement, les diverses transformations des formules de base; elle peut simplement servir à trouver rapidement un élément inconnu en fonction des autres.

Leçon n° 11

PILES et ACCUMULATEURS

Il existe divers moyens pour produire une tension électrique :

- 1) Chimiquement, en insérant par exemple, deux électrodes, une de charbon et une de zinc, dans une solution d'acide sulfurique et d'eau.
- 2) Mécaniquement, en faisant passer un conducteur à travers un champ magnétique, de telle sorte qu'il coupe les lignes de force.
- 3) Par frottement, cela se produit quand on frotte un bâton d'ébonite sur un chiffon de laine.
- 4) En chauffant un couple constitué par deux métaux différents, comme par exemple le cuivre et le fer.
- 5) Par l'effet piézoélectrique, propre à certains cristaux qui produisent des charges électriques quand ils sont soumis à des actions mécaniques.
- 6) Enfin, par l'effet photo-voltaïque, par lequel une tension électrique est produite lorsque des rayons lumineux frappent une substance spéciale, telle que par exemple, l'oxyde de cuivre, et le sélénium.

Les deux premiers moyens permettent, respectivement, la construction de batteries et de générateurs; le troisième est employé dans la construction de générateurs d'électricité statique à haute tension; le quatrième est utilisé dans les dispositifs appelés *thermocouples* destinés à la mesure des températures; le cinquième permet la production des microphones à cristal et des lecteurs phonographiques. Le sixième est employé dans les appareils servant à la mesure de l'intensité lumineuse (*cellules photo-électriques*).

Nous étudierons, dans les pages suivantes, les procédés plus spécialement utilisés dans les applications radioélectriques en nous arrêtant longuement, dans cette leçon, sur les moyens chimiques (cellule primaire: pile et cellule secondaire: accumulateur). Les autres systèmes feront l'objet d'une étude détaillée dans les prochaines leçons.

Piles et accumulateurs ont eu, dans le passé, une très grande importance en radio. Puisque les récepteurs avaient besoin d'une « alimentation » en courant, particulièrement pour les lampes (nous verrons pourquoi plus loin), et que l'on ne disposait, alors, d'aucun autre moyen pour produire les tensions nécessaires, il fut longtemps indispensable de recourir à ces sources chimiques, jusqu'au jour où l'on réussit à utiliser — d'une manière pratique — le réseau de distribution électrique.

De nos jours, piles et accumulateurs — après une

longue éclipse — sont à nouveau utilisés en radio, en raison des applications toujours plus nombreuses des « transistors », nouveaux organes amplificateurs remplaçant les lampes, qui, à différence de ces dernières, ne nécessitent qu'une faible énergie pour leur fonctionnement, rendant ainsi possible et même avantageux, sous plusieurs points de vue, l'emploi de batteries dont les dimensions ont pu être très réduites.

C'est pour cela que nous consacrerons les pages suivantes aux piles et accumulateurs, qui — développés et perfectionnés — sont à nouveau destinés à jouer un rôle important dans la technique radioélectrique.

CELLULES VOLTAIQUES

Lorsque deux éléments différents — par exemple le charbon et le zinc (ou le cuivre et le zinc) — sont plongés dans une solution d'acide sulfurique et d'eau, l'acide attaque le zinc plus rapidement qu'il ne le fait pour le charbon et, entre les deux éléments, apparaît une *différence de potentiel*.

Ceci constitue une **cellule voltaïque** dont la fonction est de convertir l'énergie chimique en énergie électrique.

Ces éléments sont appelés **électrodes** et la solution acide prend le nom d'**électrolyte**. Si ces éléments doivent être remplacés, parce qu'épuisés au terme de leur durée, la cellule est dite **primaire**, tandis que s'ils peuvent être rendus à leur état naturel par une recharge au moyen d'une source externe de courant électrique elle est dite **secondaire**.

CELLULES PRIMAIRES

La cellule décrite ci-dessus est du type primaire.

Si l'on relie un conducteur externe aux électrodes, les électrons circuleront du zinc (négatif) au charbon (positif) à travers le conducteur, grâce à la différence de potentiel et retourneront enfin, au zinc à travers la solution. Après un certain temps, l'électrode en zinc sera rongée par l'action corrosive de l'acide. Si l'électrode négative est entourée d'oxygène, elle s'oxyde comme un combustible et — sous cet aspect — la cellule se comporte un peu comme un fourneau chimique dans lequel, l'énergie produite par le zinc se transforme en énergie électrique au lieu de se dissiper en chaleur.

La **figure 1** montre un exemple très simple de cellule primaire, laquelle est constituée par deux électrodes (charbon et zinc) et par un récipient contenant une

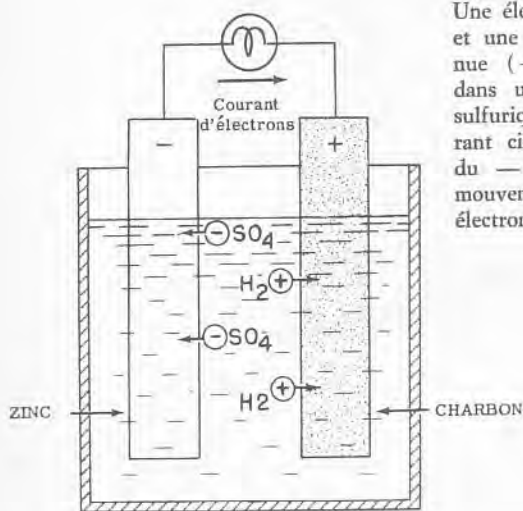


Fig. 1 - Cellule primaire. Une électrode en zinc (—) et une en charbon de corne (+) sont immergées dans une solution d'acide sulfurique et d'eau. Le courant circule extérieurement du — au +, suivant le mouvement effectué par les électrons.

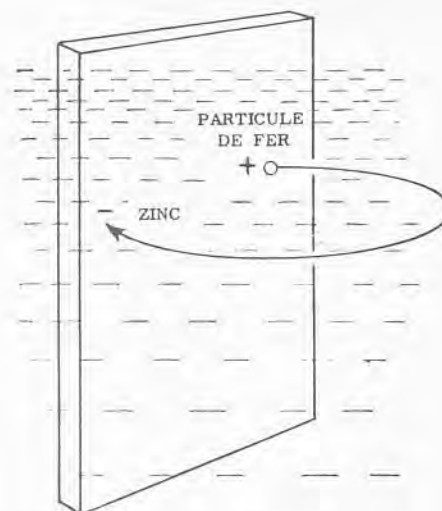


Fig. 2 - Une particule de Fer (impureté) contenue dans l'électrode de Zinc forme avec elle une cellule minuscule dont l'activité continue même lorsque le circuit extérieur est coupé.

solution diluée d'acide sulfurique (H^2SO^4) et d'eau (H^2O). La tension entre les deux électrodes est fonction des matériaux qui les composent, et de la nature de la solution. La différence de potentiel entre une électrode de charbon et une de zinc dans une solution diluée d'acide et d'eau, est de l'ordre de 1,5 volt; elle n'excède jamais 2 volts dans la plupart des cellules primaires.

L'intensité du courant qui peut être fourni par une pile primaire, dépend de la résistance du circuit tout entier — y compris celle de la pile même — laquelle dépend à son tour, des dimensions de ses électrodes, de leur distance relative, ainsi que de la résistance de la solution. Plus grande est la surface des électrodes, plus petite est la distance entre elles (pourvu qu'elles ne se touchent pas), et plus faible sera la résistance interne, plus élevée sera l'intensité du courant que pourra fournir la pile.

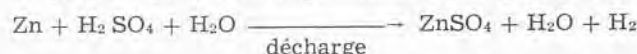
Comportement à la décharge

Quand le courant passe dans une cellule, le zinc est peu à peu dissous dans la solution et celle-ci se neutralise; on utilise parfois, une équation pour montrer l'action chimique qui se produit. Les symboles employés dans cette équation représentent les éléments employés: soit, C pour le charbon, et Zn pour le zinc. L'équation est quantitative; en effet elle établit une relation entre les quantités des éléments en présence avant et après l'oxydation du zinc.

Comme nous le savons, toute la matière est composée d'atomes et de molécules et, tandis que les premiers sont les plus petites parties d'un corps simple, les secondes sont les parties les plus petites des corps composés. Ceux-ci sont des combinaisons chimiques de deux ou de plusieurs éléments et leurs caractéristiques physiques sont différentes de celles des corps simples entrant dans leur composition. Par exemple, une molécule d'eau, H^2O , est formée de deux atomes d'hydrogène, H^2 , et d'un atome d'oxygène, O. Normalement, l'oxygène et l'hydrogène sont des gaz, mais quand ils sont combinés entre eux en proportion convenable, ils forment de l'eau, c'est-à-dire un liquide. Par contre,

l'acide sulfurique H^2SO^4 et l'eau H^2O forment un mélange (non pas une substance) et cela signifie que la constitution propre aux deux liquides demeure inaltérée, quand ils sont mélangés en solution.

Quand un courant passe dans une pile primaire comprenant une électrode de charbon, une de zinc et une solution d'acide sulfurique et d'eau, la réaction qui se produit peut être exprimée de la façon suivante:



Une telle expression montre dès que le courant commence à passer, qu'une molécule de zinc se combine avec une molécule d'acide pour former une molécule de sulfate de zinc (ZnSO_4) et une molécule d'hydrogène (H^2). Le sulfate de zinc se dissout dans la solution, tandis que l'hydrogène se dégage sous forme de bulles gazeuses autour de l'électrode de charbon. Si le courant continue à passer, l'électrode de zinc sera peu à peu rongée, tandis que la solution se transformera en une autre solution constituée par du sulfate de zinc et de l'eau.

L'électrode de charbon ne prend pas part à la réaction chimique qui se produit; elle se borne à être un moyen de passage pour le courant lui-même.

Pendant le processus d'oxydation du zinc, la solution se divise en ions positifs et négatifs qui se déplacent en directions opposées (voir figure 1). Les ions positifs sont formés d'hydrogène et ils apparaissent à proximité de l'électrode de charbon (pôle positif). Ils sont dirigés vers cette électrode par l'attraction qu'exercent sur eux les électrons libres du zinc qui retournent à la cellule à travers la charge externe et l'électrode positive en question.

Les ions négatifs sont formés de sulfate de zinc et apparaissent à proximité de l'électrode négative en zinc.

Les ions positifs de zinc se mêlent à la solution autour de l'électrode en zinc et se combinent avec les négatifs SO_4 pour former le sulfate de zinc, substance grisâtre qui se dissout immédiatement dans l'eau.

En même temps les ions positifs et négatifs se dirigent dans des directions opposées dans la solution les électrons se déplaçant vers le circuit externe en partant

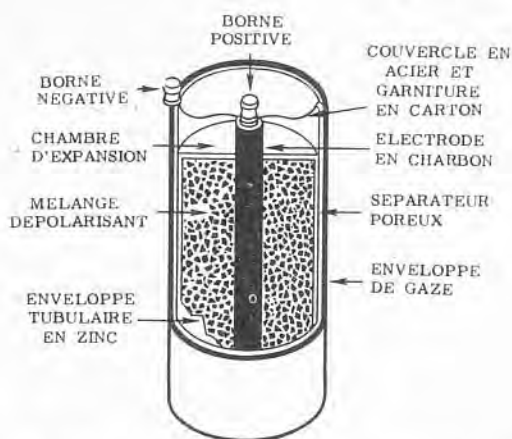


Fig. 3 - Pile Leclanché. L'électrolyte est sous forme de pâte épaisse ne pouvant se verser si l'on retourne l'élément. La tension est de 1,5 volt, et l'intensité débitée varie selon la résistance de la charge et les dimensions de la pile.

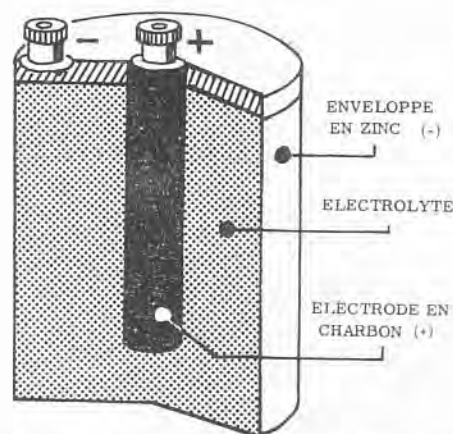


Fig. 3 bis - Voici un autre dessin en section de la structure intérieure d'une pile sèche classique. Souvent l'électrode en charbon est entourée d'une substance riche en oxygène (par exemple, le bi-oxyde de manganèse).

de la borne négative (zinc) pour rejoindre la borne positive (charbon) à travers la charge.

Quand le zinc est épuisé, la tension de la pile tombe à zéro et la différence de potentiel présente entre le charbon et le sulfate de zinc en solution dans l'eau est extrêmement faible.

Polarisation — La réaction chimique se produisant dans la pile (figure 1) pendant que le courant passe, donne naissance à des bulles d'hydrogène qui se forment en grand nombre sur la surface de l'électrode positive en charbon jusqu'à ce que celle-ci soit complètement recouverte. Ce phénomène s'appelle la **polarisation**. Certaines, parmi ces bulles, montent à la surface du liquide et se diffusent dans l'air; toutefois un grand nombre d'entre elles restent sur l'électrode qu'elles arrivent à recouvrir complètement, empêchant, ainsi, la formation d'autres bulles.

L'hydrogène tend à produire une force électromotrice en sens opposé à celle de la pile, augmentant ainsi la résistance interne effective, ce qui a pour effet de réduire le courant et, par suite, la tension.

Une pile fortement polarisée ne produit pratiquement plus aucun courant. Il existe divers moyens pour éviter cette polarisation et pour y remédier dans le cas où elle se produit: le plus simple consiste à retirer l'électrode de charbon, de temps en temps, et à la nettoyer pour la débarrasser des bulles d'hydrogène; en procédant de la sorte, la tension et l'intensité du courant redevennent normales dès que l'électrode est replongée dans l'électrolyte. Ce procédé est évidemment peu pratique car dans une cellule voltaïque simple la polarisation se produit rapidement et d'une manière continue.

Dans une réalisation pratique de ce type de pile — appelée **pile sèche** — on entoure l'électrode en charbon d'une substance riche en oxygène, lequel se combine avec l'hydrogène, dégagé pendant le fonctionnement, pour former de l'eau. Un des meilleurs dépolarisants connus est le bi-oxyde de manganèse (MnO_2) qui fournit de l'oxygène en quantité suffisante pour se combiner avec l'hydrogène dégagé, de telle sorte que la pile est pratiquement exempte de polarisation.

Action locale — Quand le circuit extérieur à la pile est ouvert, le courant cesse de passer et, théoriquement, le processus chimique se trouve arrêté. Toutefois, parce que le zinc du commerce contient diverses impuretés — comme, par exemple, du fer, du charbon, du plomb et de l'arsenic — celles-ci forment des cellules au sein de l'électrode de zinc même et le courant passe entre le zinc et ses impuretés. Pour cette raison, le zinc s'oxyde bien que le circuit de la pile reste ouvert: une telle corrosion à circuit ouvert s'appelle **action ou effet local**. Supposons par exemple, qu'une petite cellule locale se trouve sur une plaque de zinc contenant une impureté de fer, comme illustré sur la **figure 2**. Les électrons passeront entre le zinc et le fer, et la solution qui se trouve autour des impuretés sera ionisée. Les ions négatifs SO_4^- se combineront avec les ions positifs Zn pour former $ZnSO_4$, et le zinc sera rongé.

Cette action locale peut être combattue (1) en employant du zinc très pur (ce qui est très peu pratique), (2) en recouvrant le zinc par du mercure, ou encore (3) en ajoutant un petit pourcentage de mercure au zinc, lors de sa fabrication.

Le traitement du zinc par le mercure consiste à former un amalgame de zinc. Parce que le poids du mercure est 13,6 fois plus élevé que celui de l'eau, les petites parcelles d'impuretés — qui ont un poids relatif inférieur à celui du mercure — monteront à la surface de celui-ci et se détacheront de la surface du zinc, ce qui permettra d'éviter l'effet local. Le mercure étant très difficilement attaqué par l'acide, son action sur les impuretés continuera tout au long du fonctionnement de la pile, les contraignant, ainsi, à abandonner la surface du zinc et à remonter à la surface. Tout ceci augmente considérablement la durée de la pile.

Divers types de piles

Il existe deux types de piles primaires: la **pile liquide** et la **pile sèche** et, bien que dans le passé les piles du premier type aient été employées, elles sont complètement abandonnées de nos jours au profit de celles du deuxième type qui sont d'un emploi plus facile.

Pile Leclanché — La pile sèche (appelée également

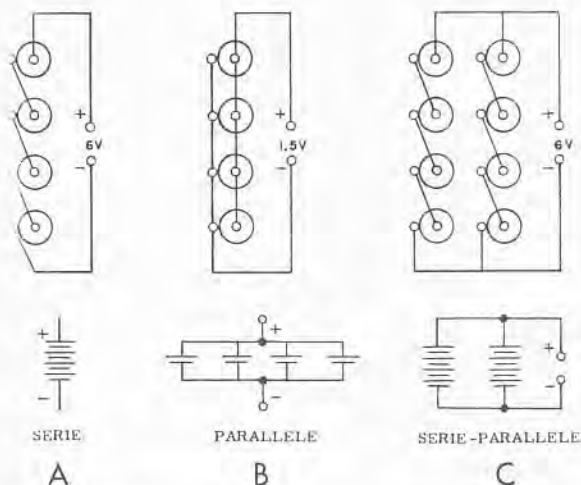


Fig. 4 - Les cellules peuvent être réunies en série (A), en parallèle (B) ou en série-parallèle (C). De cette façon on augmente la tension, l'intensité du courant ou toutes deux.

pile Leclanché) contient évidemment une solution (électrolyte), mais le terme « sèche » signifie qu'elle est fabriquée de telle façon que cette solution ne peut couler.

L'électrolyte se présente en effet, sous la forme d'une pâte et la pile est scellée de telle sorte que le liquide ne puisse sortir. La figure 3 montre en coupe, un type courant de pile sèche. Le récipient, normalement en zinc forme l'électrode négative: il est recouvert à l'intérieur d'une couche de papier absorbant qui empêche tout contact avec l'électrode positive constituée par un bâtonnet de charbon de cornue placé au centre de la pile. L'électrode positive est entourée d'une pâte formée de charbon, de bioxyde de manganèse, de chlorure d'ammonium et de chlorure de zinc, avec laquelle elle est en contact direct. Cette pâte est humidifiée par de l'eau et si celle-ci s'évapore, la pile devient inactive.

La force électromotrice de ce type de pile dépend des substances utilisées; elle est de l'ordre de 1,5 volt, et indépendante de la dimension de la pile la plus petite donnant exactement, en circuit ouvert, la même tension que la plus grande.

Les batteries de piles sèches conviennent particulièrement aux appareils fonctionnant de manière intermittente tels que, par exemple, les lampes portatives, les appareils de mesure portatifs, les émetteurs et récepteurs de radio portatifs et les petits moteurs à courant continu. Si, par contre, on exige un fort courant pendant un temps assez long, la pile se polarise, la tension décroît et la pile se trouvera rapidement déchargée. Toutefois, si la pile demeure inactive pendant un certain temps, elle se dépolarise et la tension reprend sa valeur normale.

De nombreux dispositifs électriques ou électroniques demandent une tension ou une intensité plus grande que celle que peut fournir un seul élément de pile. Il est alors nécessaire de relier ensemble plusieurs éléments pour augmenter l'intensité ou la tension, ou les deux à la fois. Un ensemble constitué de plusieurs éléments constitue une **batterie**, et le moyen selon lequel ils sont reliés les uns aux autres dépend du résultat à obtenir: **en les reliant en série, on augmente la tension,**

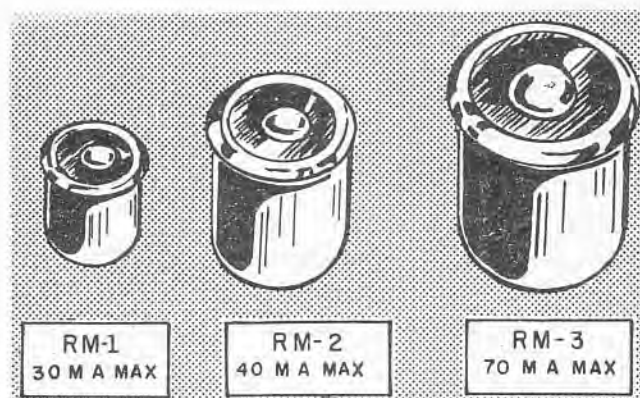


Fig. 5 - Cellules au mercure dites « RM ». Elles donnent une tension constante de 1,25 volt environ, jusqu'à complète décharge. Elles peuvent supporter les climats tropicaux et une forte humidité. Elles sont très petites et la figure en représente certains modèles en grandeur naturelle.

en les reliant en parallèle on augmente l'intensité disponible.

La figure 4 montre les divers ensembles formés par des piles sèches en série, en parallèle et en série-parallèle ainsi que les symboles correspondant à ces divers montages.

Pour relier **en série** plusieurs cellules et additionner ainsi, leurs propres tensions, il faut que le **pôle positif de l'une soit relié au pôle négatif de la suivante**, laissant ainsi libres le pôle négatif de la première et le pôle positif de la dernière comme on peut le voir sur la figure 4 - A. La tension totale de la batterie ainsi formée est égale à la somme des tensions individuelles des piles. Certaines batteries comportent 15 ou 30 ou 45 cellules en série pour avoir respectivement, des tensions de 22,5, de 45 ou de 67,5 V.

L'intensité du courant, fournie par une batterie de piles en série, est égale à celle que peut fournir un seul élément.

Les cellules peuvent également être branchées **en parallèle**, en reliant entre eux tous les pôles négatifs et tous les pôles positifs afin d'obtenir un seul négatif et un seul positif, comme illustré par la figure 4-B. Dans ce cas, tandis que **l'intensité du courant que peut fournir la batterie est égale à la somme des intensités** pouvant être fournies par chacun des éléments, **la tension totale est égale à la tension produite par un élément unique**. Il importe de souligner que, pour un tel branchement, il faut que toutes les cellules aient la même tension et la même résistance interne; dans le cas contraire en effet, celle ayant la plus forte tension et la plus faible résistance interne contraindrait le courant à passer dans celle ayant une tension inférieure qui supporterait alors, toute la charge.

On peut également, relier les piles en série-parallèle comme le montre la figure 4-C. Les piles de chacun des groupes sont reliées en série entre elles, tandis que les deux groupes sont branchés entre eux en parallèle. Un tel système, dans le cas illustré, porte la tension totale au quadruple des tensions individuelles et l'intensité du courant au double.

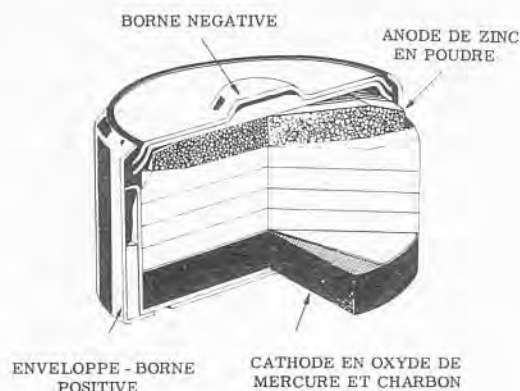


Fig. 5 bis - Pile sèche du type RM vue en section. Ces piles sont utilisées principalement dans les émetteurs-récepteurs portatifs et autres petits appareils électroniques.

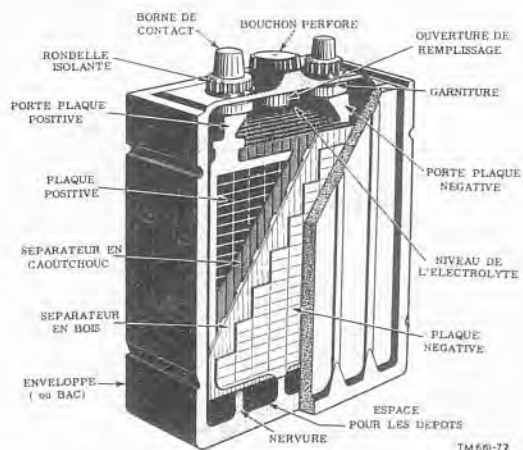


Fig. 6 - Coupe d'un accumulateur au plomb et les diverses parties le composant.

Batterie sèche du type RM — Au cours de ces dernières années, la nécessité de posséder une pile sèche pouvant supporter les climats tropicaux et une forte humidité, a conduit au développement de la pile RM, appelée également « Ruben » et « Mercury ».

Il s'agit d'une pile de fabrication plus onéreuse que celles du type précédent, mais présentant l'avantage de produire un courant de quatre à sept fois supérieur et de donner une tension plus constante. La pile RM se présente sous la forme d'un cylindre de 8 à 25 mm de diamètre et d'une hauteur de 3 à 15 mm (figure 5).

Le courant électrique de la pile RM est produit par une réaction chimique entre le zinc et l'oxyde de mercure. L'électrode positive est constituée par un mélange d'oxyde de mercure et de charbon contenu dans un récipient en fer, tandis que l'électrode négative est formée d'un disque de zinc placé au centre du récipient. L'électrolyte est une solution d'hydroxyde de potasse. La tension en circuit ouvert, est de 1,34 volt, elle descend en charge à une valeur comprise entre 1,31 et 1,24 volt et — bien que la tension en présence d'une charge soit inférieure de 0,2 volt à celle d'une pile sèche classique — la pile RM garde une tension pratiquement constante pendant toute sa durée. On les utilise principalement dans les émetteurs-récepteurs portatifs et autres petits appareils électroniques.

CELLULES SECONDAIRES

Comme nous l'avons dit précédemment, on entend par cellule secondaire, une cellule dont les éléments peuvent être ramenés à leur état initial en la rechargeant au moyen d'une source extérieure de courant électrique. Quand le courant de recharge passe dans la pile, en sens contraire de celui de la décharge, la solution (électrolyte) et les électrodes retournent à leur état initial. Les cellules secondaires sont utilisées en batteries (deux ou plusieurs cellules reliées entre elles) dans les automobiles, les avions, les sous-marins, etc...; ces batteries sont connues sous le nom d'**accumulateurs électriques**.

De nos jours, il existe deux types d'accumulateurs: 1) l'accumulateur au plomb, 2) l'accumulateur au fer-nickel en solution alcaline (Edison) ou au cadmium-nickel toujours en solution alcaline. Le premier type est le plus communément employé; la figure 6 illustre un accumulateur au plomb, vu en section.

Action chimique

La nature des réactions chimiques qui se produisent dans un accumulateur au plomb est plutôt complexe, mais la brève description ci-dessous, sera suffisante pour donner une idée du cycle se manifestant durant la charge et la décharge.

Quand la cellule est complètement chargée (figure 7 A), la substance active de la plaque positive est formée de peroxyde de plomb, PbO_2 , et celle de la plaque négative de plomb spongieux pur, Pb .

Le poids spécifique de l'électrolyte (c'est-à-dire son poids comparé à celui d'un volume égal d'eau) est à sa valeur maximum. Dans ces conditions l'énergie chimique est, pour ainsi dire, emmagasinée. La tension en circuit ouvert (c'est-à-dire en l'absence de charge et par suite de débit) est légèrement supérieure à 2 volts.

Si, entre le pôle positif et le pôle négatif, on branche un circuit extérieur, on obtient un passage de courant provoqué par l'action chimique de l'électrolyte sur la substance active, l'énergie chimique se trouvant ainsi transformée en énergie électrique. Dans ce cas, on dit que la batterie se décharge (figure 7 B). L'électrolyte agit sur le plomb de la plaque négative et sur le peroxyde de plomb de la plaque positive, pour former ensemble le sulfate de plomb.

A l'état de charge, la plaque positive contient du peroxyde de plomb, PbO_2 ; la plaque négative est formée de plomb spongieux Pb et la solution contient de l'acide sulfurique, SO_4H_2 .

A l'état de décharge complète, les deux plaques contiennent du sulfate de plomb $PbSO_4$ et la solution est composée d'eau, H_2O . En effet, pendant la décharge, l'acide contenu dans l'électrolyte diminue progressivement étant utilisé pour produire le sulfate de plomb. Le poids spécifique de la solution diminue jusqu'au

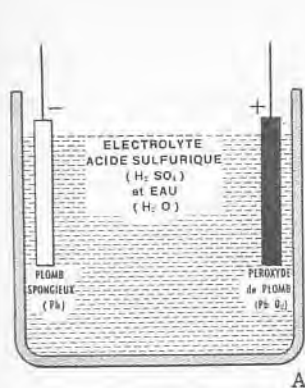


Fig. 7 A - Cellule secondaire complètement chargée: la substance active de la plaque positive est formée de peroxyde de plomb et celle de la plaque négative, de plomb spongieux pur.

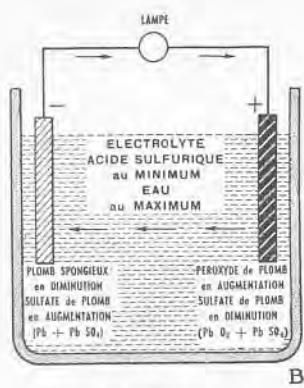


Fig. 7 B - Action de décharge de la batterie (sur une lampe) l'électrolyte agit sur le plomb (plaques négatives) et sur le peroxyde de plomb (plaques positives) pour former le sulfate de plomb.

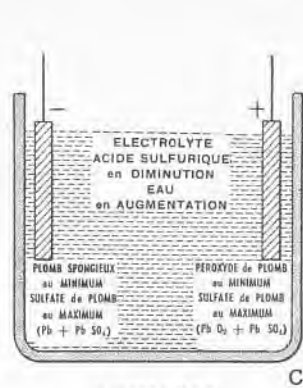


Fig. 7 C - Décharge complète. Les 2 plaques contiennent du sulfate de plomb et la solution est composée d'eau: la quantité de matière active transformée est telle que la cellule ne peut plus produire un courant appréciable.

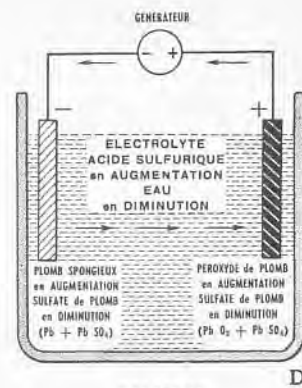


Fig. 7 D - Recharge. Le courant du générateur passe en sens inverse de celui produit pendant la décharge: il a pour effet de retransformer le sulfate de plomb en peroxyde de plomb spongieux.

moment où la quantité de matière active transformée en sulfate de plomb est telle que la cellule ne peut plus produire un courant appréciable pour les besoins pratiques. A ce moment, on dit que la cellule est déchargée (figure 7 - C).

La quantité d'acide sulfurique se combinant à tout instant pendant la décharge, avec les plaques étant en proportion directe avec le nombre d'ampères/heure fournis pendant la décharge (c'est-à-dire le produit de l'intensité du courant en ampères par le temps en heures), la mesure du poids spécifique de l'électrolyte permet de déterminer l'état de charge de l'accumulateur.

Si la cellule déchargée est correctement reliée à une source de courant continu — dont la tension est légèrement plus élevée que celle de la batterie — le courant passe en sens inverse de celui produit pendant la décharge et dans ce cas, on dit que la cellule est en recharge (figure 7 - D). Ce courant de charge a pour effet de retransformer le sulfate de plomb présent sur les deux plaques, en peroxyde de plomb et en plomb spongieux — c'est-à-dire à remettre la cellule dans son état initial. En même temps, l'acide est restitué à la solution électrolyte, ce qui augmente le poids spécifique de celle-ci et, quand la réaction produite par la charge est terminée, ce poids spécifique atteint sa valeur maximum: la cellule est complètement chargée et, par conséquent, prête à être de nouveau utilisée, c'est-à-dire déchargée une nouvelle fois.

Il convient de se rappeler toujours que le fait d'ajouter de l'acide sulfurique à un accumulateur déchargé n'a pas pour effet de le recharger. On augmente ainsi, simplement le poids spécifique de l'électrolyte sans pour autant, transformer le sulfate de plomb déposé sur les plaques, en matière active (plomb spongieux et peroxyde de plomb) et, par suite, sans recharger de ce fait la cellule, la dite recharge ne pouvant être obtenue qu'en faisant passer un courant en sens inverse.

Lorsqu'un accumulateur est sur le point d'être complètement chargé, l'hydrogène H_2 et l'oxygène O_2 , se dégagent sous forme de gaz libérés respectivement sur

l'électrode négative et sur la positive. Ceci se produit lorsque le courant de charge est plus grand que celui qui serait nécessaire pour réduire les petites quantités de sulfate de plomb encore présentes sur les plaques; le courant en excès ionise alors, l'eau de la solution.

Un tel phénomène, lorsqu'il se produit, montre que l'accumulateur a été complètement chargé.

Plaques à alvéoles

Les accumulateurs au plomb peuvent être réalisés avec des plaques de types divers, allant de celles en plomb spongieux (Planté) — figure 8 — à celles, plus légères, comportant des alvéoles remplies de matière active (voir figure 9).

Le premier type nécessite de nombreuses charges et décharges successives lors de sa mise en service, pour former les plaques; le procédé est lent et coûteux. En 1881, Camille Faure apporta en France, un perfectionnement essentiel dans les méthodes de construction des accumulateurs en inventant un type de plaque à alvéoles remplies de matière active pouvant être fabriqué d'une manière beaucoup plus économique. Ce type d'accumulateur est actuellement employé universellement dans la plus grande partie des modèles portatifs. Ils sont construits avec des plaques constituées par des pastilles d'oxyde de plomb maintenues par une armature, en forme de grille, en alliage de plomb et d'antimoine dont le rôle est de maintenir en place la matière active — qui remplit les alvéoles de la grille — et de distribuer le courant, d'une manière uniforme, sur toute la surface.

Lors de la mise en service, on donne aux plaques une charge de formation. Elle se fait en les immergeant dans une solution d'électrolyte et en faisant passer un courant dans le sens convenable, de telle façon que la matière active se transforme en peroxyde de plomb, sur la plaque positive, et en plomb spongieux sur la plaque négative. Ce type de plaque est d'une formation plus facile et moins longue, son poids est inférieur à celui du type Planté qui, par contre, est plus robuste et dure plus longtemps.

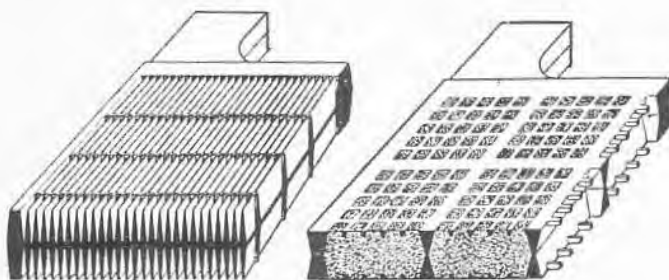


Fig. 8 - Plaque « Plan-té » en plomb spongieux. Elle nécessite de nombreuses charges et décharges pour former les plaques lors de sa mise en service.

Fig. 9 - Plaque avec alvéoles remplis de matière active. La fabrication est plus légère que celle du type précédent.

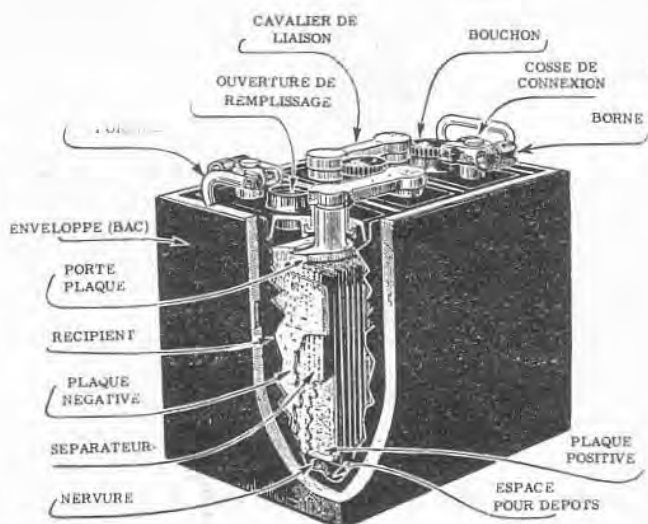


Fig. 10 - Batterie à 3 éléments: indication des diverses parties.

Éléments d'accumulateur

Les plaques peuvent être rassemblées en groupes positifs et négatifs et, lorsque de tels groupes sont réunis en un seul accumulateur (figure 10), celui-ci prend le nom d'élément.

Le nombre des plaques négatives comporte toujours une unité de plus que celui des plaques positives, de manière à ce que les deux côtés de chaque plaque positive participent à la réaction chimique. La matière active de la plaque positive augmente de volume lorsque la batterie est chargée, elle diminue quand elle est déchargée et cette augmentation comme cette contraction doivent être égales des deux côtés de la plaque pour éviter que celle-ci se déforme.

Des séparateurs en bois, en ébonite ou en verre, sont intercalés entre les plaques positives et négatives pour éviter tout contact indésirable (figure 10); ils sont striés verticalement d'un côté et lisses de l'autre. Le côté portant les stries est placé près des plaques positives pour permettre le libre passage de l'électrolyte autour de la matière active.

Les figures 6 et 10 illustrent deux types d'accumulateurs au plomb dans lesquels les bornes positives et négatives sortent à travers le couvercle. Chaque élément comporte une ouverture munie d'un bouchon à vis pour permettre le remplissage du bac et la vérification du niveau; le bouchon, lui-même, est percé d'un petit trou destiné à permettre l'évacuation des gaz qui se produisent pendant la charge.

L'accumulateur portable classique de 6 volts, est formé de trois éléments rassemblés dans un récipient approprié en ébonite (monobloc). Ce récipient, ou bac, ne peut être métallique en raison de l'acidité de l'électrolyte; chaque élément est contenu dans un compartiment séparé des autres par une cloison imperméable, inattaquable par les acides. Les éléments sont reliés en série au moyen de barrettes en alliage de plomb, fixées aux bornes des éléments adjacents par des soudures au plomb fondu. L'espace se trouvant entre la carcasse extérieure et les compartiments renfermant les éléments est rempli d'une substance, résistant à l'acide,

qui maintient les éléments en place et les isole les uns des autres. Cette substance est un mélange de goudron et de matière bitumeuse traité de telle sorte qu'il reste à l'état solide aux températures élevées et ne se fendille pas aux températures les plus basses.

Chaque élément de la batterie est rempli d'électrolyte formé d'acide sulfurique concentré et d'eau distillée; il facilite le passage du courant entre les plaques positives et négatives et provoque les réactions chimiques, dont nous avons déjà parlé, sur la matière active des plaques.

Accumulateurs au fer-nickel

Ce type d'accumulateur, appelé également cellule Edison, est constitué par des électrodes positives en oxyde de nickel et des électrodes négatives en poudre de fer comprimée plongées dans un électrolyte à base d'hydroxyde de potassium. Ce type d'élément a une capacité, en kilowatts/heure par kilogramme de poids total, plus grande que celui au plomb et il peut rester chargé ou déchargé pendant un temps illimité sans subir aucune détérioration. Par contre, une évaporation se produit pendant la décharge et la tension de chacun des éléments n'est que de 1,2 volt en fonctionnement, soit seulement à peu près la moitié de celle fournie par un accumulateur au plomb. L'accumulateur au fer-nickel présente en outre, une résistance interne plus grande et celle-ci augmente quand la température baisse.

Accumulateurs au cadmium-nickel

C'est un nouveau type développé et perfectionné ces dernières années pour l'utilisation sur avion et dans tous les cas où une réduction du poids est un facteur important. Etant basé sur des réactions alcalines, il remédie aux principaux défauts constatés sur ceux du type Edison.

Ils comportent vingt éléments réunis en série, fournissant une tension de 24 volts; ils sont enfermés dans un bac en acier inoxydable. L'électrolyte se présente sous la forme d'une pâte et chaque élément est hermétiquement fermé. Une fois scellés, ces accumulateurs ne demandent plus aucun entretien comme, par exem-



Fig. 11 - Densimètre à pipette pour contrôler le poids spécifique d'une solution. La position du flotteur indique la densité de l'électrolyte.

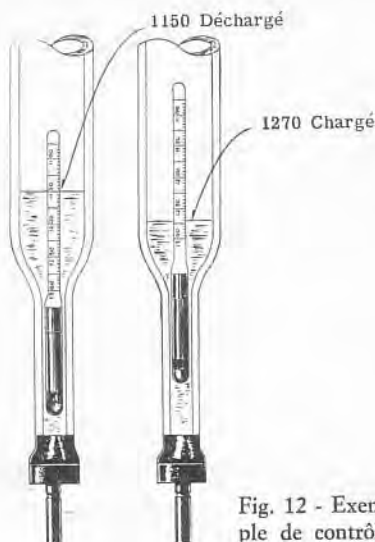


Fig. 12 - Exemple de contrôle au densimètre.

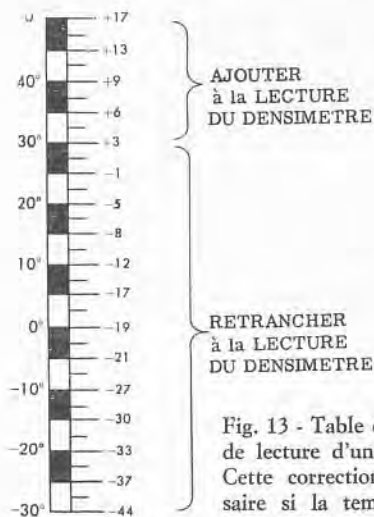


Fig. 13 - Table de correction de lecture d'un densimètre. Cette correction est nécessaire si la température de la solution est supérieure ou inférieure à 27 °C.

ple, adjonction d'eau distillée ou vérification du poids spécifique de la solution. Le courant fourni est égal à celui que peut donner l'accumulateur au plomb avec cette différence que l'autonomie se trouve presque doublée.

Le POIDS SPECIFIQUE

Le poids spécifique exprime le rapport entre le poids d'un volume quelconque d'un liquide et le poids d'un volume égal d'eau. On est convenu que le poids spécifique de l'eau distillée est 1; une substance pesante, à volume égal, deux fois et demie plus que l'eau a donc un poids spécifique de 2,5. L'acide sulfurique non dilué, pour accumulateurs, a un poids spécifique de 1,835.

Le poids spécifique d'une solution d'acide sulfurique dilué dans l'eau varie avec la densité de la solution, et au fur et à mesure que la batterie se décharge, l'électrolyte devient moins lourd (il ne reste que l'eau): cela constitue, un moyen commode pour déterminer le degré de charge. La solution normalement employée dans les accumulateurs a un poids spécifique de 1,3.

L'acide sulfurique étant un liquide lourd, plus sa proportion par rapport à l'eau sera grande, plus grand sera le poids spécifique de la solution.

Le poids spécifique de l'électrolyte d'une batterie complètement chargée varie entre 1,27 et 1,30, tandis que complètement déchargée, il descend à 1,15.

On mesure le poids spécifique d'un électrolyte au moyen d'un **densimètre** à pipette, représenté sur la figure 11. On aspire un peu de la solution dans le tube de verre contenant un flotteur gradué, formé d'un petit tube de verre rempli d'air, avec un col assez long et lesté à l'une de ses extrémités.

L'échelle portée le long du col est graduée de 1,10 à 1,30. Le flotteur prend une position qui dépend de la densité de l'électrolyte, il sera plus ou moins immergé selon que la densité du liquide sera faible ou grande (figure 12).

Après avoir effectué la lecture, on pressera sur la poire en caoutchouc pour remettre à nouveau dans l'élément le liquide prélevé pour la mesure.

Le poids spécifique (p.s.) de l'électrolyte est également fonction de sa température, il diminue quand la solution est chaude, et inversement. Si la température de la batterie diffère notablement de celle de 27°C (température base), il faut corriger la lecture faite sur le densimètre, (figure 13), en ajoutant ou en retranchant un millième pour chaque 1,5 degré respectivement en plus ou en moins, par rapport à la température de base de 27 °C.

Considérons les deux exemples ci-dessous:

Si à la température de 36 °C on mesure un poids spécifique de 1,210, le poids spécifique réel est de $1,210 + 0,006 = 1,216$ à 27 °C.

Si à la température de 18 °C la mesure donne 1,280, le poids spécifique à la température de 27 °C sera de $1,280 - 0,006 = 1,274$.

Dans une batterie d'accumulateurs, l'électrolyte doit être à son niveau normal au moment de la mesure, parce que si le niveau est inférieur, la densité sera trop forte, tandis qu'on la trouvera trop faible si le niveau est trop élevé.

La tension à circuit ouvert (c'est-à-dire tension mesurée sans courant de décharge), d'un élément dont l'électrolyte a un poids spécifique de 1,28, est d'environ 2,1 volts. Quand on connecte une charge, la tension peut descendre à 2 volts, ou même moins en raison de la résistance interne de l'élément.

COMPOSITION des ELECTROLYTES

L'électrolyte d'une batterie complètement chargée contient 38% de son poids d'acide sulfurique, correspondant à 27% du volume total de la solution pour la préparation de laquelle on utilise exclusivement de l'eau distillée. Parfois, les batteries neuves sont livrées accompagnées de récipients en verre, **terre réfractaire**, en ébonite ou plomb, contenant de l'acide sulfurique concentré d'un poids spécifique de 1,835 ou d'électrolyte d'un poids spécifique de 1,40. On doit y ajouter, alors, une quantité d'eau distillée suffisante pour obtenir le poids spécifique recommandé.

Lors de la préparation de l'électrolyte, il faut tou-

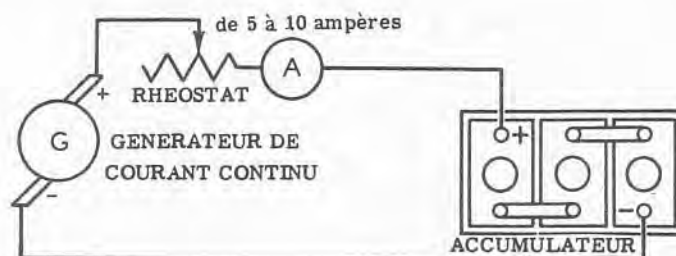


Fig. 14 - Circuit employé pour la charge d'un accumulateur ou d'une batterie d'accumulateurs. On utilise un générateur de courant continu, un rhéostat qui règle l'intensité du courant et un ampèremètre qui la contrôle. La durée de la charge dépend de l'intensité du courant fournie par le générateur, qui ne doit pas être trop forte pour éviter d'endommager les plaques par des réactions chimiques trop violentes.

jours verser l'acide dans l'eau et jamais l'eau dans l'acide, et procéder très lentement afin d'éviter un dégagement excessif de chaleur et les éclaboussures d'acide qui peuvent être extrêmement dangereuses pour l'opérateur. On doit également prendre la précaution d'agiter continuellement la solution avec une baguette non métallique pour faciliter le mélange de l'acide, plus lourd avec l'eau plus légère, et éviter que le premier se dépose au fond du récipient. Quand l'acide est bien dilué, la solution se réchauffe notablement.

CAPACITE d'un ACCUMULATEUR

Comme nous l'avons dit précédemment, la capacité d'un accumulateur s'évalue en ampères/heures (Ah), qui équivaut au produit de l'intensité du courant en ampères et du temps pendant lequel ce courant peut être fourni par la batterie. Cette capacité varie en fonction inverse du courant de décharge. Les dimensions d'un élément sont déterminées généralement en tenant compte de la capacité demandée, laquelle dépend à son tour, de divers facteurs dont les plus importants sont: (1) la surface des plaques en contact avec l'électrolyte, (2) la quantité et le poids spécifique de celui-ci, (3) le type de séparateurs employés, (4) l'état général de la batterie (degrés de sulfatation, perforation des plaques, corrosion des séparateurs, dépôts dans le fond du bac...) et (5) de la tension en fin de décharge.

CHARGE

Il n'est pas nécessaire de recharger la batterie chaque fois que le poids spécifique de la solution diminue de quelques points, car, si la batterie est surchargée, il se produit une quantité excessive de gaz amenant une usure prématurée de la matière active constituant les plaques.

Par contre, lorsque le poids spécifique de l'électrolyte d'une batterie utilisée d'une manière intermittente descend à 1,18, alors que chargée il varie entre 1,21 et 1,22, l'accumulateur doit être rechargé. Une batterie complètement déchargée, dans laquelle l'électrolyte a un poids spécifique de l'ordre de 1,06, doit être toujours

rechargée à fond immédiatement.

Temps de charge

Une batterie doit être chargée suivant les indications données par le constructeur, et, en l'absence de celles-ci, en suivant les renseignements fournis par les tableaux de charge relatifs aux divers types d'accumulateur (figure 14). Il faut en outre, se rappeler qu'en aucun cas la charge ne doit être poursuivie jusqu'au point où se manifeste une violente ébullition avec dégagement de gaz et que la température de l'électrolyte ne doit pas dépasser 52 °C.

La charge sera poursuivie jusqu'au moment où la batterie se trouvera complètement chargée. Il sera nécessaire de contrôler fréquemment le poids spécifique de la solution et ces mesures devront être corrigées en fonction de la température (sur la base de 27 °C) et comparées à celle obtenue avant le commencement de la charge. Si l'on connaît l'augmentation du poids spécifique en points par ampère/heure, le temps approximativement nécessaire pour une charge complète est donné par:

$$\frac{\text{charge complète} \times \text{par régime de charge en ampères}}{\text{augmentation du poids spécifique (en points par Ah)}}$$

Dégagement de gaz

Quand une batterie est en charge, une partie de l'énergie fournie est dissipée par l'électrolyse de l'eau faisant partie de l'électrolyte, si bien que l'hydrogène est dégagé par l'électrode négative et l'oxygène par l'électrode positive; ces gaz bouillonnent dans le liquide et montent à la surface pour diffuser dans l'air. Si un tel dégagement gazeux se produit dès que la batterie est mise en charge cela signifie que le régime de charge est excessif. Si le régime de charge est correct, l'ébullition ne doit se produire que lorsque la batterie est complètement chargée.

Le mélange d'hydrogène et d'air étant dangereux, car il forme un explosif, il convient d'éviter la présence de cigarette allumée, d'étincelles électriques ou de flamme à proximité d'une batterie en charge.

SYMBOLES - ABREVIATIONS

Ah	= ampère-heure
CV	= cheval = 736 watts
E	= tension, voltage (en volts, mV, etc)
G	= conductance en mho
HP	= Horse Power = Cheval
kWh	= kilowatt-heure = 1 000 watts à l'heure
mho	= unité de conductance
Mwh	= mégawatt-heure = 10 000 kWh
P	= puissance (en watts)
Wh	= watt-heure
X	= axe horizontal dans les graphiques
Y	= axe vertical dans les graphiques
μ mho	= micromho = 1/1 000 000 de mho
$\bar{O}$	= symbole de mho

FORMULES

E	= $I \times R$
E	= $P : I$
E	= $\sqrt{P \times R}$
G	= $1 : R$
I	= $E \times G$
I	= $E : R$
I	= $P : E$
I	= $\sqrt{P : R}$
P	= $E \times I$
P	= $E^2 : R$
P	= $R \times I^2$
R	= $E : I$
R	= $E^2 : P$
R	= $P : I^2$
W	= $E \times I \times t$
W	= $(E^2 : R) t$
W	= $I^2 \times R \times t$
W	= $P \times t$
W	= $Q \times E$

SYMBOLES SCHEMATIQUES

	= Générateur de courant continu
	= Générateur de courant continu
	= Lampe à incandescence

QUESTIONS sur les LEÇONS N°s 10 et 11

N. 1 —

Combien de types de circuits existe-t-il ?

N. 2 —

Quelle est la tension aux bornes d'une résistance de 15 k Ω , si l'intensité du courant qui la traverse est de 35 milliampères ?

N. 3 —

Qu'entend-on par « conductance » ?

N. 4 —

Un fer à repasser électrique dissipe une puissance de 900 watts, sous une tension de 110 V. Déterminez l'intensité du courant qui passe dans la résistance.

N. 5 —

Quelle est la conductance, en mho, d'une résistance parcourue par un courant de 0,25 ampère sous une tension de 110 volts ?

N. 6 —

Qu'entend-on par « kilowatt-heure » ?

N. 7 —

Trois résistances: R1 de 35 ohms, R2 et R3 de valeurs inconnues sont branchées en série et, aux deux extrémités de la chaîne, on applique une tension de 120 V. En supposant que la chute de tension aux bornes de R2 soit de 30 V et que l'intensité du courant soit de 1,5 A, déterminez: a) la résistance de R2, b) la résistance de R3, c) la puissance totale dissipée, d) la chute de tension aux bornes de R1 et f) la conductance totale du circuit en micromho.

N. 8 —

Quelle est la différence entre une cellule primaire et une cellule secondaire ?

N. 9 —

Vers quelle électrode se dirigent les ions négatifs dans une cellule secondaire en charge ?

N. 10 —

Quels sont les effets de la polarisation sur la résistance interne, sur la tension et sur l'intensité du courant fourni par une pile sèche ?

N. 11 —

Quel rôle joue le bioxyde de manganèse dans une pile sèche ?

N. 12 —

Si dix piles de 1,5 V sont reliées en série, quelle sera la tension obtenue ? Quelle sera l'intensité maximum du courant disponible si chaque pile peut débiter 1 ampère ?

N. 13 —

Durant la charge d'un accumulateur, le poids spécifique de son électrolyte augmente-t-il ou diminue-t-il ?

N. 14 —

Pourquoi les bouchons des éléments d'un accumulateur sont-ils percés d'un trou ?

REPONSES aux QUESTIONS de la p. 67

N. 1 - La réception simultanée de deux ou plusieurs émetteurs, provoquée par la mauvaise sélectivité du récepteur.

N. 2 - Trois: l'alimentation, l'oscillateur et le modulateur. L'ensemble rayonnant, c'est-à-dire l'antenne, peut être considéré comme une quatrième section de l'émetteur.

N. 3 - C'est une partie d'un appareil électronique, d'un émetteur ou d'un récepteur, dans laquelle le signal entre et ressort après avoir subi une modification dans sa forme, son amplitude ou sa fréquence.

N. 4 - La détection, c'est-à-dire la séparation de la modulation de l'onde porteuse.

N. 5 - Un conducteur enroulé en spires isolées les unes des autres. Son rôle consiste à former une inductance, c'est-à-dire à créer un champ magnétique qui sera fonction des courants qui le parcourront.

N. 6 - D'augmenter ou de diminuer l'inductance selon qu'il est plus ou moins enfoncé dans l'enroulement.

N. 7 - De deux armatures, simples ou multiples, formées de matériaux conducteurs, placées face à face sans se toucher. Son rôle est de former une capacité, c'est-à-dire d'emmagasiner de l'énergie électrique.

N. 8 - Quand il est constitué par une armature fixe et une armature mobile dont la rotation fait varier la valeur de la capacité.

N. 9 - L'aimant permanent, l'enroulement et la membrane vibrante.

N. 10 - Celui de maintenir la membrane légèrement concave (c'est-à-dire de l'attirer), même en l'absence de signal. De cette façon, elle peut suivre aussi bien les alternances négatives que positives.

N. 11 - Celui de détecter, séparant ainsi les fréquences de la modulation de la haute-fréquence porteuse.

N. 12 - Elle est basée sur l'action du cristal: celui-ci ne permet le passage du courant que dans un seul sens, ainsi après le passage, une seule alternance subsiste.

N. 13 - Il faut que la courbe de résonance du ou des circuits soit « pointue », ainsi, une fois l'accord effectué, une seule bande étroite de fréquence peut passer.

N. 14 - En augmentant le nombre de circuits accordés.

N. 15 - Pour éliminer la haute-fréquence, restant présente à la sortie du détecteur, en la dérivant à la masse.

N. 16 - De trois façon: en faisant varier la capacité d'accord, ou l'inductance ou, encore, en les faisant varier toutes les deux.

N. 17 - Parce que chaque circuit accordé, qu'il soit simple ou à transformateur, provoque une diminution de l'amplitude du signal, par suite de la résistance ohmique des inductances.

N. 18 - Pour éviter que les capacités et inductances parasites des connexions ne perturbent le fonctionnement.

TAB. 21 - CONSTANTES PHYSIQUES DES METAUX

METAUX	Résistance en ohm/mm ²	Poids spéc. en g/cm ³	Température de fusion en °C	Augm. de la résist. par °C
Aluminium	0,028	2,70	660	0,430
Antimoine	0,410	6,62	630	0,360
Argent	0,385	8,45	998	0,036
Argent	0,016	10,50	960	0,377
Béryllium	0,100	1,85	1 280	0,400
Bismuth	1,200	9,80	270	0,400
Bronze	0,175	8,50	905	0,390
Bronze phosphoreux	0,080	8,82	1 050	0,400
Cadmium	0,075	8,64	321	0,470
Cobalt	0,110	8,85	1 480	0,360
Constantan (55/45)	0,500	8,92	1 210	0,010
Chrome	0,925	7,10	1 820	0,510
Cuivre	0,0175	8,89	1 083	0,400
Duraluminium	0,055	2,80	655	0,455
Electron (métal)	0,065	1,87	652	0,380
Etain	0,120	7,38	231	0,450
Etain-Plomb (60/40)	0,135	9,90	238	0,465
Fer doux	0,148	7,85	1 350	0,620
Fer-Nikel (75/25)	0,900	8,02	1 348	0,635
Fonte	0,6 - 1,6	7,35	1 210	—
Laiton	0,073	8,47	920	0,388
Lithium	0,098	0,54	180	0,680
Magnésium	3,750	1,74	649	0,425
Manganine	0,440	8,50	1 200	0,000
Mercure	0,958	13,55	-38,9	0,090
Molybdène	0,052	10,20	2 630	0,035
Nickel	0,080	8,85	1 452	0,620
Nickel-Chrome (80/20)	1,020	8,30	1 353	0,750
Or	0,023	19,32	1 063	0,400
Plomb	0,212	11,37	327	0,430
Platine	0,985	21,40	1 771	0,360
Sélénium	—	4,90	221	—
Silicium	0,595	2,35	1 416	—
Tantale	0,152	16,60	3 030	0,310
Tellure	—	6,25	453	—
Titane	—	4,50	800	—
Tungstène	0,055	19,15	3 370	0,450
Uranium	—	18,70	1 695	—
Vanadium	0,061	5,70	1 820	—
Zinc	0,062	7,14	419	0,370

TABLEAU 22 - LISTE ET CARACTERISTIQUES DES PILES USUELLES

Nom	Catégorie	Type	Electrode positive	Electrode négative	Electrolyte	Dépolarisant	F.E.M. volt
Au Bichromate	Normale	Liquide	Charbon	Zn amalg.	Acide sulfurique	Bichrom. de Pot.	2 (env.)
Bunsen	»	»	»	»	»	Acide nitrique	1,8 »
Bunsen	»	»	»	»	Acide chromique	»	2 »
Daniel	»	»	Cuivre	»	Acide sulfurique	Sulfate de Cu	1 »
Daniel (Kelwin)	Etalon	»	»	»	Sulf. Cu et Zn	»	1,072
Fery Oxair	Normale	Sèche	Charbon	»	Chlorure d'Amm.	Oxygène	1,3 (env.)
Latimer Clark	Etalon	»	Mercure	»	Sulf. de Merc. et de Zinc	»	1,43
Leclanché	Normale	»	Charbon	»	Chlorure d'Amm.	Bioxyde de Mn	1,5 (env.)
Volta	»	Liquide	Cuivre	Zinc	Acide sulfurique	»	1 »
Weston	Etalon	Sèche	Mercure	Zn amalg.	Sulf. de Merc. et de Cadmium	»	1,0188
Weston	Normale	»	»	»	Sulf. de Merc. et de Cadm. (avec Cadm. en excès)	»	1,0183

Comme d'habitude, nous publions, dans cette leçon, des tableaux se rapportant aux études développées dans ce fascicule - ci ou concernant certains sujets déjà traités ou que nous traiterons par la suite.

Le tableau 21 donnant les constantes physiques des métaux et des alliages usuels, se montrera utile lorsque nous devrons étudier la résistance électrique spécifique, ses variations en fonction de la température, ainsi que les autres caractéristiques importantes des divers métaux employés en électronique. Il nous aidera, par exemple, à comprendre pourquoi la résistance ohmique du filament d'une lampe d'éclairage varie selon que ce filament est porté à l'incandescence ou qu'il est froid.

En outre, il pourra se présenter certains cas dans lesquels nous devrons déterminer le poids d'un élément métallique connaissant son volume ou la température de fusion, qui ne devra pas être atteinte ou dépassée, pour des raisons évidentes de sécurité.

Le tableau 22 donne la liste des types des principales piles usuelles, ainsi que leurs caractéristiques. Certains des types énumérés portent la notation « étalon » — dans la colonne catégorie — et il convient d'éclaircir le sens de cette appellation.

Dans certains cas, pour faire des mesures ou pour atteindre certains résultats précis, il est indispensable de pouvoir disposer d'une source de courant dont la tension (d.d.p.) soit rigoureusement constante et connue. On utilise, alors, les piles étalons qui se différencient des piles normales par les détails suivants. Tout d'abord, les matières entrant dans leur fabrication sont choisies parmi celles qui sont les moins sensibles aux variations de la température — c'est-à-dire celles qui fourniront une tension constante malgré les variations de la température ambiante — et, en second lieu, elles fournissent un courant plus faible que les piles normales, car elles ne sont pas prévues pour chauffer un filament, ou alimenter une lampe portative, c'est-à-dire alimenter un circuit ayant une consommation importante, mais, bien au contraire, elles ont uniquement pour mission de fournir, pour un temps limité, une

tension constante servant soit à comparer une autre tension, soit à produire un phénomène déterminé. Il existe, par exemple, dans les hôpitaux certains appareils de mesure nécessitant, pour leur fonctionnement, une source de tension constante, dite « tension de référence », avec laquelle on peut comparer les courants produits par les muscles en mouvement: c'est le cas des électro-cardiographes que nous étudierons, en temps voulu, dans les leçons consacrées aux différentes applications de l'électronique.

Dans la sixième leçon nous avons reproduit un tableau permettant de déterminer, a priori, l'intensité maximum admissible dans une résistance donnée, connaissant sa valeur ohmique et sa puissance nominale. Ce tableau est complété par celui ci-après, tableau 23, avec lequel il est possible de déterminer, à l'avance, la tension maximum applicable aux bornes d'une résistance donnée. Ce tableau 23 a été établi à l'aide de la formule donnant la tension en fonction de la résistance et de la puissance, soit:

$$E \text{ (tension)} = \sqrt{\text{puissance} \times \text{résistance}}$$

ou, également, de la formule:

$$E = \text{puissance} : \text{intensité}$$

Comme nous l'apprend la loi d'Ohm, la tension, l'intensité, la résistance et la puissance, dans un circuit simple, sont en étroite relation: si nous faisons varier une seule de ces valeurs, au moins une autre d'entre elles variera immédiatement. Il est donc possible, en se fixant des valeurs déterminées pour la résistance ohmique et la puissance (dissipation nominale) de déterminer, grâce à cette table, quelle sera la tension maximum qui, appliquée aux bornes de cette résistance, provoquera le passage de l'intensité maximum prévue dans le tableau de la leçon n. 6, page 46. Ces tableaux seront très utiles au lecteur qui commence à s'initier aux réalisations pratiques et aux premières études de circuits électroniques, car il aura, ainsi, la possibilité de déterminer la puissance qui devra être prévue pour chaque résistance pour éviter leur échauffement ou

TABLEAU 23 - TENSION MAXIMUM EN VOLTS ADMISSIBLE AUX BORNES D'UNE RESISTANCE

VALEUR de R	1/8 W	1/4 W	1/2 W	1 W	2 W	3 W	5 W	10 W	20 W
50	2,5	3,5	5,0	7,0	10,0	12,2	15,6	22,4	31,6
100	3,5	5,0	7,0	10,0	14,1	17,3	22,4	31,6	44,7
150	4,3	6,1	8,6	12,2	17,3	21,2	27,4	38,7	54,7
200	5,0	7,1	10,0	14,1	20,0	24,5	31,6	44,7	63,2
250	5,6	7,9	11,2	15,8	22,4	27,4	35,4	50,0	70,0
300	6,1	8,6	12,5	17,3	24,5	30,0	38,7	54,7	77,5
350	6,6	8,7	13,4	18,7	26,5	32,4	41,8	59,2	83,5
400	7,0	10,0	14,1	20,0	28,3	34,7	44,7	63,2	89,2
450	7,5	10,8	15,0	21,2	30,0	36,7	47,5	67,2	95,0
500	7,9	11,2	15,8	22,4	31,6	38,7	50,0	70,0	100,0
600	8,6	12,5	17,3	24,5	34,6	42,4	54,7	77,5	110,0
700	8,7	13,4	18,7	26,5	37,4	45,8	59,2	83,5	118,0
800	10,0	14,1	20,0	28,3	40,0	49,0	63,2	89,2	126,5
900	10,6	15,0	21,2	30,0	42,5	52,0	67,2	95,0	134,5
1.000	11,2	15,8	22,4	31,6	44,7	54,7	70,0	100,0	141,4
1.500	13,7	19,4	27,4	38,7	54,5	67,4	86,5	122,5	173,0
2.000	15,8	22,4	31,6	44,7	63,2	77,5	100,0	141,4	200,0
2.500	17,7	25,0	35,4	50,0	70,0	86,5	112,0	156,0	224,0
3.000	19,4	27,4	38,7	54,7	77,5	95,0	122,5	173,0	245,0
3.500	20,9	29,6	41,6	59,2	83,6	102,5	132,5	187,0	265,0
4.000	22,4	31,6	44,7	63,2	89,5	109,5	141,4	200,0	283,0
4.500	23,7	33,5	47,4	67,0	95,0	115,5	150,0	212,0	300,0
5.000	25,0	35,4	50,0	70,0	100,0	122,5	156,0	224,0	316,2
6.000	27,4	38,7	55,5	78,5	109,5	134,0	173,0	245,0	346,0
7.000	29,6	41,6	59,0	83,5	118,2	145,0	187,0	265,0	374,0
8.000	31,6	44,7	64,0	89,5	126,5	155,0	200,0	283,0	400,0
9.000	33,5	47,4	68,5	95,0	134,5	164,5	212,0	300,0	425,0
10.000	35,4	50,0	70,7	100,0	141,4	173,5	224,0	316,2	447,5
11.000	37,1	53,0	74,0	105,0	148,2	181,5	235,0	331,0	468,0
12.000	38,7	55,5	77,5	109,5	155,0	189,5	245,0	346,0	490,0
13.000	40,3	57,5	80,0	114,0	161,0	197,5	255,0	360,0	510,0
14.000	41,6	59,0	83,0	118,2	167,3	205,0	265,0	374,0	528,0
15.000	43,2	61,2	86,5	122,5	173,5	212,0	274,0	387,5	547,0
16.000	44,7	64,0	89,5	126,5	178,8	219,0	283,0	400,0	565,0
17.000	46,1	67,5	92,0	130,5	184,5	226,0	291,5	412,0	582,5
18.000	47,4	68,5	95,0	134,0	189,5	232,5	300,0	425,0	600,0
19.000	48,7	69,5	97,5	137,8	195,0	239,0	308,0	436,0	615,0
20.000	50,0	70,7	100,0	141,4	200,0	245,0	316,2	447,5	632,5
25.000	56,0	79,5	112,0	158,0	224,0	274,0	345,0	500,0	708,0
30.000	61,2	86,2	122,5	173,0	245,0	300,0	387,5	547,0	775,0
40.000	70,7	100,0	141,4	200,0	283,0	347,0	447,0	632,5	895,0
50.000	79,0	112,0	158,0	224,0	316,0	387,0	500,0	708,0	1.000,0
75.000	96,9	137,0	194,0	274,0	387,0	475,0	612,0	865,0	1.225,0
100.000	112,0	158,0	224,0	316,0	447,0	547,0	700,7	1.000,0	1.414,0
150.000	137,0	194,0	274,0	337,0	547,0	670,0	865,5	1.225,0	1.730,0
200.000	158,0	224,0	316,0	447,0	632,0	774,0	1.000,0	1.414,0	2.000,0
250.000	177,0	250,0	354,0	500,0	707,0	865,0	1.120,0	1.560,0	2.240,0
300.000	194,0	275,0	388,0	547,0	774,0	950,0	1.225,0	1.730,0	2.450,0
400.000	224,0	320,0	447,0	632,5	894,0	1.100,0	1.414,0	2.000,0	2.840,0
500.000	250,0	354,0	500,0	707,0	1.000,0	1.225,0	1.560,0	2.240,0	3.162,0
1 Mohm	354,0	500,0	715,0	1.000,0	1.410,0	1.735,0	2.240,0	3.162,0	4.470,0
2 »	500,0	715,0	1.000,0	1.410,0	2.000,0	2.450,0	3.162,0	4.470,0	6.320,0
5 »	790,0	1.120,0	1.580,0	2.410,0	3.160,0	3.870,0	5.000,0	7.070,0	10.000,0
10 »	1.120,0	1.580,0	2.240,0	3.160,0	4.460,0	5.470,0	7.007,0	10.000,0	14.150,0

TABLEAU 24 - ANALOGIES ENTRE TERMES ET UNITES HYDRAULIQUES ET ELECTRIQUES

HYDRAULIQUE			ELECTRICITE					
Désignation	Unité de mesure	Système de contrôle	Désignation	Unité de mesure	Système de contrôle	Appareil de mesure	Symboles	Rapport avec la loi d'Ohm
Pression	Poids par unité de superficie kg/cm ²	Pompe	Force électromotrice	Volt	C.C. Pile Général. C.A. Alternat. Transfor.	Voltmètre	E = tension appliquée e = chute de tension	Intens. $\times$ Résistance $I \times R$
Courant	Débit en litres/s.	Robinet Soupape	Intensité	Ampère	Rhéostat Potent. Interrup.	Ampèrem.	I = Intensité	Tension Résistance E : R
Résistance	Frottement	Traction Torsion Frottement	Résistance	Ohm	Longueur Section Matière	Ohmmètre Pont	R = Résistance	Tension Intensité E : I
Puissance	Cheval	Pression du jet	Puissance	CV, HP, Watt. etc.	Tension et Intensité	Wattmètre	P = Puissance W = Watt VA = Volt-Ampère	E $\times$ I I ² $\times$ R E ² : R
Energie	Cheval par heure	Puissance et temps	Energie	Watt/s. Watt/heure etc...	Puissance et temps	Compteur	j = watt/s wh = watt/h kwh = kilow/h	P $\times$ T

leur destruction provoqués par le passage d'une trop grande intensité.

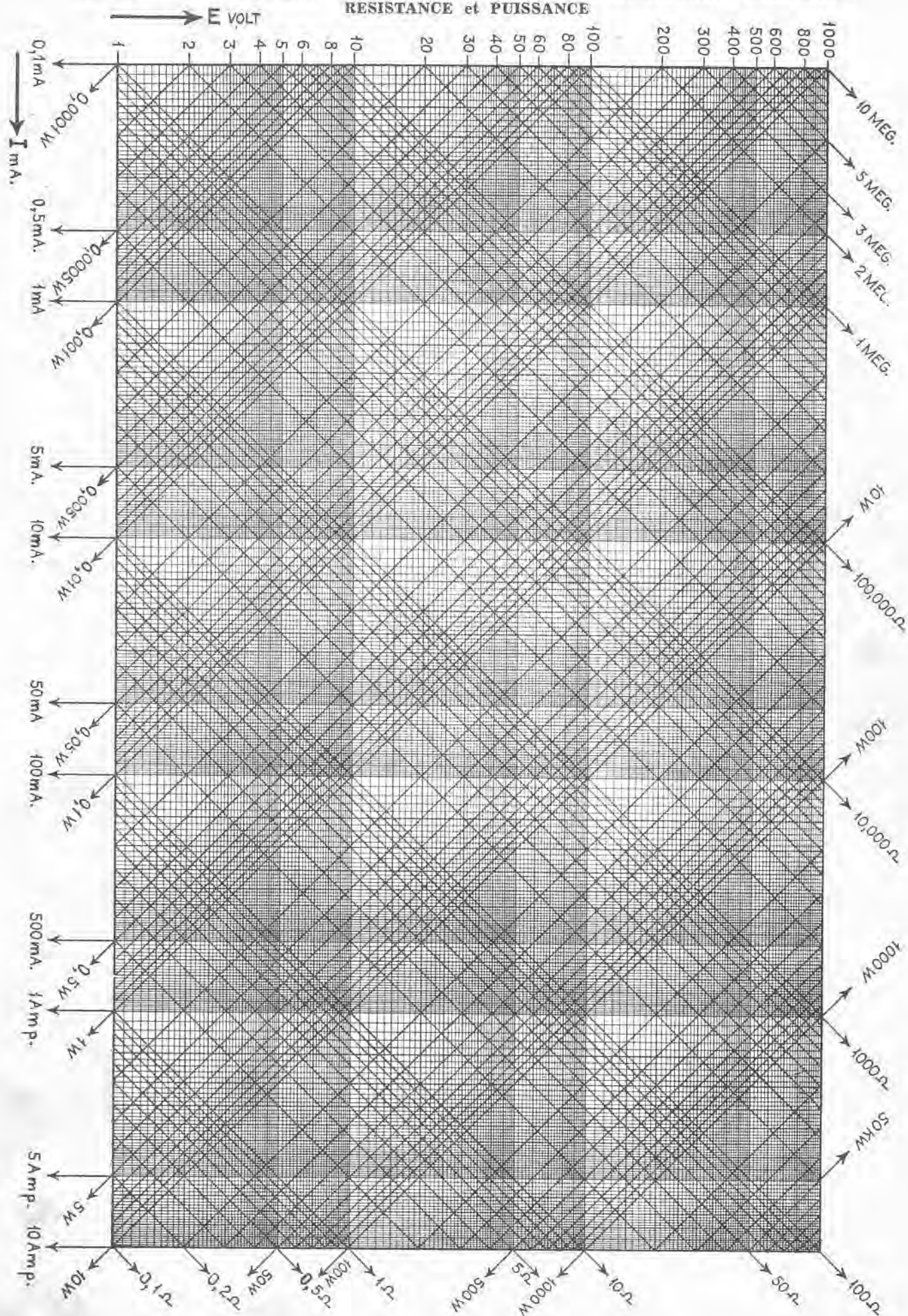
Le tableau 24, publié ici, a pour but d'éclaircir définitivement les principes de base des phénomènes électriques au moyen de l'analogie, bien connue, du passage de l'eau dans les canalisations. En se reportant à ce tableau, le lecteur qui n'est pas encore familiarisé avec les concepts généraux de volt, ampère, ohm, watt, etc... pourra voir leur analogie respective avec la pression, le débit, le frottement, la puissance, etc... Il est bon de préciser, que dès à présent, nous considérerons que ces principes sont définitivement acquis, leur exacte connaissance formant la base de tous les développements futurs. Dans la colonne « Appareils de mesure » sont indiqués certains instruments comme, par exemple, « voltmètre, ohmmètre »,... dont nous n'avons pas encore parlé. Le terme « mètre », dérivé du grec, signifie « mesure »; étant ajouté à la suite d'un autre terme exprimant une quantité, il compose le nom de l'appareil servant à mesurer cette quantité. De même que le « chronomètre » (chronos - temps) est un instrument servant à mesurer le temps, le voltmètre sert à mesurer les volts, c'est-à-dire une tension; l'ohmmètre, la résistance, etc... Nous étudierons ces instruments en détail par la suite.

Le graphique de la page 96 (Tableau 25) est d'une importance fondamentale lorsqu'on veut établir le projet d'un circuit électronique sans recourir, chaque fois, aux formules de la loi d'Ohm. Il donne, avec une approximation suffisante, toutes les relations entre tension, intensité, résistance et puissance. Supposons, par exemple, que nous devions étudier un circuit qui, alimenté par une tension de 150 volts, doit être parcouru par un courant d'une intensité de 15 mA. Le graphique, de forme rectangulaire, sera orienté de telle sorte que

le côté portant « I mA » serve de base. On repère sur la verticale gauche la tension 150 V et on suit la ligne horizontale ainsi repérée jusqu'à sa rencontre avec la coordonnée verticale partant du point 15 mA. Le point d'intersection des deux coordonnées est situé sur une diagonale inclinée vers la droite correspondant à la valeur ohmique de 10 000 ohms, lue sur le côté horizontal supérieur. Si nous voulons aussi connaître la dissipation, en watts, de ce circuit, nous n'aurons qu'à repérer la droite inclinée vers la gauche passant par le même point, en un point situé entre 2 et 3 watts, plus près de 2. Ceci signifie que la puissance dissipée est de l'ordre de 2,25 watts.

Avec un peu d'attention, l'emploi de ce graphique ne présente aucune difficulté: pour la commodité du dessin, une partie des valeurs a été inscrite à une extrémité des diagonales et une autre partie à l'extrémité opposée. En outre, il n'a pas été possible de tracer toutes les lignes intermédiaires; chaque fois que l'on rencontrera une valeur ne correspondant à aucune ligne, il conviendra de tracer une ligne imaginaire au moyen d'une règle ou d'une équerre, ainsi que nous l'avons fait dans le cas considéré plus haut pour trouver la dissipation (2,25 W). On peut également ajouter que le graphique est réversible en tous sens, puisqu'il permet de déterminer la tension et la puissance en connaissant l'intensité et la résistance; la tension et la résistance en connaissant la dissipation et l'intensité; etc... En d'autres termes, il suffit de connaître deux valeurs indiquées pour trouver les deux autres en se servant du graphique. Les échelles peuvent être étendues, conformément au système décimal, en multipliant ou en divisant les valeurs de 10, selon qu'elles soient directement ou inversement proportionnelles.

TABLEAU 25 — GRAPHIQUE DONNANT LES RELATIONS ENTRE TENSION - INTENSITE -
RESISTANCE et PUISSANCE



Notre COURS DE TECHNIQUE RADIO

vous apportera
chaque année :

52 leçons et exposés théoriques

52 leçons de technique appliquée

52 leçons de réalisations pratiques, de schémas et de références

52 exercices de révision, avec réponses aux questions posées

Un Dictionnaire Anglais-Français d'Électronique, etc...

soit un total de plus de 1 872 pages de texte, figures ou tableaux, dans lesquelles seront traités, entre autres sujets :

Les transistors, les organes les plus récents, les plus révolutionnaires parmi les réalisations de l'Électronique. L'emploi des transistors s'étend rapidement : de très nombreux récepteurs et amplificateurs du commerce en sont dotés et leur nombre est, indubitablement, destiné à aller croissant car, de plus en plus, les transistors remplaceront les lampes thermoniques. Il est, en conséquence, nécessaire que le radiotechnicien les connaisse, sache les utiliser, se rende compte pourquoi et comment ils diffèrent d'une lampe, soit tenu au courant des divers types et de leurs caractéristiques. Nous décrirons de nombreux montages de récepteurs, d'émetteurs et de dispositifs électroniques à réaliser avec des transistors.

Une autre technique en pleine évolution est celle dite : **Haute Fidélité**. Les exigences, en ce qui concerne la fidélité de la reproduction sonore, sont devenues nettement plus grandes. Le matériel employé dans la partie Basse Fréquence des nombreux récepteurs, dans les amplificateurs ou reproducteurs de toutes sortes, est allé constamment en se perfectionnant : il en est résulté de nouvelles techniques, de nouveaux circuits ou procédés qu'il faut connaître. Nous citerons, en particulier, **l'enregistrement magnétique** qui a vu le développement rapide des magnétophones, auquel fait pendant, dans la bataille entre le ruban et le disque, le microsillon. Récemment, tous deux ont encore affiné leur technique avec la **production stéréophonique**.

Ces derniers temps, ont fait apparition des récepteurs et amplificateurs construits selon la technique des **circuits imprimés**. Ce sont des plaquettes en matière isolante sur lesquelles les connexions nécessaires à la liaison entre les divers éléments sont imprimées, sous la forme de conducteurs obtenus suivant certains procédés de la technique de l'imprimerie. Il est évident que ces circuits — adoptés parfois seulement pour une partie de l'appareil — permettent une réduction importante du prix de revient si le matériel est construit en grande série. On conçoit donc que le technicien doive, d'ores et déjà, savoir quels sont les points délicats et comment il doit se comporter au regard de ces nouvelles méthodes de construction. Notre Cours, le moment venu, étudiera ce procédé et illustrera ses moindres détails.

Une des activités les plus attrayantes dans le domaine de la Radio est celle de **l'Emission d'Amateur**. Tout le monde peut obtenir une autorisation d'émission en passant un examen facile sur les sujets et les matières exposées en détail dans notre Cours, mais nous ne nous limiterons pas simplement à la préparation à cet examen : nous donnerons des descriptions d'émetteurs, de récepteurs faciles à construire ; nous ferons connaître les règlements qui régissent cette activité, les caractéristiques du matériel spécial, les préfixes, abréviations, etc... Rappelons que le Trafic c'est-à-dire les communications à distance entre les Amateurs du monde entier, est la forme la plus suggestive et la plus passionnante de l'activité dans le domaine de la Radio ; c'est une activité qui conduit, le plus souvent, à la formation des techniciens les plus capables, comme le démontre amplement l'expérience. C'est, de ce fait, un passe-temps de la plus haute valeur instructive qui, dans le même temps, favorise les liens d'amitié entre les Amateurs de tous les continents.

Une forme particulière de cette activité est la **télécommande des modèles réduits**. Cette branche compte également de nombreux passionnés, et le sujet ne sera pas négligé, ni pour celui qui pratique déjà cette technique, ni pour celui qui désire s'y initier.

Les instruments et **appareils de mesure** sont, c'est évident, d'une importance capitale. Sans eux, on peut dire que toute activité et toute notion sont vaines et incomplètes dans notre domaine : l'ingénieur et l'amateur, le dépanneur et l'installateur et même le commerçant averti ont tous besoin d'effectuer des contrôles d'efficacité, des mesures de rendement, des vérifications, des recherches de pannes, des étalonnages, mises au point, etc... toutes opérations qui se font au moyen d'appareils de mesure. Il existe naturellement, pour chaque opération, des instruments particuliers et nous en donnerons les détails de construction, la technique à employer, ainsi que leur utilisation dans des cas généraux ou particuliers. Nous traiterons, ainsi, des méthodes de **mise au point** et de la **recherche des pannes**.

C'est un fait connu que les laboratoires de recherches appliquées les plus avancés et les plus fameux du monde sont ceux des Etats-Unis. De ce pays arrivent les découvertes les plus sensationnelles dans le domaine de la radio, de même que les applications, les schémas qui font suite à ces découvertes lorsqu'elles passent dans le domaine de l'exploitation et du développement industriel. Et, bien qu'il soit de la plus grande utilité, pour un technicien, de connaître la langue anglaise et de pouvoir suivre le progrès directement dans les revues américaines, celui qui ne connaît pas cette langue pourra tout de même interpréter suffisamment les schémas et les indications importantes s'il a la possibilité de consulter un **dictionnaire technique Anglais - Français**. C'est ainsi que nous publierons, dans chaque fascicule, quatre pages de vocabulaire et termes techniques avec leurs traductions, et nous sommes certains que cela se révélera utile même à ceux qui connaissent la langue.



En un an,
à domicile,
un Cours de Radio
qui vous coûtera
seulement 1 F 60
par semaine



Vous posséderez
une collection
de presque 1460 pages ;
un précieux
manuel encyclopédique
d'électronique.



IMPORTANT : si les prochains numéros vous intéressent, avisez dès à présent votre fournisseur.