

ENCYCLOPÉDIE THÉORIQUE & PRATIQUE DES CONNAISSANCES CIVILES & MILITAIRES

(Publiée sous le patronage de la Réunion des officiers)



PARTIE CIVILE

COURS DE CONSTRUCTION

Publié sous la direction de :

G. OSLET, PROFESSEUR A L'ÉCOLE CENTRALE DES ARTS ET MANUFACTURES

SEIZIÈME PARTIE

TRAITÉ PRATIQUE

DE FUMISTERIE

CHAUFFAGE, VENTILATION ET CHAUDRONNERIE

CONCERNANT LE BATIMENT

Avec de nombreux exemples, tables et résultats pratiques

PAR

V. MAUBRAS

Ingénieur des Arts et Manufactures

TOME I

PRÉLIMINAIRES. — CHEMINÉES ET POÊLES. — CONDUITS DE FUMÉE
FOURNEAUX. — VENTILATION
CALORIFÈRES. — TUYAUTERIE. — CHAUFFAGE A EAU CHAUDE

PARIS

GEORGES FANCHON, ÉDITEUR

25, RUE DE GRENELLE, 25

Droits de traduction et de reproduction réservés

CHAPITRE XIX

CHAUFFAGE PAR L'ÉLECTRICITÉ

Considérations générales. — Potentiel. — Unités électriques. — Relations entre les unités électriques, mécaniques et calorifiques. — Comparaison entre le prix de revient du chauffage électrique et du chauffage à vapeur à basse pression. — Appareils employés pour le chauffage électrique. — Chauffage des trains et tramways électriques. — Montage des appareils. — Calcul des canalisations électriques.

238. Considérations générales. — *Potentiel.* — Avant d'entrer dans le détail du chauffage par l'électricité, il est nécessaire de décrire aussi simplement que possible les phénomènes qui se produisent lorsqu'on utilise des courants électriques, de définir très exactement les unités électriques et de connaître les relations qui les lient aux unités de force et de chaleur, afin d'en déduire des formules simples et pratiques.

Considérons un corps électrisé d'une façon quelconque. On peut admettre qu'il est composé par une agglomération de masses qui se trouvent en état d'équilibre les unes par rapport aux autres. La distribution de l'électricité à la surface du corps et son épaisseur en chaque point dépendent des répulsions mutuelles des masses électriques. Dans l'état d'équilibre, les forces répulsives qui s'exercent sur chaque masse sont normales à la surface du corps électrisé, de telle sorte que les masses ne peuvent se déplacer si elles sont retenues sur ce corps par la mauvaise conductibilité de l'air. Dans ces conditions d'équilibre, le corps électrisé se trouve dans un état défini de charge que l'on appelle son *potentiel*.

Il en résulte qu'on a très simplement l'idée de potentiels égaux ou inégaux. Supposons que nous mettions le corps électrisé considéré en communication, par un fil fin assez long pour éviter l'influence, avec un autre corps électrisé. Si les potentiels sont égaux, l'équilibre n'est pas rompu, mais, s'ils sont inégaux, il y a écoulement vers le corps à plus bas potentiel, jusqu'à ce qu'il y ait équilibre nouveau. Cette circulation d'électricité due à la différence de potentiel est ce qu'on est convenu d'ap-

peler un *courant électrique*. Le courant cesse de se produire lorsque la différence de potentiel devient nulle.

Considérons le courant lui-même. Il est caractérisé par deux éléments, son *intensité* et sa *force d'écoulement*. Cette force est désignée sous le nom de *force électromotrice*.

Pour mieux faire comprendre ce qui précède, considérons (*fig. 337*) deux capa-

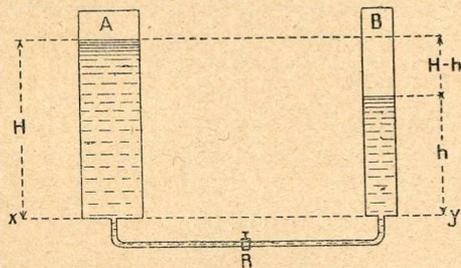


Fig. 337.

ités cylindriques A et B ouvertes à l'air libre et communiquant par leurs fonds au moyen d'un tuyau de petit diamètre et d'une assez grande longueur. Sur ce tuyau est placé un robinet de barrage R.

Remplissons les deux récipients avec de l'eau, après avoir fermé le robinet R, le récipient A contenant plus d'eau que dans le récipient B. Dans ces conditions, il y a équilibre, et l'on peut assimiler les deux récipients à deux corps électrisés ayant des potentiels représentés par les hauteurs H et h au-dessus du plan horizontal XY.

Si on établit la communication (ce qui correspond au contact) entre les deux réservoirs en ouvrant sur le robinet R, il

y aura écoulement de A vers B, à travers le tube, jusqu'à ce que les niveaux dans les deux vases soient sur le même plan. La hauteur commune H' donne la valeur du nouveau potentiel (fig. 338).

L'écoulement se sera produit :

1° Proportionnellement à la différence de niveau $H - h$ qui constitue la charge motrice et à laquelle on peut assimiler la force électromotrice;

2° En raison inverse de la résistance qu'offrira le tube de communication. L'intensité du courant peut être comparée au débit du tuyau.

Pratiquement, les choses ne se passent pas exactement comme nous venons de les décrire. En effet, en raison de la résistance offerte par le tube de communication, que nous avons supposé long et de

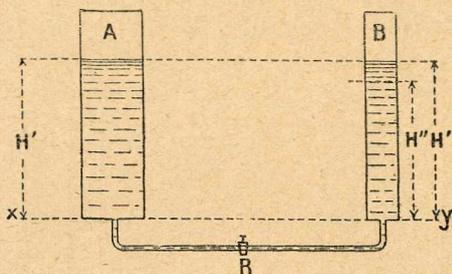


Fig. 338.

faible diamètre, le niveau de l'eau dans B ne serait pas à la hauteur H mais bien à la hauteur de H'' plus petit que H' , la différence de $H' - H''$ représenterait la perte de charge dans le tuyau ou la résistance du conducteur entre les deux corps.

239. Unités électriques. — Pendant de nombreuses années on choisit des unités arbitraires suivant la commodité des expériences. Les physiciens *Gauss* et *Weber* proposèrent diverses unités ainsi que la *British Association* (Association britannique). Ce fut en 1881 que le Congrès international des Électriciens adopta d'une façon définitive les unités actuellement en usage.

Les phénomènes physiques se mesurent au moyen d'*unités fondamentales* qui sont au nombre de trois et au moyen d'*unités*

dérivées se déduisant des précédentes par des relations connues.

Le Congrès de 1881 adopta comme unités fondamentales :

1° Le *centimètre*, c'est-à-dire la centième partie de la longueur de la règle en platine, prise à zéro degré, qu'on appelle le mètre international et qui est une copie parfaite de l'ancien mètre construit par ordre de la Convention. Il est déposé au Bureau International des Poids et Mesures, au pavillon de Breteuil, à Sèvres.

2° Le *gramme-masse*, c'est-à-dire la millièmième partie de la masse du *kilogramme international* représentant, avec une exactitude sur laquelle on n'est pas encore très bien fixé, mais qu'on peut considérer comme suffisante en pratique, la masse d'un décimètre cube d'eau distillée à son maximum de densité, c'est-à-dire à 4 degrés. C'est très approximativement la masse d'un centimètre cube d'eau distillée à 4 degrés.

3° La *seconde*, c'est-à-dire la seconde sexagésimale du temps moyen ou la 86400^e partie du jour solaire moyen.

Il en est résulté le système connu sous le nom de *système centimètre-gramme-seconde* que l'on désigne, par abréviation, *système C. G. S.*

Les unités dérivées se déduisent directement des fondamentales par les relations que fournissent la mécanique et la physique. On obtient les unités de surface, de volume, de densité, de vitesse, de travail ou d'énergie, etc...

En ce qui concerne particulièrement les unités électriques, leurs grandeurs exprimées dans le système C. G. S. offrent une telle disproportion avec les grandeurs que l'on rencontre pratiquement qu'il en résulte une grande complication dans l'étude des projets et dans l'établissement des calculs. Le Congrès International des Electriciens réunis en 1881, se rendant compte de ces difficultés, fut amené à choisir des *unités pratiques* se rapprochant beaucoup plus des conditions usuelles et adopta les unités suivantes :

L'*intensité* d'un courant passant dans un conducteur est la quantité d'électricité qui traverse une section droite de ce conducteur pendant l'unité de temps. Par ana-



logie avec une circulation d'eau dans un tuyau, l'intensité représente le débit à la seconde. L'unité pratique a été appelée *ampère*, du nom du savant physicien auquel on doit de si intéressants travaux.

La *force électromotrice* qui donne naissance au courant se mesure au moyen de l'unité pratique appelée *volt* (du nom du physicien Italien Volta). Pratiquement, une différence de potentiel s'exprime en volts.

L'unité de *résistance* au passage du courant dans un conducteur, est appelée *ohm* en hommage au savant allemand Ohm, qui a trouvé les lois fondamentales de l'intensité des courants.

Comme relation entre l'ohm, l'ampère et le volt on peut dire que : *l'ampère est l'intensité d'un courant passant dans un conducteur dont la résistance est de un ohm sous une différence de potentiel à ses deux extrémités égale à un volt.*

L'*ohm légal* dont on possède l'étalon, est la résistance d'une colonne de mercure, à zéro degré, de 1 millimètre carré de section constante et de 106,3 centimètres de longueur.

La *quantité* d'électricité qui traverse une section d'un conducteur, en supposant que le régime ne varie pas, est égale au produit de l'intensité du courant par le temps pendant lequel il a circulé. L'unité pratique de quantité est le *coulomb* (du nom du physicien), qui représente la quantité d'électricité qui passe à la seconde dans un conducteur lorsque, l'intensité du courant est de un ampère.

Pratiquement l'unité la plus employée est l'*ampère-heure*, qui représente la quantité d'électricité passant à l'heure ou pendant 3.600 secondes, dans un circuit lorsque l'intensité du courant est de un ampère. Il en résulte qu'un ampère-heure vaut 3.600 coulombs.

La *puissance électrique* d'un courant est égale au produit de l'intensité du courant par la force électromotrice. L'unité pratique est le *watt*. Elle représente la puissance électrique d'un courant de un ampère (unité d'intensité) sous une différence de potentiel de un volt. D'une manière générale, si l'on désigne par I l'intensité d'un courant, par E sa force élec-

tromotrice et par P sa puissance en watts, on a la formule :

$$P = EI.$$

Pratiquement, pour simplifier les énonciations, on a qualifié *hectowatt* une puissance de 100 watts, et *kilowatt* une puissance de 1.000 watts. On emploie aussi les termes de kilowatt-heure et d'hectowatt-heure pour représenter des puissances de 1.000 et de 100 watts-heure.

Pour le *travail électrique*, l'unité pratique est le *joule*. Un joule représente le travail électrique accompli par un coulomb (unité de quantité) se déplaçant entre deux points dont la différence de potentiel est égale à un volt. C'est aussi le travail accompli par un watt par seconde, en sorte qu'on peut écrire :

$$1 \text{ watt} = 1 \text{ joule par seconde.}$$

L'analogie que nous signalions plus haut entre les courants électriques et les chutes d'eau existe encore en ce qui concerne la puissance. En effet, la puissance d'une chute d'eau est égale au produit de son débit par seconde par sa hauteur exprimée en millimètres. Or le débit et l'intensité (ampère) sont analogues ; il en est de même de la hauteur de chute et de la différence de potentiel (volts).

240. *Relations entre les unités électriques, mécaniques et calorifiques.* — Avant d'établir ces relations, il est nécessaire de donner quelques notions, très simples, sur la théorie mécanique de la chaleur.

Si nous considérons un corps parfaitement élastique tombant d'une hauteur h , il arrivera sur le sol avec une vitesse dépendant de cette hauteur. Si le sol était lui-même parfaitement élastique, le corps rebondirait et remonterait à la hauteur même d'où il est parti. Le corps est parti d'un point donné avec une vitesse nulle et y revient avec une vitesse nulle.

Pratiquement, les choses ne se passent pas ainsi, parce que les corps ne sont qu'imparfaitement élastiques ; aussi le corps que nous avons considéré rebondit à une hauteur h' plus petite que h . En arrivant sur le sol, il possédait une force vive proportionnelle à h et, en le quittant, il n'a

plus qu'une force vive proportionnelle à N . Il y a donc eu une perte de force vive. Il en résulte que, pendant le temps très court où le choc s'est produit, tout se passe comme si le corps avait effectué un certain travail qu'il est facile de mesurer.

Après le choc, le corps s'est modifié. Il a subi non seulement une légère déformation permanente, très faible dans la plupart des cas, mais il s'est échauffé, et c'est là une modification bien plus importante : il y a eu production de chaleur.

Cette production de chaleur peut devenir très grande. Une balle en plomb tirée à distance convenable sur une cible résistante s'échauffe, jusqu'à se fondre partiellement.

Pratiquement, les exemples abondent de cette transformation de travail en chaleur. On peut donc conclure que quand un corps en mouvement subit une perte de force vive, sans qu'il y ait de travail apparent produit, il y a production de chaleur. *Cette quantité de chaleur produite est proportionnelle à la perte de force vive.* C'est là ce qu'on appelle le principe de l'équivalence du travail et de la chaleur.

Un travail mécanique se mesure en *kilogrammètres*.

Le kilogrammètre est le travail qu'il faut développer pour soulever un poids d'un kilogramme à 1 mètre de hauteur, quel que soit le temps employé. La force des machines s'exprime en chevaux-vapeur. Le cheval-vapeur est le travail équivalent à 75 kilogrammètres à la seconde. Comme on le voit, le cheval-vapeur mesure un travail effectué dans un temps donné qui est la seconde.

Les quantités de chaleur se mesurent en calories, ainsi qu'on l'a vu précédemment. On a trouvé par expérience que lorsque la perte de force vive correspond à un travail de 425 kilogrammètres, il y a production d'une calorie. Ce nombre 425 est ce qu'on nomme *l'équivalent mécanique* de la chaleur, en sorte qu'on peut écrire :

$$1 \text{ calorie} = 425 \text{ kilogrammètres.}$$

C'est en 1849 que Joule détermina le premier cet équivalent par expérience en déterminant par frottement l'échauffement

d'une masse d'eau placée dans un calorimètre.

Hirn détermina ensuite le même équivalent, en mesurant l'échauffement produit par le choc sur une masse de plomb.

Partant de la valeur de cet équivalent, il est facile de déterminer les relations entre les unités mécaniques, électriques et calorifiques. Sans entrer dans les détails, on trouve que :

$$1 \text{ watt} = \frac{1}{9,81} \text{ kilogrammètre par seconde.}$$

Il s'ensuit qu'on a :

$$1 \text{ watt-heure} = \frac{3\,600}{9,81} \text{ kilogrammètres,}$$

soit en chiffres ronds 367 kilogrammètres.

L'équivalent mécanique de la chaleur étant de 425, il en résulte que :

$$1 \text{ watt-heure} = \frac{367}{425} \text{ calorie,}$$

soit :

$$1 \text{ watt-heure} = 0,8635 \text{ calorie}$$

ou en chiffres ronds :

$$1 \text{ watt-heure} = 0,865 \text{ calorie.}$$

Inversement, on déduit que :

$$1 \text{ calorie} = 1,155 \text{ watt-heure.}$$

D'autre part, le cheval-vapeur vaut 75 kilogrammètres à la seconde, par conséquent :

$$1 \text{ watt} = \frac{1}{9,81 \times 75} \text{ cheval-vapeur.}$$

D'où il résulte que :

$$1 \text{ cheval-vapeur} = 735,75 \text{ watts.}$$

soit en chiffres ronds :

$$1 \text{ cheval-vapeur} = 736 \text{ watts.}$$

Des formules qui précèdent on déduit que, pour fournir 1.000 calories à l'heure, il faut produire électriquement :

$$1.000 \text{ calories} = 1,155 \times 1000 \\ = 1155 \text{ watts-heure.}$$

Si le courant dont on dispose est à 110 volts (voltage courant pour les instal-

lations à courant continu), l'intensité de ce courant devra être de :

$$\frac{1155}{110} = 10,5 \text{ ampères.}$$

241. *Comparaison entre le prix de revient du chauffage électrique et du chauffage à vapeur à basse pression.* — Nous croyons utile, pour mettre en valeur les difficultés qu'on éprouve pratiquement à installer le chauffage électrique, notamment comme prix de revient, de le comparer au prix de revient du chauffage à vapeur à basse pression, par exemple.

Il suffit pour cela de calculer à combien reviennent à Paris les 10.000 calories prises à la chaudière ou au tableau de distribution d'électricité, le courant étant fourni par un quelconque des secteurs.

Supposons que la vapeur s'échappe à 100 degrés de la chaudière. Dans ces conditions, la chaleur latente de vaporisation étant de 537 calories, il faudra condenser un poids de vapeur égal à :

$$\frac{10\ 000}{537}$$

Les chaudières à basse pression vaporisant dans de bonnes conditions, en employant de bons charbons, 8 kilogrammes d'eau par kilogramme de charbon brûlé, on dépensera :

$$\frac{10\ 000}{537 \times 8} \text{ kilogr. de charbon.}$$

A Paris, ces charbons se payant sur une base de 53 francs la tonne, les 10.000 calories reviendront à :

$$\frac{10\ 000}{537 \times 8} \times 0,53 = 1^r,235.$$

Pour fournir électriquement les 10.000 calories, il faudra dépenser, d'après ce qui précède

11550 watts-heure

ou 11,550 kilowatts-heure

Les secteurs ne donnent le courant pour le chauffage qu'au prix moyen minimum de cinquante centimes le kilowatt-heure,

il en résulte que le prix de revient de 10.000 calories électriques est de :

$$0,50 \times 11,55 = 5^r,775,$$

soit un prix plus de 4 fois supérieur.

Dans des installations particulières bien comprises et d'une certaine importance, on peut abaisser le prix du kilowatt à 0^r,20. Dans ces conditions, les 10.000 calories reviendraient encore à :

$$0,20 \times 11,55 = 2^r,310,$$

soit presque le double.

Pour qu'il y ait égalité, il faudrait pouvoir fournir le courant à raison de :

$$\frac{1,234}{11,55} = 0^r,107.$$

le kilowatt, ce qui ne peut s'obtenir qu'en utilisant des chutes d'eau comme force motrice pour avoir de l'énergie électrique.

242. *Appareils employés pour le chauffage électrique.* — Tous ces appareils sont basés sur le même principe, à savoir que lorsqu'un courant traverse un conducteur présentant une certaine résistance, il y a dégagement de chaleur. L'élévation de température du conducteur peut devenir telle, qu'il est porté au rouge et même à l'incandescence. C'est le cas des filaments de toutes les lampes électriques employées dans nos habitations.

La température d'un conducteur varie avec sa propre composition (d'où dépend la valeur de la résistance) et l'intensité du courant, comme nous le verrons par la suite. La transmission de la chaleur aux locaux chauffés se fait comme avec les autres appareils de chauffage, par radiation et convection, proportionnellement à l'écart de température entre la source de chaleur et l'air ambiant.

Jusqu'à nos jours, l'application du chauffage électrique à nos habitations s'est très peu développée. La raison principale est que son prix de revient est trop élevé comparativement à celui des autres systèmes décrits précédemment et que dans beaucoup de villes on ne dispose pas de courant électrique. Non seulement, dans la plupart des cas, il est très difficile d'obtenir du courant à bon marché, mais la

construction même des radiateurs est compliquée et onéreuse. Double raison pour justifier la rareté de l'emploi de ce genre de chauffage pour les locaux habités.

Cependant il existe certaines applications relativement importantes, faites dans des conditions spécialement avantageuses, parmi lesquelles nous citerons celle du théâtre du Vaudeville à Londres, qui date de plusieurs années, et celle toute récente d'un hôtel à voyageurs, à Davos, en Suisse. Le chauffage est obtenu dans les deux cas par radiation directe.

Les avantages de ce genre de chauffage sont assez nombreux en raison de la facilité avec laquelle on distribue le courant électrique. La mise en route est en effet instantanée comme l'extinction, puisqu'il suffit de tourner un interrupteur dans le sens convenable. La température des radiateurs peut varier suivant leur constitution et avec l'intensité du courant. Il s'ensuit que, sous un faible encombrement, en prenant des précautions spéciales, on peut disposer de radiateurs à haute température, qui transmettront d'autant plus de chaleur que cette température sera élevée.

D'un autre côté, les canalisations étant analogues à celles employées pour la lumière, il sera très facile de les dissimuler.

Ce sont évidemment là des avantages considérables sur les systèmes actuellement appliqués. Il est donc à désirer que sous peu l'usage de l'électricité se répande beaucoup plus — ce qui permettrait d'abaisser le prix du courant — et que des recherches soient faites pour arriver à construire des radiateurs électriques à bon marché.

Actuellement les quelques appareils électriques dont on dispose sont de puissance très réduite, comme nous allons le voir.

La figure 339 représente un poêle servant au chauffage des pièces de petite capacité comme les salles de bains ou les cabinets de toilette¹. Il se compose d'une

1. Cet appareil, comme les suivants, est construit par la Société anonyme des Anciens Etablissements Parvillée frères et C^{ie}, à Paris.

enveloppe en fonte avec panneaux en tôle perforée dans laquelle sont disposées les résistances. Ces résistances sont constituées par des barres plates ayant environ 20 centimètres de longueur, 3 de large et 1 d'épaisseur. La composition de ces résistances est obtenue, en mélangeant à chaud, et sous pression, des poudres métalliques avec des poudres isolantes, de manière à obtenir des résistances plus grandes qu'avec un métal seul. Cette résistance pourra elle-même varier suivant la proportion du mélange entre les poudres métalliques et les poudres isolantes.

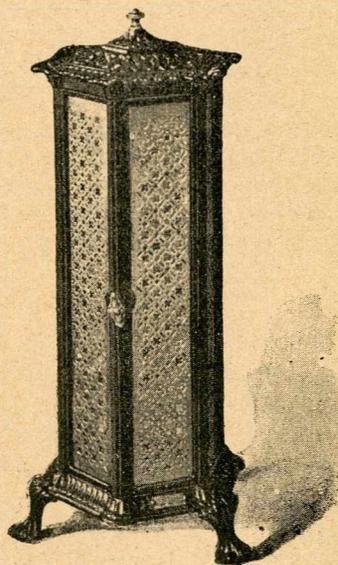


Fig. 339.

Toutes les résistances sont placées parallèlement sur une planchette verticale fixée dans l'enveloppe du poêle. Les extrémités droites de toutes les barres sont réunies à un même collecteur constituant un des pôles de l'appareil et toutes les extrémités gauches à un deuxième collecteur constituant l'autre pôle.

Le courant, en passant d'un pôle à l'autre au travers des résistances, les échauffera jusqu'à les porter au rouge.

Le montage se fait facilement en réunissant le poêle à une prise quelconque de courant au moyen d'un fil souple. La consommation, d'après les constructeurs,

s'élève à 1.320 watts-heure avec un courant de 110 volts, soit par conséquent 12 ampères. père 110 volts, ce qui équivaut à celle d'une lampe de 16 bougies.

En se reportant à ce qui précède, le poêle produit donc, en chiffres ronds, 1.100 calories à l'heure.

La figure 340 représente un brasero électrique pouvant servir pour un bureau ou pour un petit salon. Les résistances sont disposées dans la partie supérieure et sont constituées chacune, non plus par des barres métalliques, mais par une grosse lampe en verre dépoli, du genre de celles employées pour l'éclairage. Ces lampes mobiles sont au nombre de douze et peuvent fournir, à la pièce, 1.100 calories-heure avec un courant de 12 ampères sous 110 volts.

Les figures 341 et 342 représentent une rôtissoire électrique. Les résistances sont placées verticalement le long des parois de l'appareil, en sorte que la pièce à rôtir se trouve placée dans une sorte d'enveloppe portée au rouge.

La consommation s'élève à 390 watts avec un courant à 110 volts.

Les appareils qui suivent sont à faible consommation. Le dessous de plat électrique (*fig. 343*) ne consomme que 0,5 am-



Fig. 340.

Le fer à repasser (*fig. 344*) pour tail-

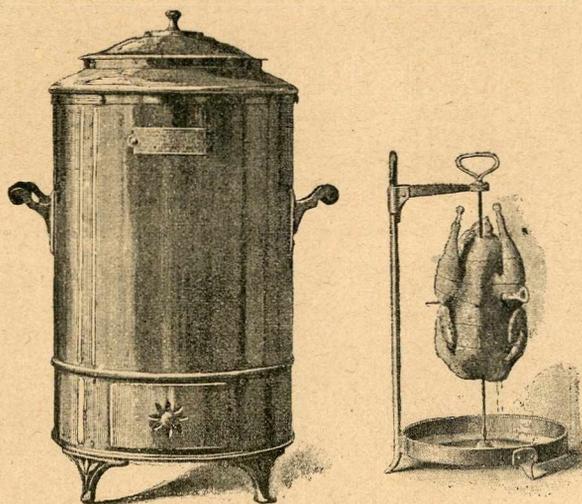


Fig. 341 et 342.

leurs, pesant 6 kilos, consomme 3 ampères, 110 volts ; enfin le fer à friser et à onduler (*fig. 345*) consomme 1 ampère 110 volts. On construit aussi des fers à

souder, des fourneaux électriques, des réchauds, etc... consommant relativement peu.

243. *Chauffage des trains et des*

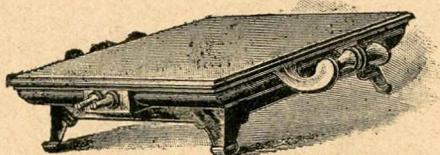


Fig. 343.

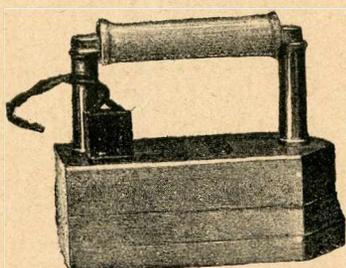


Fig. 344.

tramways électriques. — L'application la plus importante du chauffage électrique est faite dans les trains et les tramways

électriques. C'est d'ailleurs une application tout indiquée, d'autant mieux qu'on ne demande pas aux appareils de dégager suffisamment de chaleur pour maintenir une température constante dans les voitures, mais de servir simplement de chauff-

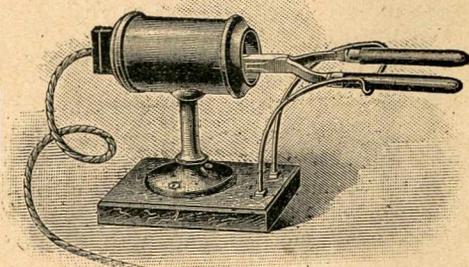


Fig. 345.

ferettes sur lesquelles les voyageurs poseront leurs pieds.

Ce système présente un avantage évident sur les autres modes de chauffage : chaufferettes au charbon et bouillottes à eau chaude, tant au point de vue de la simplicité et de la propreté que de l'économie réalisée. Il est en effet très facile

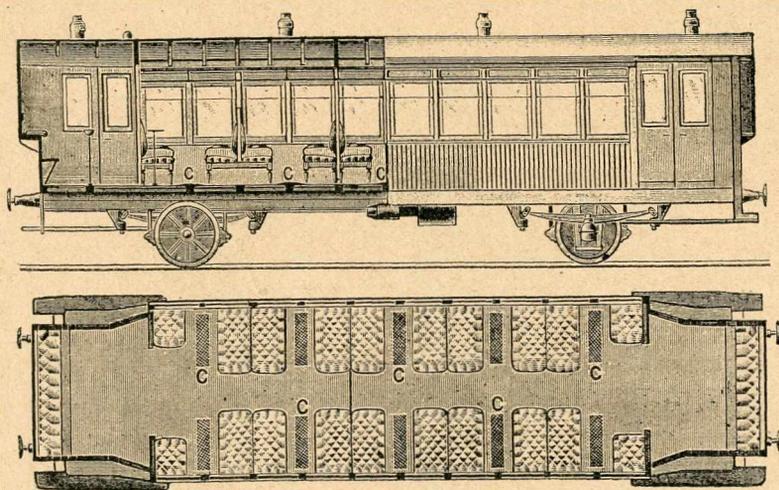


Fig. 346 et 347.

d'interrompre les courants pendant les arrêts et au garage ; la mise en route étant instantanée, il n'y a pas à prévoir des appareils spéciaux, comme pour le chauffage des bouillottes, par exemple. Les figures 346 et 347 représentent en

élévation et en plan. la disposition des chaufferettes dans les voitures à plates-formes de la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest pour leur ligne électrique de la gare des Invalides à Versailles.

L'ensemble comprend deux séries de chacune cinq chaufferettes placées directement sur le parquet de la voiture. Chaque appareil présente une saillie de 15 millimètres au-dessus du parquet. La diffé-

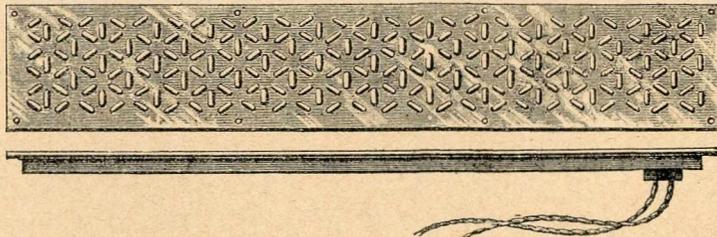


Fig. 348 et 349.

rence de niveau est rattrapée au moyen d'un cadre en bois formant glacis.

Le courant est pris à 550 volts, chaque chaufferette consommant 0,20 ampère. La

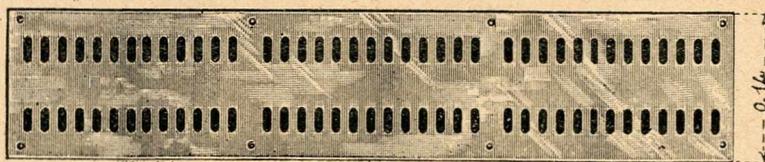


Fig. 350.

consommation totale par voiture est donc de 1.100 watts. Dans ces conditions, la température de chaque appareil est de 70 degrés pour une température extérieure de 0 degré, et de 75 degrés pour une température extérieure de plus de 12 degrés.

Chaque chaufferette (fig. 348 et 349) a 0^m,80 de longueur sur 0^m,14 de largeur et 15 millimètres d'épaisseur. Elle est constituée par une résistance sur laquelle est rivée une plaque en cuivre repoussé pour empêcher de glisser.

Le montage se fait par cinq en série avec un interrupteur et un coupe-circuit unipolaire.

Avec ces chaufferettes, toutes les dispositions sont possibles suivant que les voitures ont ou n'ont pas de trappe de visite pour les moteurs. La consommation s'élève à 40 watts par décimètre carré de chaufferette.

Lorsque les trappes de visite doivent être souvent déplacées, il est avantageux

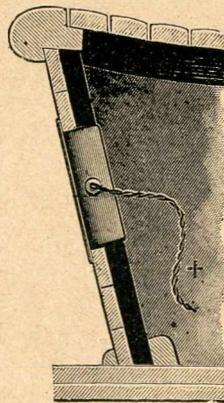


Fig. 351.

de placer les chaufferettes sous les banquettes, comme l'indiquent les figures 350

et 351. Ce système est plus onéreux et chauffe moins que le précédent ; il nécessite au moins 50 0/0 de plus d'énergie.

En raison de leur position, les chauffferettes ne doivent pas être très chaudes pour ne pas incommoder les voyageurs et surtout ne pas brûler leurs vêtements, aussi leur consommation ne doit pas dé-

passer 30 watts par décimètre carré de surface.

244. Montage des appareils. — Le principe du montage des appareils électriques de chauffage est sensiblement le même que celui que nous avons décrit précédemment pour le chauffage à vapeur à haute pression. Dans ce système la

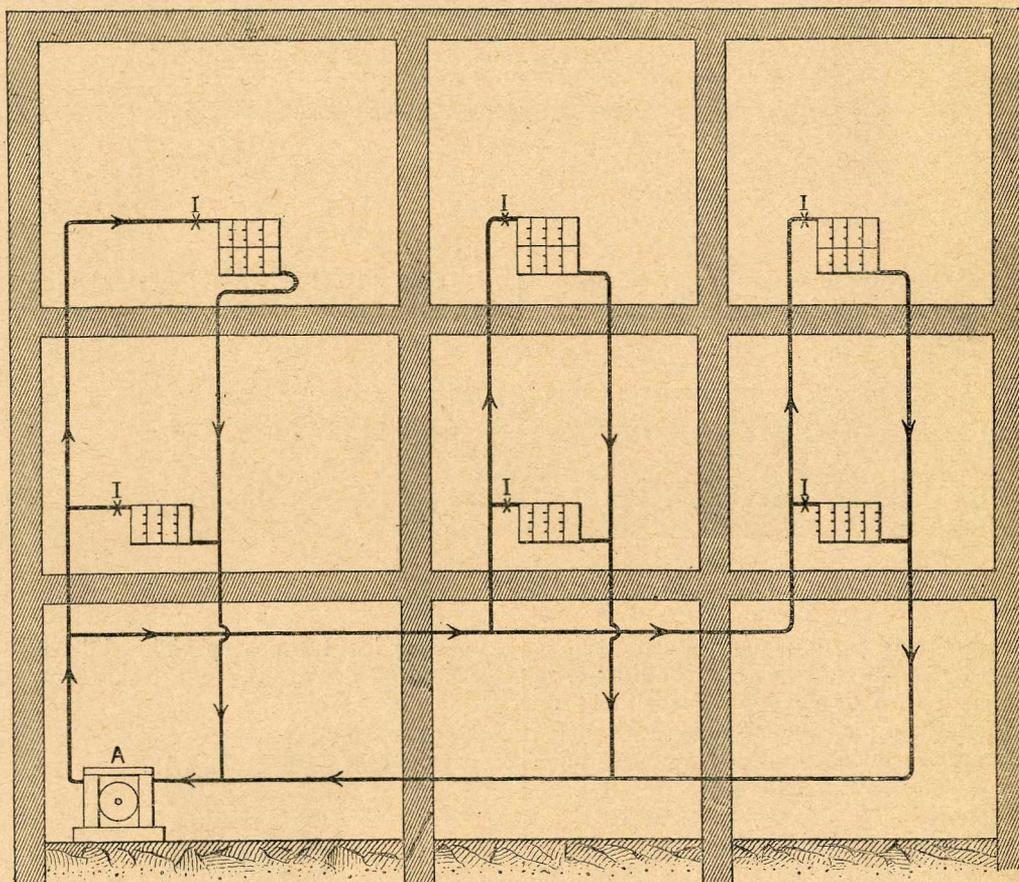


Fig. 352.

pression dans la canalisation de vapeur est sensiblement constante et égale à celle de la chaudière, tandis que dans celle de retour elle est nulle, toute la vapeur s'étant condensée dans les radiateurs. L'eau de condensation revient, par la canalisation des retours, dans un réservoir ouvert à l'air libre, d'où une pompe l'aspire pour la refouler à la chaudière.

Dans le chauffage électrique, les câbles de distribution ont une section suffisante

pour que la diminution de pression ou de voltage entre la dynamo et les radiateurs soit très faible, en sorte que le voltage peut être considéré comme constant. Dans les canalisations de retour, le voltage est aussi constant, mais beaucoup plus faible puisqu'une partie de l'énergie s'est transformée en chaleur. La dynamo peut donc être assimilée en même temps à la chaudière et à la pompe.

La figure 352 donne schématiquement



le détail d'une installation de chauffage électrique. En A se trouve la dynamo, de laquelle partent les deux conducteurs qu'on peut, par analogie, appeler les conducteurs d'aller et retour. La distribution aux radiateurs se fait comme dans un chauffage à deux tuyaux, les appareils étant placés en dérivation sur les deux conducteurs.

Sur les connections allant aux radiateurs on place des interrupteurs. Il est destiné à établir ou à interrompre le courant à volonté. Ces interrupteurs sont analogues aux robinets de prise.

La canalisation électrique de distribution doit s'établir en tenant compte de toutes les précautions édictées par les ordonnances de Police, pour éviter les accidents de toutes natures qui pourraient survenir et principalement les incendies causés par les courts-circuits.

245. Calcul des canalisations électriques. — La loi de Ohm permet de calculer facilement les canalisations. Elle s'énonce comme suit : *L'intensité I d'un courant électrique est proportionnelle à la force électromotrice E et inversement proportionnelle à la résistance R du circuit.*

Algébriquement cette loi s'exprime par la formule

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

Si l'on applique la loi de Ohm à une portion quelconque d'un circuit, la force électromotrice à considérer n'est autre chose que la différence de potentiel aux extrémités de la partie du circuit considéré.

L'intensité s'exprime en ampères, la force électromotrice en volts et la résistance en ohms.

Lorsqu'on mesure expérimentalement la résistance d'un fil homogène, on trouve qu'elle est proportionnelle à la longueur *l* et en raison inverse de sa section, c'est-à-dire qu'on a :

$$R = r \frac{l}{s}$$

r est un coefficient dépendant de la nature du fil, c'est la résistance spécifique du métal ou *résistivité*, c'est-à-dire la résis-

tance d'un prisme de *un* centimètre de longueur et de *un* centimètre carré de section.

L'inverse $\frac{1}{r}$ est ce qu'on nomme la *conductibilité*.

Le tableau suivant permet de se rendre compte des résistances de quelques métaux.

RÉSISTANCE EN OHMS : 1 cm ² de section 1 cm de longueur		
	<i>r</i>	$c = \frac{1}{r}$
Argent recuit	0.00001488	672 000
Cuivre recuit.....	0.00001649	633 300
Platine.....	0.00008937	111 640
Fer.....	0.00009611	104 040
Plomb.....	0.00020320	49 210
Mercure liquide.....	0.00094070	10 630

Les chiffres précédents se rapportent aux métaux pris à zéro degré. La résistance augmente avec la température.

Pour pouvoir calculer rapidement les conducteurs, nous donnons ci-dessous un tableau indiquant la perte en *volts* par mètre de longueur de conducteur pour diverses densités de courant.

Si *e* est la perte en volts par mètre de conducteur et *i* la densité du courant en ampères par *millimètre carré de section*, on a :

$$e = 0,0165i$$

<i>i</i>	<i>e</i>	<i>i</i>	<i>e</i>
0.1	0.00165	2.1	0.03465
0.2	0.00330	2.2	0.03630
0.3	0.00495	2.3	0.03795
0.4	0.00660	2.4	0.03960
0.5	0.00825	2.5	0.04125
0.6	0.00990	2.6	0.04290
0.7	0.01155	2.7	0.04455
0.8	0.01320	2.8	0.04620
0.9	0.01485	2.9	0.04785
1.0	0.01650	3.0	0.04950
1.1	0.01815	3.1	0.05115
1.2	0.01980	3.2	0.05280
1.3	0.02145	3.3	0.05445
1.4	0.02310	3.4	0.05610
1.5	0.02475	3.5	0.05775
1.6	0.02640	3.6	0.05940
1.7	0.02805	3.7	0.06105
1.8	0.02970	3.8	0.06270
1.9	0.03135	3.9	0.06435
2.0	0.03300	4.0	0.06600

Par exemple supposons qu'on dispose de 110.000 watts aux bornes d'une dynamo et qu'on veuille distribuer cette force dans une canalisation de 500 mètres de long, en ne perdant que 10 0/0 en route ; quelle doit être la section du câble, le courant étant à 110 volts.

L'intensité du courant sera, d'après ce qui précède :

$$\frac{110\,000}{110} = 1\,000 \text{ ampères.}$$

La perte de volts dans le câble sera de :

$$110 \times 0,10 = 11 \text{ volts,}$$

ce qui fait une perte par mètre de

$$\frac{11}{500} = 0,022.$$

En se reportant au tableau précédent, on trouve que cette perte de 0,022 correspond, en chiffres ronds, à 1,4 ampère par millimètre carré de section. Le câble devra donc avoir une section de :

$$\frac{1\,000}{1,4} = 715 \text{ millimètres carrés.}$$

On voit, d'après ce qui précède, que le calcul d'un chauffage électrique est fort simple. Le calcul des déperditions étant fait pièce par pièce, on en déduit, connaissant le voltage du courant dont on dispose, la force des appareils ou leur consommation en watts par heure. Il ne restera plus qu'à calculer la canalisation maîtresse et les branchements en comptant sur une perte en route ne dépassant pas 10 0/0.



APPENDICE

TABLEAU I

TABLES DES CARRÉS, CUBES, RACINES CARRÉES ET CUBIQUES, INVERSES DES NOMBRES ENTIERS, DES LOGARITHMES, CIRCONFÉRENCES ET SURFACES DES CERCLES POUR LES NOMBRES ENTIERS DE 1 A 500.

(Le diamètre d des cercles est pris = $1/10$ des nombres n .)

n	n^2	n^3	\sqrt{n}	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1}{n}$	$\log n$	$d =$ $0,1 n$	πd	$\frac{1}{2} \pi d^2$
0	0	0	0.0000	0.0000	∞	$-\infty$	0.0	0.000	0.0000
1	1	1	1.0000	1.0000	1.00000	0.0000	0.1	0.314	0.0079
2	4	8	1.4142	1.2599	0.50000	0.3010	2	0.628	0.0314
3	9	27	1.7321	1.4422	0.33333	0.4771	3	0.942	0.0707
4	16	64	2.0000	1.5874	0.25000	0.6021	4	1.257	0.1257
5	25	125	2.2361	1.7100	0.20000	0.6989	5	1.571	0.1964
6	36	216	2.4495	1.8171	0.16667	0.7781	6	1.885	0.2827
7	49	343	2.6438	1.9129	0.14286	0.8451	7	2.199	0.3848
8	64	512	2.8284	2.0000	0.12500	0.9031	8	2.513	0.5026
9	81	729	3.0000	2.0801	0.11111	0.9542	9	2.827	0.6362
10	100	1000	3.1623	2.1544	0.10000	1.0000	1.0	3.142	0.7854
11	121	1331	3.3166	2.2240	0.09091	1.0414	1	3.456	0.9503
12	144	1728	3.4641	2.2894	0.08333	1.0792	2	3.770	1.4310
13	169	2197	3.6056	2.3513	0.07692	1.1139	3	4.084	1.3273
14	196	2744	3.7417	2.4101	0.07143	1.1461	4	4.398	1.5394
15	225	3375	3.8730	2.4662	0.06667	1.1761	5	4.712	1.7671
16	256	4096	4.0000	2.5198	0.06250	1.2041	6	5.027	2.0106
17	289	4913	4.1231	2.5713	0.05882	1.2304	7	5.341	2.2698
18	324	5832	4.2426	2.6207	0.05556	1.2553	8	5.655	2.5447
19	361	6859	4.3589	2.6684	0.05263	1.2788	9	5.969	2.8353
20	400	8000	4.4721	2.7144	0.05000	1.3010	2.0	6.283	3.1416
21	441	9261	4.5826	2.7589	0.04762	1.3222	1	6.597	3.4636
22	484	10648	4.6904	2.8020	0.04545	1.3424	2	6.912	3.8013
23	529	12167	4.7958	2.8439	0.04348	1.3617	3	7.226	4.1548
24	576	13824	4.8990	2.8845	0.04167	1.3802	4	7.540	4.5239
25	625	15625	5.0000	2.9240	0.04000	1.3979	5	7.854	4.9087
26	676	17576	5.0990	2.9625	0.03846	1.4149	6	8.168	5.3093
27	729	19683	5.1962	3.0000	0.03704	1.4314	7	8.482	5.7256
28	784	21952	5.2915	3.0366	0.03571	1.4472	8	8.796	6.1575
29	841	24389	5.3852	3.0723	0.03448	1.4624	9	9.111	6.6052
30	900	27000	5.4772	3.1072	0.03333	1.4771	3.0	9.425	7.0686
31	961	29791	5.5678	3.1414	0.03226	1.4914	1	9.739	7.5477
32	1024	32768	5.6569	3.1748	0.03125	1.5051	2	10.05	8.0425
33	1089	35937	5.7446	3.2075	0.03030	1.5185	3	10.37	8.5530
34	1156	39304	5.8310	3.2396	0.02941	1.5315	4	10.68	9.0792
35	1225	42875	5.9161	3.2711	0.02857	1.5441	5	11.00	9.6211
36	1296	46656	6.0000	3.3019	0.02778	1.5563	6	11.31	10.1790
37	1369	50652	6.0828	3.3322	0.02703	1.5682	7	11.62	10.752
38	1444	54872	6.1644	3.3620	0.02632	1.5798	8	11.94	11.341
39	1521	59319	6.2450	3.3912	0.02564	1.5911	9	12.25	11.946
40	1600	64000	6.3256	3.4200	0.02500	1.6021	4.0	12.57	12.566
41	1681	68921	6.4031	3.4482	0.02439	1.6128	1	12.88	13.203
42	1764	74088	6.4807	3.4760	0.02381	1.6232	2	13.19	13.854
43	1849	79507	6.5574	3.5034	0.02326	1.6335	3	13.51	14.522
44	1936	85184	6.6332	3.5303	0.02273	1.6434	4	13.82	15.205
45	2025	91125	6.7082	3.5569	0.02222	1.6532	5	14.14	15.904