

ÉLECTROTHERMIE

PAR

Julien RODET

Ingénieur des Arts et Manufactures

Extrait des *Annales de la Société d'Agriculture,
Sciences et Industrie de Lyon*

PARIS

GAUTHIER-VILLARS & C^o, ÉDITEURS

55, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, 55

—
1921

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS	5
CHAPITRE PREMIER. — Notions générales.	6
1 ^o Unités	6
Tableau synoptique des unités de force.	7
Tableau synoptique des unités d'énergie	8
Tableau synoptique des unités de puissance	8
Calcul de l'équivalent calorifique du kilowattheure	9
Coût des 1.000 calories pour différents prix du kilowatt- heure	11
2 ^o Résistances de chauffage	12
Métaux et alliages divers	15
Carbone. — Composés de carbone et de silicium	16
Isolants	16
CHAPITRE II. — Applications diverses. — Chauffage de l'eau. —	
Distillation. — Chauffage de l'air	17
Applications diverses.	17
Conservation des fruits et légumes par dessiccation.	19
Chauffage de l'eau	20
Calcul de l'énergie nécessaire.	20
Dépenses en centimes pour chauffer un litre d'eau	21
Energie nécessaire pour chauffer un bain	22
Boilers	22
Chaudières.	24
Surchauffe de la vapeur	25
Distillation de l'eau.	25
Calcul de l'énergie nécessaire	25
Chauffage de l'air	27
Calcul de l'énergie nécessaire pour chauffer 1 mètre cube d'air.	27

CHAPITRE III. — Chauffage des locaux	28
Puissance nécessaire	28
Chauffage direct.	29
Chauffage par poêles à action immédiate	29
Chauffage central à eau chaude	30
Chauffage des églises.	31
Chauffage des navires	32
Chauffage par accumulation de chaleur	32
Chauffage central par poêles à eau chaude et chaudière à accumulation de chaleur	32
Poêles à accumulation	34
CHAPITRE IV. — Cuisine électrique	34
Considérations générales	34
Réchauds, plaques chauffantes	36
Bouilloires	37
Four	37
Fourneau	37
Cuisines de grands établissements	38
Cuisines de cuirassés américains	40
CHAPITRE V. — Cuisson du pain	41
Fours à action directe.	41
Fours à action différée ou à accumulation	43
Expériences comparatives de chauffage au bois et au gaz d'un four ordinaire	45
Calcul de l'énergie électrique absorbée par la cuisson de 1 kilo- gramme de pain.	48
CHAPITRE VI. — Conclusions. — Tarification de l'énergie électrique	49
Conclusions	49
Considérations générales	49
Installation de l'hôtel Moserboden	50
Considérations sur les besoins futurs de puissance et d'énergie	51
Tarification	52
Bases d'une tarification	53
Divers modes de tarification	54
Exemples de tarification.	54

2. Résistances de chauffage.

Si nous faisons agir une tension E volts aux bornes d'une résistance R ohms, nous avons la relation :

$$E = RI$$

et nous obtenons un courant :

$$I = \frac{E}{R} \text{ ampères.}$$

La puissance transformée en chaleur dans le conducteur est :

$$\begin{aligned} P &= RI^2 \text{ watts} \\ &= \frac{E^2}{R} \text{ watts.} \end{aligned}$$

La chaleur dégagée dans le conducteur pendant 1 seconde est, d'après le tableau II, p. 6 :

$$Q = RI^2, 2,3938 \cdot 10^{-4} \text{ kg-calories.}$$

Pendant une heure l'énergie électrique consommée est :

$$RI^2, 3.600 \text{ wattsecondes ou joules}$$

et la chaleur produite :

$$862, RI^2, 10^{-3} \text{ kg-calories.}$$

Soient :

r la résistance d'un fil de 1 millimètre carré de section et de 1 mètre de longueur ;

d le diamètre du fil en millimètres ;

l sa longueur, en mètres ;

R sa résistance, en ohms ;

nous avons les relations :

$$R = \frac{r}{\pi d^2} l$$

$$P = EI = RI^2$$

Considérons divers éléments chauffants dans lesquels les fils se trouvent dans les mêmes conditions, ces fils étant tous à la même température et ayant la même différence de température avec le milieu absorbant.

Le nombre de watts traversant, sous forme de chaleur, 1 centimètre carré de surface sera le même pour tous ces fils.

1^o Cas de deux résistances de même substance absorbant des puissances différentes P_1 et P_2 watts sous la même tension E volts.

Appelons :

I_1, I_2 les courants en ampères ;

d_1, d_2 les diamètres des conducteurs en millimètres ;

l_1, l_2 les longueurs des conducteurs en mètres ;

R_1, R_2 leurs résistances.

Nous avons les relations suivantes :

$$(1) \quad P_1 = EI_1 = R_1 I_1^2$$

$$(2) \quad P_2 = EI_2 = R_2 I_2^2$$

d'où :

$$(3) \quad I_1 = \frac{E}{R_1}$$

$$(4) \quad I_2 = \frac{E}{R_2}$$

$$(5) \quad \frac{P_2}{P_1} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{R_1}{R_2}$$

Or :

$$(7) \quad R_1 = \frac{\rho l_1}{\frac{\pi d_1^2}{4}}$$

$$(8) \quad R_2 = \frac{\rho l_2}{\frac{\pi d_2^2}{4}}$$

et, par suite :

$$(9) \quad \frac{P_2}{P_1} = \frac{d_2^2 l_1}{d_1^2 l_2}$$

La condition que les surfaces des fils soient proportionnelles aux puissances P_1 et P_2 s'écrit :

$$(10) \quad \frac{\pi d_2^2 l_2}{\pi d_1^2 l_1} = \frac{P_2}{P_1}$$

d'où :

$$(11) \quad \frac{l_1}{l_2} = \frac{d_2^2 P_1}{d_1^2 P_2}$$

La relation (9) devient :

$$(12) \quad \frac{P_2^2}{P_1^2} = \frac{d_2^3}{d_1^3}$$

d'où :

$$(13) \quad \frac{d_2}{d_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Enfin les relations (11) et (13) donnent :

$$\frac{l_2}{l_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{4}{3}}$$

2° Cas de deux résistances de même substance, pour une même puissance P et pour les tensions E_1 , E_2 .

Nous avons :

$$(1) \quad R_1 l_1^2 = R_2 l_2^2 = E_1 l_1 = E_2 l_2$$

$$(2) \quad \frac{l_2}{l_1} = \frac{E_1}{E_2}$$

$$(3) \quad \frac{R_2}{R_1} = \frac{l_1^2}{l_2^2} = \frac{E_2^2}{E_1^2}$$

La condition d'égalité de surface donne :

$$d_2 l_2 = d_1 l_1$$

ou :

$$(4) \quad \frac{d_2}{d_1} = \frac{l_1}{l_2}$$

Or on a :

$$(5) \quad \frac{R_1}{R_2} = \frac{\frac{\rho l_1}{\pi d_1^2}}{\frac{\rho l_2}{\pi d_2^2}} = \frac{d_2^2 l_1}{d_1^2 l_2}$$

On tire de (3), (4) et (5) :

$$(6) \quad \frac{d_2^3}{d_1^3} = \frac{E_1^2}{E_2^2}$$

d'où :

$$(7) \quad \frac{d_2}{d_1} = \left(\frac{E_1}{E_2} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$(8) \quad \frac{l_2}{l_1} = \left(\frac{E_2}{E_1} \right)^{\frac{2}{3}}$$

3° Cas d'une puissance P et d'une tension E données et de deux conducteurs de résistances spécifiques différentes ρ_1 et ρ_2 .

La condition d'égalité de surface s'écrit :

$$(1) \quad d_2 l_2 = d_1 l_1$$

Or on a :

$$R_1 = R_2$$

ou :

$$(2) \quad \frac{\frac{\rho_1 l_1}{\pi d_1^2}}{\frac{\rho_2 l_2}{\pi d_2^2}} = \frac{\rho_2 l_2}{\rho_1 l_1}$$

$$(3) \quad \frac{d_2^2}{d_1^2} = \frac{\rho_2 l_2}{\rho_1 l_1} = \frac{\rho_2 d_1}{\rho_1 d_2}$$

$$(4) \quad \frac{d_2^3}{d_1^3} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$$

$$(5) \quad \frac{d_2}{d_1} = \sqrt[3]{\frac{\rho_2}{\rho_1}}$$

$$(6) \quad \frac{l^2}{l^1} = \sqrt[3]{\frac{\rho_1}{\rho_2}}$$

Dans la construction des éléments chauffants on emploie comme conducteurs différents métaux ou alliages ainsi que quelques substances non métalliques.

Les principaux métaux et alliages sont le fer et l'acier, le nickel, le ferro-nickel, le maillechort, le constantan et les alliages à base de nickel et de chrome. On emploie aussi le carbone des électrodes ordinaire ou graphité et certains composés tels que le silundum et le silit.

Le tableau I ci-après indique la composition, la densité, la résistivité à zéro et le coefficient de température de quelques-uns de ces métaux et alliages.

Tableau I.

MÉTAL OU ALLIAGE	COMPOSITION POUR 100	DENSITÉ	RÉSISTIVITÉ à 0° Microhms- cm.	COEFFICIENT de tempéra- ture	RÉSISTANCE à 0° de 1 kilom. de fil de 1 mm ² Ohms
Fil de fer. . .	—	7,8	13,9	0,0043	139
Fil d'acier . .	—	7,8	15,8	0,0039	158
Nickel	—	8,67	12,35	0,0050	124
Ferronickel, ty- pe 4X	Fer 70 % Nickel 30 %	8,4	78,3	0,00093	783
Maillechort . .	Cuivre 60 % Nickel 15 %	8,62	30	0,00037	300
Constantan . .	Cuivre 50 % Nickel 50 %	—	50	0,000025	500

Les aciéries d'Imphy produisent deux alliages ayant un point de fusion de 1.450 degrés et dont la résistivité à 15 degrés est respectivement 96 à 100 microhms-cm. et 105 à 110 microhms-cm. Les températures limites d'emploi indiquées pour ces deux alliages sont 500 à 600 degrés et 900 à 1.000 degrés.

Le nichrome I de la Driver-Harris Co a une résistivité, à 24 degrés

centigrades, de 99,6 microhms-cm. Son coefficient de température est $0,44 \cdot 10^{-2}$. Sa densité est 8,15 et sa température de fusion 1.538 degrés centigrades.

Le nichrôme II a une résistivité de 109,6 microhms-cm. et un coefficient de température égal à $0,162 \cdot 10^{-2}$. Il est capable de fonctionner continuellement à 1.100 degrés centigrades. Sa composition est la suivante :

Nickel	65 pour 100
Fer	29 —
Chróme	6 —

La General Electric Co produit un alliage appelé *calorite* dont la composition est la suivante :

Nickel	65 pour 100
Fer	15 —
Chróme	12 —
Manganèse	8 —

Enfin un autre alliage américain de premier ordre, le *calido*, a une résistivité de 99,6 microhms-cm. et un coefficient de température de $0,342 \cdot 10^{-2}$ par degré centigrade. Son point de fusion est supérieur à 1.528 degrés centigrades.

On emploie aussi le carbone des électrodes ordinaire ou graphité sous forme de tiges, de tubes ou de creusets.

La densité du carbone ordinaire est environ 1,5 et sa résistivité voisine de 5.000 microhms-cm. La résistivité du carbone graphité peut descendre à 1.100 microhms-cm.

On se sert encore de deux composés de silicium et de carbone : le silundum que l'on peut faire fonctionner à 1 600-1 700 degrés et le silit. Ces deux substances sont employées principalement sous forme de barres dans les grils.

Le carbone, le silundum et le silit ont un coefficient de température négatif.

Comme isolants et commé supports des conducteurs chauffants on emploie principalement la porcelaine, le mica, la micanite, l'amiante, la stéatite, le kaolin, l'alumine, la magnésie, le quartz fondu, l'éternite.

Le mica est un silicate multiple hydraté, à base de deux ou plusieurs métaux : aluminium, calcium, potassium, magnésium, fer. Le plus commun est un silicate d'aluminium et de calcium hydraté. Il se trouve sous forme de lames transparentes se clivant en lamelles très minces. C'est un isolant très homogène, de premier ordre, insensible à l'humidité et au feu jusqu'à 700 degrés environ. Au-dessus de cette température il se déshydrate, se désagrège en perdant sa transparence et sa cohésion ; il devient

blanchâtre et pulvérulent. Sa tension de perforation ou rigidité électrostatique est d'environ 1.000 kilovolts par centimètre.

La micanite est une agglomération de mica clivé très mince et collé au moyen de gomme-laque.

L'amiante est un silicate d'aluminium et de calcium. On en fait du fil, de la toile et du carton. Pure elle résiste à une très haute température.

Le kaolin est un silicate d'alumine hydraté.

La stéatite est un trisilicate de magnésium avec un équivalent d'eau. Par calcination elle donne de l'eau.

L'éternite est un mélange de ciment et de fibres d'amiante mis sous forme de plaques.

Comme isolation thermique on emploie principalement la sciure de bois, le liège granulé, la laine de verre ou laine minérale, la diatomite, l'amiante, l'éternite.

CHAPITRE II

APPLICATIONS DIVERSES. — CHAUFFAGE DE L'EAU. — DISTILLATION. CHAUFFAGE DE L'AIR.

Applications diverses.

L'une des premières applications électrothermiques dans le ménage, celle qui s'est répandue le plus rapidement grâce à sa commodité, à sa propreté et aussi à la faible puissance qu'elle exige, est le repassage électrique. Le fer à repasser peut être relié à une prise quelconque de lampe, à une douille de lampe, dans une pièce quelconque de l'appartement. Sa consommation d'énergie étant modérée, la dépense supplémentaire qu'il occasionne, même au tarif de l'énergie lumière, est acceptable. Sa mise en température est rapide.

Les fers à repasser les plus pratiques pour le ménage sont de 350 watts et de 500 watts, cette dernière puissance étant la meilleure.

Le fer normal de professionnels a une puissance de 600 à 650 watts. Pour le repassage des pièces très importantes telles que les draps, les couvertures et les stores, le fer de 750 watts est à conseiller.

Enfin, les tailleurs emploient des fers très lourds, de 4, 5, 6 et 7 kilogrammes.

La température de la semelle des fers à repasser doit être comprise entre 150 et 250 degrés, la température optima étant 230 degrés environ.

Le fer à repasser constitue une bouillote très commode. Il suffit de le mettre sous courant pendant trois à quatre minutes, puis de l'envelopper de papier et d'étoffe pour qu'il se maintienne chaud dans le lit

toute la nuit. Une telle bouillotte est très efficace dans le traitement des affections dues au refroidissement.

Les petits réchauds sont également très utiles, permettant l'emploi d'une casserole quelconque. Les plus usités ont 300 ou 350 watts et 600 watts. Ils peuvent se brancher sur une prise quelconque de lampe, dans une pièce quelconque, sur la table de la salle à manger. Ils permettent d'obtenir rapidement de l'eau chaude, de réchauffer du lait, de préparer une infusion, du thé, du café et même un petit déjeuner. On peut s'en servir pour chauffer un fer à friser en recouvrant celui-ci d'une plaque d'amiante.

Les bouilloires ont un rendement plus élevé et une action plus rapide que les réchauds, mais leur prix est supérieur et leur nettoyage est moins aisé que celui des ustensiles ordinaires. Les bouilloires les plus usitées ont une capacité de 0,5 litre à 2 litres et une puissance de 250 à 800 watts.

La chauffe-ette et le chauffe-plat, ayant une surface de 200 mm. \times 250 mm, établis pour une température maximum de 80 degrés, consomment environ 80 watts.

Le chauffe-fer à friser absorbe environ 150 watts.

Le grille-pain est formé de résistances portées au rouge, à très faible distance desquelles on dispose les tranches de pain. Les fers à gaufres consomment environ 400 watts.

Le sèche-cheveux est formé d'un petit ventilateur mû par moteur électrique, généralement à courant alternatif, portant dans la buse de refoulement un élément chauffant. Un commutateur permet tout d'abord de mettre en marche le ventilateur seul fournissant de l'air froid, puis un second cran met en circuit l'élément chauffant. On obtient ainsi à volonté un courant d'air froid ou d'air chaud.

Les fers à souder électriques sont d'un usage très commode et économique. Leurs puissances varient entre 150 et 600 watts. Les fers les plus usités sont de 200 watts et de 250 watts. On construit également de petits fours électriques pour fers à souder ordinaires. Pour les fers de joaillier, le four a une puissance de 100 watts. Pour les fers à souder industriels, les fours sont de 350 watts ou de 600 watts. Il faut environ cinq minutes pour porter au rouge l'intérieur du four. Si le four et le fer sont froids, le fer devient chaud à souder en huit minutes. Si le four est chaud, le chauffage du fer exige trois minutes.

La fusion de la colle forte de menuisier est obtenue très aisément au moyen de réchauds électriques, de préférence à 2 degrés de chauffage. Par exemple, on emploiera un réchaud de 600 — 150 watts fonctionnant au début à la puissance maximum. Dès que la colle est liquide, la puissance de 150 watts suffit à maintenir sa fluidité.

On construit aussi des pots à colle électriques, soit à bain-marie, soit à chauffage direct. La température optima est 60-65 degrés.

Citons encore les tables chauffantes pour hôtels, les tables chauffantes pour le séchage des pâtes alimentaires, du bois, des chapeaux, des étoffes, etc., pour les chocolateries; les étuves industrielles ou de laboratoires; les réchauds et les fours de laboratoires; les étoffes et les tapis chauffants; les grilloirs à café; les alambics; les creusets à plomb, à soudure d'étain, à étain, à métal d'imprimerie, à laiton, les cubilots à fonte; les calandres pour apprêts et gaufrage; le grillage des étoffes, du velours; le séchage des grains pour mouture; les fours à émailler; les étuves pour aseptisation; la cuisson des huiles et vernis; les appareils pour fabriquer les chaussures; le conditionnement de la soie à 140 degrés; la stérilisation du lait; les chaufferettes de tramways et de chemins de fer.

La conservation des fruits et des légumes par dessiccation est un procédé déjà très répandu. On conserve ainsi en été pour l'automne et l'hiver les aliments végétaux en excès pour la consommation.

Le four qui sert à cette opération se compose soit d'un certain nombre de tamis cylindriques superposés, soit d'une sorte d'armoire dont les rayons, amovibles, sont constitués par des tamis rectangulaires. Dans les deux systèmes, un élément chauffant est monté dans la base du four.

Les fruits ou légumes frais sont étendus sur les tamis. L'air chaud, dans son mouvement ascensionnel, traverse successivement les divers tamis et se charge de plus en plus de vapeur en enlevant l'eau des fruits ou légumes. La charge du tamis inférieur reçoit l'air le plus sec et le plus chaud et achève ainsi sa dessiccation. On retire alors ce tamis, on fait descendre d'un étage tous les autres tamis et l'on recharge de fruits frais le premier tamis que l'on place à la partie supérieure du four. Pour le four en forme d'armoire, à tamis rectangulaires, afin d'obtenir une grande régularité, on retourne les tamis de façon que leur face antérieure occupe le fond du four. Comme la dessiccation, au fur et à mesure qu'elle s'opère, réduit le volume des fruits, on rassemble dans un même tamis le contenu partiellement desséché de deux ou trois tamis que l'on charge de fruits frais pour les placer aux étages supérieurs. Si la saison est très chaude, la dessiccation peut avoir lieu en partie à l'air libre.

Afin d'éviter les pertes de chaleur, on doit n'ouvrir le four que lorsque le contrôle ou le chargement l'exigent.

Si les fruits sont débités en morceaux, la dessiccation est plus rapide qu'avec les fruits entiers. Afin d'éviter toute perte de suc, il convient de couper les fruits en moitiés en plaçant la tranche en haut.

Les légumes, surtout les haricots, doivent être soumis à la dessiccation à l'état tendre.

Cerises. — Les fruits sont soumis dénoyautés au four. On recueille en produit sec 25 pour 100 en poids des fruits frais.

Prunes. — Si les fruits sont desséchés avec leur noyau, le produit sec obtenu est 25 pour 100 en poids des fruits frais. On peut dénoyauter les prunes en laissant celles-ci entières; pour éviter la perte de suc, les fruits doivent être placés sur le tamis avec le trou de sortie du noyau en haut. On obtient une dessiccation plus rapide en coupant les prunes par le milieu pour extraire le noyau, la tranche étant disposée en haut. Le produit sec représente 18 pour 100 en poids des fruits frais.

Groseilles et airelles. — Les fruits sont placés sur les tamis garnis de papier ou de gaze. On recueille 15 pour 100 en poids des fruits frais.

Poires. — On ne les pèle pas. La dessiccation des fruits entiers est très longue. Il est nécessaire de perforer le calice. Afin de réduire la durée de l'opération, il est préférable de couper les poires en deux. 100 kilogrammes de poires fraîches donnent 22 à 25 kilogrammes de poires desséchées.

Pommes. — Les fruits sont coupés en deux, ou tout au moins fendus. En général, on ne les pèle pas, sauf pour certaines espèces acides; on gagne alors du temps. Le rendement est de 12 à 15 pour 100 en fruits desséchés.

Haricots. — On les étuve à la vapeur afin de les attendrir, on les effile, puis on les place sur le tamis.

On conserve également par dessiccation d'autres sortes de fruits ou de légumes, les petits pois, les carottes, les choux-fleurs, les pommes de terre, etc.

Les fruits et les légumes desséchés sont conservés dans un local sec, dans des caisses garnies de papier bien propre, à l'abri des rats.

En Suisse, certaines communes possèdent des sèche-fruits banals auxquels les cultivateurs apportent leurs fruits.

Les fruits ainsi traités peuvent être conservés pendant plusieurs années.

Chauffage de l'eau.

Soit à chauffer 1 litre d'eau de la température θ_0 à la température θ_1 degrés.

La chaleur spécifique de l'eau étant sensiblement 1, la quantité de chaleur nécessaire est

$$1 \times (\theta_1 - \theta_0) \text{ calories.}$$

Un kilowattheure étant équivalent à 862 calories, pour un rendement égal à 1 l'énergie électrique absorbée sera

$$\frac{\theta_1 - \theta_0}{862} \text{ kWh.}$$

Si l'eau est prise à 15 degrés et portée à la température de 100 degrés, l'énergie nécessaire est

$$\frac{100 - 15}{862} = \frac{85}{862} = 0,0986 \text{ kWh.}$$

Enfin si le rendement de l'appareil est η , l'énergie nécessaire est

$$\frac{0,0986}{\eta} \text{ kWh.}$$

Soit : Pour $\eta = 0,80$ 0,1233 kWh.

 Pour $\eta = 0,60$ 0,1643 kWh.

Si nous disposons d'une puissance de 400 watts avec l'appareil ayant un rendement de 0,80, le temps employé pour porter la température de 1 litre d'eau de 15 à 100 degrés est

$$3,600 \text{ secondes} \times \frac{0,1233}{0,400} = 18 \text{ minutes } 30 \text{ secondes.}$$

Les rendements de 0,80 et de 0,60 sont respectivement, en moyenne, ceux d'une petite bouilloire et d'un réchaud.

Il résulte donc de ce qui précède, que si la température initiale de l'eau est 15 degrés, 1 kilowattheure est capable de porter à l'ébullition :

 Au moyen d'une bouilloire 8 litres d'eau

 Au moyen d'un réchaud 6 litres d'eau.

Le tableau ci-après indique le coût de l'énergie électrique nécessaire pour chauffer 1 litre d'eau de 15 à 100 degrés, pour divers tarifs compris entre 1 franc et 5 centimes le kilowatt-heure.

DÉPENSE EN CENTIMES POUR CHAUFFER 1 LITRE D'EAU DE 15 DEGRÉS A 100 DEGRÉS

Prix du kWh en centimes	Dépense en centimes	
	Bouilloire Rendement 80 pour 100	Réchaud Rendement 60 pour 100
100	12,33	16,64
90	11,10	15,00
80	9,86	13,33
70	8,63	11,65
60	7,40	10,00
50	6,17	8,32
40	4,93	6,67
30	3,70	5,00
25	3,09	4,17
20	2,47	3,30
15	1,85	2,50
10	1,24	1,64
5	0,62	0,83

Calculons maintenant le nombre de kilowattheures nécessaires pour préparer un bain, en hiver, en chauffant 260 litres d'eau de 8 à 38 degrés.

Nous devons fournir à chaque litre d'eau $38 - 8 = 30$ calories, soit au total

$$30 \times 260 = 7.800 \text{ calories.}$$

Nous pourrions obtenir le même résultat en chauffant dans une chaudière 95 lit. 1 d'eau de 8 à 90 degrés que nous verserons ensuite dans la baignoire contenant 164 lit. 9 d'eau à 8 degrés.

Si la chaudière a un rendement de 90 pour 100, nous consommerons

$$\frac{7.800}{862.0,90} = 10,66 \text{ kwh.}$$

Le coût de l'énergie pour le chauffage du bain sera :

Pour le tarif de 10 centimes le kwh.	fr. 1,07
Pour le tarif de 25 centimes le kwh.	2,67

Si la chaudière a une puissance de 1 kilowatt, le temps nécessaire sera de 10 heures 40 minutes.

Un hôtel des environs de Fribourg (Suisse) prépare électriquement 80 bains par jour.

Des usines hydro-électriques possèdent une salle de bain et douche, munie d'une chaudière électrique.

L'eau chaude est obtenue en petites quantités, soit au moyen de bouilloires, soit au moyen de casseroles ordinaires et de réchauds. Dans les cuisines, on emploie des casseroles et des marmites ordinaires sur les plaques chauffantes du fourneau, ou bien des marmites électriques de capacité appropriée qui, dans les grandes cuisines, peut atteindre plusieurs hectolitres.

Mais pour l'eau destinée aux usages domestiques importants : toilette, lavage de la vaisselle, préparation des bains, buanderie, dont le prix de revient doit être modéré, il convient d'adopter des dispositifs permettant aux Sociétés de distribution d'appliquer pour cette utilisation de l'énergie un tarif peu élevé.

A cet effet, on emploie des chaudières ou « boilers » formant réservoirs contenant par exemple l'eau chaude nécessaire au ménage pour toute une journée. Ces chaudières sont munies d'une enveloppe isolante réduisant au minimum les pertes de chaleur, et absorbant une puissance relativement faible, soit d'une façon continue pendant vingt-quatre heures par jour, soit seulement pendant une période déterminée de la journée, par exemple, pendant la nuit. Dans ces deux cas, des tarifs réduits peuvent être avantageux, tant pour le fournisseur que pour les abonnés.

Le chauffage continu est adopté principalement en Amérique. Par exemple, une puissance de 100 watts suffira à alimenter une chaudière de 25 litres. Pour un rendement de 90 pour 100, l'énergie ainsi fournie pendant vingt-quatre heures par jour permettra de porter la température de ce volume d'eau de 15 à 90 degrés.

Le chauffage de l'eau pendant une période ou plusieurs périodes du jour, principalement la nuit, est adopté d'une façon générale en Suisse.

Les « boilers » les plus employés dans les ménages ont des capacités de 10, 15, 20, 25, 30, 40 et 50 litres. Le plus courant est celui de 30 litres qui consomme 200 à 300 watts.

Ces petites chaudières sont formées d'un corps cylindrique vertical à fonds sphériques, en tôle galvanisée, garni d'une enveloppe de tôle ou de zinc, peinte en vernis blanc, avec interposition d'un isolant thermique, tel que le liège granulé.

L'eau froide pénètre par le fond inférieur, tandis que l'eau chaude est prise par un tube vertical, logé dans la chaudière, dans la calotte supérieure de laquelle il débouche. Ce tuyau d'évacuation n'a pas de robinet. En cas d'oubli, ou de non fonctionnement du régulateur thermométrique, ce tube sert d'échappement à la vapeur et garantit contre toute explosion. Pour recueillir de l'eau chaude, on ouvre le robinet d'eau froide; celle-ci pénètre par le bas et refoule sans brassage l'eau chaude vers le haut. L'élément chauffant, en forme de cartouche, est logé dans une cavité ménagée à la partie inférieure de la chaudière. Cet élément est soit simple, établi d'ordinaire pour une puissance de 7,5 watts par litre de capacité de la chaudière, soit divisé en deux sections, dont l'une a les trois quarts et la seconde, le quart de la puissance totale, laquelle est en général de 10 watts par litre de capacité. Lorsque la température de l'eau atteint la limite imposée, 90 ou 95 degrés, un régulateur thermométrique met hors circuit l'élément unique, dans le premier cas, ou la grosse section de l'élément double, laissant la petite section seule fonctionner de façon à maintenir la température maximum.

Ces chaudières sont commandées par un conjoncteur-disjoncteur à horloge avec compteur, connectant l'appareil au réseau pendant la période de faible tarif.

Nous avons vu, page 22, que pour préparer un bain on peut employer une chaudière d'environ 100 litres fournissant l'eau à 90 degrés. Cette chaudière a, en général, une puissance de 1 kilowatt. Le temps nécessaire pour le chauffage est de dix à onze heures.

Pour les hôtels, la toilette des ouvriers dans les usines, les buanderies, les teintureries, etc., le chauffage par circulation d'eau chaude, on

emploi de grosses chaudières avec ou sans pression, dans lesquelles la chaleur peut être produite dans des résistances métalliques noyées dans l'eau, ou bien par le passage du courant dans l'eau même qui fait ainsi fonction de résistance.

Dans ce dernier dispositif, les électrodes sont constituées par des tiges ou des plaques de fer, de fonte ou de charbon. Les conducteurs traversent les parois de la chaudière dans des isolateurs de porcelaine ou autre matière isolante à joint étanche.

La Wabasso Cotton Co, de Québec (Canada), possède deux chaudières électriques, à axe vertical, absorbant chacune une puissance de 700 kilowatts à 2.400 volts et produisant de la vapeur à la pression de 8,9 kilogrammes par centimètre carré. Ces chaudières sont munies d'une enveloppe isolante réduisant les pertes de chaleur au minimum. Les rendements mesurés sont 96 pour 100 à pleine charge et 92 pour 100 à demi-charge.

Les éléments électriques sont introduits par le trou d'homme et sont montés par groupe de trois en étoile. Chaque élément est formé d'un tube vertical conique de porcelaine de grand diamètre, la grande base étant à la partie supérieure; la base inférieure porte une électrode de fer fixe, tandis que la seconde électrode, en forme d'anneau, est placée à la partie supérieure. Un volant à main, à axe horizontal, monté sur la paroi verticale de la chaudière, permet de rapprocher ou d'éloigner cette seconde électrode de la première. Lorsque le niveau de l'eau est normal, ces éléments sont submergés. L'enveloppe de la chaudière est mise à la terre.

Une chaudière du même type de 2.000 kilowatts à 5.000 volts, fonctionne dans une usine de Finlande.

La Société Brown-Boveri, de Baden, construit des chaudières électriques analogues aux précédentes, utilisant directement le courant de haute tension, alternatif, diphasé ou triphasé, jusqu'à 15.000 volts. L'eau fait fonction de résistance dont la valeur, à la température de 160 degrés correspondant environ à la pression effective de 5 kilogrammes par centimètre carré, a été trouvée égale à la moitié de celle de l'eau froide. Des électrodes de fer ou de fonte fixes, isolées du corps de la chaudière par des isolateurs de porcelaine, plongent dans l'eau. Ces électrodes sont enveloppées partiellement d'un tube de grès ou de porcelaine que l'on peut, à l'aide d'un volant extérieur, élever ou abaisser, de façon à régler la résistance de passage du courant dans l'eau d'une électrode au neutre formé par le corps de la chaudière ou par un disque de tôle. Une enveloppe isolante réduit au minimum les pertes de chaleur. La chaudière peut être à haute pression.

L'hôtel Excelsior, à Rome, possède trois chaudières à vapeur absorbant chacune 250 kilowatts, dans lesquelles l'eau forme résistance.

La surechauffe de la vapeur est obtenue aisément en faisant passer celle-ci dans un tuyau renfermant un élément chauffant.

Distillation de l'eau.

D'après la formule de Regnault, la quantité de chaleur nécessaire pour vaporiser 1 kilogramme d'eau prise à la température 0 degré est

$$Q = 606,5 + 0,305 \theta$$

Si l'eau est prise à zéro et distillée à la pression atmosphérique, on a $\theta = 100$ degrés.

$$Q = 606,5 + 30,5 = 637 \text{ calories.}$$

Si l'eau est prise à 15 degrés, la quantité de chaleur est

$$Q = 606,5 + 0,305 \cdot 100 - 15 = 622 \text{ calories.}$$

Si la chaudière avait un rendement égal à l'unité, la distillation de 1 litre d'eau absorberait

$$1 \text{ kWh. } \frac{622}{862} = 0,721 \text{ kWh.}$$

Si le rendement de l'alambic est de 85 pour 100, l'énergie nécessaire pour distiller 1 litre d'eau prise à 15 degrés est

$$\frac{0,721}{0,85} = 0,848 \text{ kWh.}$$

Dans une distillation continue, on récupère une fraction de la chaleur contenue dans la vapeur en alimentant la chaudière au moyen de l'eau à 90 degrés environ, qui se trouve à la partie supérieure de la cuve du serpent. Dans ce cas, la chaleur absorbée par litre d'eau distillée est

$$Q = 606,5 + 0,305 \cdot 100 - 90 = 547 \text{ calories.}$$

et l'énergie électrique nécessaire

$$\frac{547}{862 \cdot 0,85} = 0,746 \text{ kWh.}$$

Les gros appareils distillatoires sont à effet multiple, beaucoup plus économiques que les alambics ordinaires. Ainsi un appareil à quadruple effet produisant 20 tonnes d'eau distillée par jour donne 3 kg. 5 d'eau distillé par kilogramme de vapeur à la pression de 7 kilogrammes par centimètre carré.

Une usine de New-York produisant 20 tonnes de glace par jour distille l'eau nécessaire dans un appareil électrique à quadruple effet.

Le tableau ci-après indique l'énergie électrique nécessaire pour vaporiser 1 kilogramme d'eau prise à 0 degré, sous différentes pressions absolues, le rendement étant admis égal à l'unité.