

ANNALES  
DE LA  
SOCIÉTÉ D'AGRICULTURE  
SCIENCES ET INDUSTRIE  
DE LYON

---

1918-1921

---



LYON  
SOCIÉTÉ ANONYME DE L'IMPRIMERIE A. REY  
4, RUE GENTIL, 4  
—  
1922

## SÉANCES DES 6 ET 13 AVRIL 1921

**Présidence de M. R. BUSQUET***Président de la Société.*

Dans ces deux séances, la parole est à M. RODET, ingénieur des Arts et Manufactures, pour son intéressante conférence sur :

## ÉLECTROTHERMIE

Cette étude a pour objet les applications de la transformation de l'énergie électrique en chaleur, à l'exclusion, toutefois, de l'électrochimie et de l'électrometallurgie.

Dans l'industrie, cette utilisation de l'énergie électrique réalise, en général, une simplification de service et une réduction de main-d'œuvre, améliore la fabrication et la rend plus économique, ce dernier avantage résultant d'ordinaire du rendement plus élevé que celui des autres modes de chauffage et de l'économie de main-d'œuvre.

Dans le ménage, les avantages de ces applications de l'énergie électrique sont la commodité, la simplicité, la propreté, la sécurité, la salubrité et la réduction de main-d'œuvre domestique.

Comme l'utilisation de l'énergie électrique pour l'éclairage et les moteurs les applications électrothermiques sont moins du domaine du luxe que de celui du confort et de l'hygiène et répondent aux conditions actuelles de la vie.

Cette étude est divisée en six chapitres.

- I. *Notions générales.*
- II. *Applications diverses. — Chauffage de l'eau. — Distillation. — Chauffage de l'air.*
- III. *Chauffage des locaux.*
- IV. *Cuisine électrique.*
- V. *Cuisson du pain.*
- VI. *Conclusions. — Tarification de l'énergie électrique.*

## CHAPITRE PREMIER

## NOTIONS GÉNÉRALES

## 1. Unités.

Nous ferons usage des principales unités suivantes :

## 1° Unités fondamentales c. g. s., absolues :

|                             |             |
|-----------------------------|-------------|
| Unité de longueur . . . . . | centimètre. |
| Unité de masse . . . . .    | gramme.     |
| Unité de temps . . . . .    | seconde.    |

## 2° Unités de force :

|                            |                          |
|----------------------------|--------------------------|
| Unité absolue. . . . .     | dyne.                    |
| Unités pratiques . . . . . | { gramme.<br>kilogramme. |

## 3° Unités de travail ou d'énergie :

|                                   |                         |
|-----------------------------------|-------------------------|
| Unité absolue. . . . .            | erg ou dyne-centimètre. |
| Unité mécanique pratique. . . . . | kilogrammètre.          |

## 4° Unités de chaleur :

|   |  |
|---|--|
| Unité de température . . . . .          | degré-centigrade.                        |
| Unités de quantité de chaleur . . . . . | { gramme-calorie.<br>kilogramme-calorie. |

## 5° Unités électriques :

|   |            |
|---|------------|
| Unité absolue d'intensité . . . . .               | abampère.  |
| Unité pratique d'intensité . . . . .              | ampère.    |
| Unité absolue de force électromotrice . . . . .   | abvolt.    |
| Unité pratique de force électromotrice. . . . .   | volt.      |
| Unité absolue de quantité d'électricité. . . . .  | abcoulomb. |
| Unité pratique de quantité d'électricité. . . . . | coulomb.   |

|  |   |
|--|---|
| Unité absolue de résistance . . . .    | abohm.  |
| Unité pratique de résistance . . . .   | ohm.  |
| Unité absolue d'énergie . . . . .      | abjoule.  |
| Unités pratiques d'énergie. . . . .    | { joule ou wattseconde.<br>wattheure.<br>kilowattheure. |
| Unité absolue de puissance . . . . .   | abwatt.   |
| Unité pratique de puissance . . . . .  | watt.   |
| Unité de champ magnétique . . . . .    | maxwell.  |
| Unité d'intensité de champ magnétique. | gauss.  |

M. A.-E. Kennelly a proposé de désigner les unités électriques absolues par le nom des unités pratiques précédé du préfixe *ab*, abréviation de absolu.

- 1 ampère =  $10^{-1}$  abampère.
- 1 volt =  $10^8$  abvolts.
- 1 ohm =  $10^9$  abohms.

1 coulomb est la quantité d'électricité déposant dans le voltamètre à argent 1,118 milligramme d'argent. Le courant de 1 ampère circulant pendant une seconde produit une quantité d'électricité égale à 1 coulomb.

Les trois tableaux suivants indiquent respectivement :

- Les unités de force ;
- Les unités de travail ou d'énergie ;
- Les unités de puissance.

I. — Unités de force.

|                             | UNITÉ ABSOLUE<br>Dyne | UNITÉS MÉCANIQUES |                   |
|-----------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|
|                             |                       | Gramme<br>Gr.     | Kilogramme<br>Kg. |
| 1 dyne vaut . . . . .       | 1                     | 0,00102           | 0,00000102        |
| 1 gramme vaut . . . . .     | 980,6                 | 1                 | 0,001             |
| 1 kilogramme vaut . . . . . | 980600                | 1000              | 1                 |

## II. — Unités de travail ou d'énergie.

|                                     | UNITÉ<br>ABSOLUE<br>Erg. | UNITÉS MÉCANIQUES |                       | UNITÉS ÉLECTRIQUES         |                          |                              |                           | UNITÉS DE CHALEUR      |                         |
|-------------------------------------|--------------------------|-------------------|-----------------------|----------------------------|--------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------|-------------------------|
|                                     |                          | Gr.-cm.           | Kgm.                  | Joule<br>ou<br>wattseconde | Wattheure<br>Wh.         | Kilowatt-<br>seconde<br>Kws. | Kilowatt-<br>heure<br>Kwh | Gr.-calorie            | Kg.-calorie             |
| Erg ou dyne-cm.                     | 1                        | 0,00102           | $1,02 \times 10^{-8}$ | $1 \times 10^{-7}$         | $0,2778 \times 10^{-10}$ | $1 \times 10^{-10}$          | $0,2778 \cdot 10^{-13}$   | $2,3938 \cdot 10^{-8}$ | $2,3938 \cdot 10^{-11}$ |
| Gr.-cm . . . . .                    | 980,6                    | 1                 | $1 \cdot 10^{-5}$     | $9,806 \times 10^{-5}$     | $2,722 \times 10^{-8}$   | $9,806 \cdot 10^{-8}$        | $2,722 \cdot 10^{-11}$    | $2,3474 \cdot 10^{-5}$ | $2,3474 \cdot 10^{-8}$  |
| Kilogrammètre . .                   | 98.060.000               | 100.000           | 1                     | 9,806                      | 0,002722                 | 0,009806                     | $2,722 \cdot 10^{-8}$     | 2,3474                 | 0,0023474               |
| Joule ou wattse-<br>conde . . . . . | $1 \times 10^7$          | 367.123           | 0,102                 | 1                          | 0,0002777                | 0,001                        | $2,777 \cdot 10^{-7}$     | $2,3938 \cdot 10^{-1}$ | $2,3938 \cdot 10^{-4}$  |
| Wattheure . . . .                   | $3.600 \times 10^7$      | 101.978,4         | 367,123               | 3.600                      | 1                        | 3,6                          | 0,001                     | 862                    | 0,862                   |
| Kilowattseconde.                    | $1 \times 10^{10}$       | 367.122.000       | 102                   | 1.000                      | 0,2777                   | 1                            | 0,0002777                 | 239,38                 | 0,23938                 |
| Kilowattheure . .                   | $3,600 \times 10^{10}$   | 10.197.840        | 367.123               | $3.600 \times 10^3$        | 1.000                    | 3.600                        | 1                         | 862000                 | 862                     |
| Gr.-calorie . . .                   | $4,189 \times 10^7$      | 42.600            | 0,426                 | 4,177                      | 0,00116                  | $4,177356 \cdot 10^{-3}$     | $1,16376 \cdot 10^{-6}$   | 1                      | 0,001                   |
| Kg.-calorie . . .                   | $4,189 \times 10^{10}$   | 42.600.000        | 426                   | 4.177,                     | 1,16376                  | 4,177356                     | $1,16376 \cdot 10^{-3}$   | 1000                   | 1                       |

## III. — Unités de puissance.

|                         | UNITÉ ABSOLUE<br>erg par seconde | UNITÉS MÉCANIQUES      |                              |                        | UNITÉS ÉLECTRIQUES    |                       |
|-------------------------|----------------------------------|------------------------|------------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
|                         |                                  | Gr.-cm.<br>par seconde | Kilogrammètre<br>par seconde | Cheval<br>HP           | Watt                  | Kilowatt              |
| Erg par seconde . . .   | 1                                | 0,00102                | $1,02 \cdot 10^{-8}$         | $1,36 \cdot 10^{-10}$  | $1 \cdot 10^{-7}$     | $1 \cdot 10^{-10}$    |
| Gr.-cm. par seconde . . | 980,6                            | 1                      | $1 \cdot 10^{-5}$            | $1,3333 \cdot 10^{-7}$ | $9,806 \cdot 10^{-5}$ | $9,806 \cdot 10^{-8}$ |
| Kgm. par seconde . . .  | 98.060.000                       | $1 \cdot 10^5$         | 1                            | 0,013333               | 9,806                 | 0,009806              |
| Cheval . . . . .        | $735,5 \cdot 10^7$               | $75 \cdot 10^5$        | 75                           | 1                      | 735,5                 | 0,7355                |
| Watt . . . . .          | $1 \cdot 10^7$                   | $0,102 \cdot 10^5$     | 0,102                        | 0,00136                | 1                     | 0,001                 |
| Kilowatt . . . . .      | $1 \cdot 10^{10}$                | $0,102 \cdot 10^8$     | 102                          | 1,36                   | 1000                  | 1                     |

Un corps tombant librement à la surface de la Terre éprouve de la Terre une accélération de 9 m. 806 ou 980 cm. 6 par seconde par seconde.

L'accélération varie avec la latitude ; elle est :

|       |             |     |         |     |         |     |              |
|-------|-------------|-----|---------|-----|---------|-----|--------------|
| 980,6 | centimètres | par | seconde | par | seconde | à   | Paris ;      |
| 978   | —           | —   | —       | —   | —       | à   | l'équateur ; |
| 983   | —           | —   | —       | —   | —       | aux | pôles.       |

1 centimètre cube d'eau, à la température de 4 degrés centigrades. représentant la masse de 1 gramme, éprouve donc de la Terre, à la surface de celle-ci, une accélération de 980 cm. 6 par seconde par seconde. La force qui produit cette accélération est égale à 1 gramme.

1 dyne est la force imprimant à la *masse de 1 gramme*, c'est-à-dire à la masse de 1 centimètre cube d'eau à la température de 4 degrés, l'accélération de 1 centimètre par seconde par seconde. 1 dyne vaut donc  $\frac{1}{980,6}$  gramme.

1 litre ou 1 décimètre cube d'eau à la température de 4 degrés éprouve à la surface de la Terre une accélération de 980 cm. 6 par seconde par seconde et une attraction de 1 kilogramme ou 980.600 dynes.

Une force de 1 dyne se déplaçant de 1 centimètre produit un travail de 1 erg.

Une force de 1 kilogramme se déplaçant de 1 mètre produit un travail de 1 kilogrammètre ou :

$$980.600 \times 100 = 98.060.000 \text{ ergs}$$

Une force produisant un travail au taux de 1 erg par seconde produit une puissance de 1 erg par seconde.

1 gramme-calorie est la quantité de chaleur capable d'élever la température de 1 gramme d'eau de 15 à 16 degrés.

1 kilogramme-calorie vaut 1.000 gramme-calories.

L'équivalent mécanique de la chaleur est 426, c'est-à-dire que 1 kilogramme-calorie équivaut à 426 kilogrammètres.

Une masse de 1 litre d'eau à 4 degrés tombant librement d'une hauteur de 1 mètre à la surface de la terre emmagasine au bout de sa course une énergie cinétique de 1 kilogrammètre.

Si au bout de sa course nous arrêtons brusquement cette masse, son énergie cinétique se transforme en chaleur égale à  $\frac{1}{426}$  kilogramme-calorie et sa température s'élève de  $\frac{1}{426}$  degré.

Un conducteur rectiligne de 1 centimètre de longueur, parcouru par un courant de 1 abampère (ou 10 ampères) situé dans un champ magnétique de 1 gauss, perpendiculairement aux lignes de force éprouve de ce champ, normalement au conducteur et à la direction du champ, un effort

égal à 1 dyne. En conséquence, un conducteur rectiligne de 1 mètre, ou 100 centimètres, de longueur, parcouru par un courant de 1 ampère, situé dans un champ de 1.000 gauss, perpendiculairement aux lignes de force, éprouve un effort normal égal à :

$$1 \times 10^{-1} \times 100 \times 1.000 = 10.000 \text{ dynes}$$

ou 10 gr. 2. Marcel Deprez a appelé un tel "conducteur de 1 mètre parcouru par un courant de 1 ampère 1 *mètre-ampère*.

Un conducteur rectiligne de 1 centimètre de longueur, situé dans un champ magnétique de 1 gauss, perpendiculairement aux lignes de force, se déplaçant normalement à lui-même et à la direction du champ à la vitesse de 1 centimètre par seconde, produit une force électromotrice, ou différence de potentiel entre ses extrémités, de 1 abvolt. Si ce conducteur est parcouru par un courant de 1 abampère, ou 10 ampères, il produit une puissance de 1 erg par seconde. Il faut donc dépenser une puissance de 1 erg par seconde pour déplacer ce conducteur contre l'action du champ.

Considérons encore un conducteur rectiligne de 1 mètre de longueur se déplaçant dans un champ de 1.000 gauss à la vitesse de 10 mètres par seconde. Ce conducteur engendrera une force électromotrice égale à :

$$1 \times 100 \times 1.000 \times 10 = 10^8 \text{ abvolts.} \\ = 1 \text{ volt.}$$

Si nous fermons ce conducteur de façon à former un circuit ayant une résistance de 1 ohm, un courant de 1 ampère prendra naissance et la puissance engendrée sera de 1 watt.

Ainsi que nous l'avons vu ci-dessus, l'effort nécessaire pour déplacer ce conducteur est égal à 10.000 dynes ou 0,0102 kilogramme et la puissance absorbée :

$$10.000 \text{ dynes} \times 1.000 \text{ centimètres} = 10^7 \text{ ergs par seconde.}$$

$$\text{Or :} \quad 1 \text{ erg} = \frac{1}{98.060.000} \text{ kilogrammètre.}$$

La condition d'égalité de la puissance produite et de la puissance absorbée donne donc :

$$1 \text{ watt} = \frac{1}{98.060.000} 10^7 \\ = \frac{1}{9,806} \text{ kilogrammètre par seconde.} \\ = 0,102 \text{ kilogrammètre par seconde.}$$

ou :

$$1 \text{ kilogrammètre par seconde} = 9,809 \text{ watts.}$$

D'autre part :

$$1 \text{ kilowattheure} = 1.000 \text{ watts} \times 3.600 \text{ secondes,} \\ = 3.600.000 \text{ wattsecondes.}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ou : } 1 \text{ kilowattheure} &= \frac{1}{9,806} \cdot 10^8 \cdot 3.600. \\
 &= \frac{3.600.000}{9,806} \text{ kilogrammètres.} \\
 &= \frac{3.600.000}{9,806} \cdot \frac{1}{426} \text{ kg-calories.} \\
 &= 862 \text{ kg-calories.}
 \end{aligned}$$

1 kilowattheure est donc équivalent à 862 calories.

La transformation de l'énergie électrique en chaleur est sensiblement intégrale.

Les lampes électriques à filament de tungstène dans le vide transforment l'énergie électrique dans la proportion de 2 pour 100 en lumière et de 98 pour 100 en chaleur.

Les groupes électrogènes à turbine à vapeur de plusieurs milliers de kilowatts ne transforment en énergie électrique guère que 12 pour 100 de l'énergie calorifique du combustible.

Dans nombre de cas le rendement extrêmement élevé de la transformation de l'énergie électrique en chaleur assure à celle-ci la supériorité sur d'autres systèmes de chauffage disposant d'énergie dont le prix de l'unité est moindre mais dont le rendement est très inférieur.

Le tableau ci-après indique le coût de 1.000 calories fournies par transformation de l'énergie électrique pour différents prix du kilowattheure :

| Prix du kilowattheure. | Prix des 1.000 calories. | Prix du kilowattheure. | Prix des 1.000 calories. |
|------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|
| centimes               | centimes                 | centimes               | centimes                 |
| 1                      | 1,16                     | 17                     | 19,72                    |
| 2                      | 2,32                     | 18                     | 20,88                    |
| 3                      | 3,48                     | 19                     | 21,64                    |
| 4                      | 4,64                     | 20                     | 23,20                    |
| 5                      | 5,80                     | 22                     | 25,52                    |
|                        | 6,96                     | 25                     | 29,00                    |
| 7                      | 8,12                     | 30                     | 34,80                    |
| 8                      | 9,28                     | 35                     | 40,60                    |
| 9                      | 10,04                    | 40                     | 46,40                    |
| 10                     | 11,60                    | 45                     | 52,20                    |
| 11                     | 12,76                    | 50                     | 58,00                    |
| 12                     | 13,92                    | 60                     | 69,60                    |
| 13                     | 15,08                    | 70                     | 81,20                    |
| 14                     | 16,24                    | 80                     | 92,80                    |
| 15                     | 17,40                    | 90                     | 100,40                   |
| 16                     | 18,56                    | 100                    | 116,00                   |

## 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. 98 :

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

Pendant une heure l'énergie électrique consommée est :

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

et la chaleur produite :

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

Soient :

$\rho$  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 :

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

$$P = EI = RI^2$$

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° 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 :

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

d'où :

$$(11) \quad \frac{l_1}{l} = \frac{d_2 P_1}{d_1 P_2}$$

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 :

$$\frac{l_2}{l_1} = \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{1}{3}}$$

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

Nous avons :

$$(1) \quad R_1 I_1^2 = R_2 I_2^2 = E_1 I_1 = E_2 I_2$$

$$(2) \quad \frac{I_2}{I_1} = \frac{E_1}{E_2}$$

$$(3) \quad \frac{R_2}{R_1} = \frac{I_1^2}{I_2^2} = \frac{E_2^2}{E_1^2}$$

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  $\rho_1$  et  $\rho_2$ .

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 :

$$(2) \quad \frac{\frac{\rho_1 l_1}{\pi d_1^2}}{4} = \frac{\rho_2 l_2}{\pi d_2^2} \cdot \frac{1}{4}$$

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

centigrades, de 99,6 microhms-cm. Son coefficient de température est  $0,44 \cdot 10^{-3}$ . 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  $0,162 \cdot 10^{-3}$ . Il est capable de fonctionner continuellement à 1.100 degrés centigrades. Sa composition est la suivante :

|                  |             |
|------------------|-------------|
| Nickel . . . . . | 65 pour 100 |
| Fer . . . . .    | 29 —        |
| Chrôme . . . . . | 6 —         |

La General Electric C<sup>o</sup> produit un alliage appelé *calorite* dont la composition est la suivante :

|                     |             |
|---------------------|-------------|
| Nickel . . . . .    | 65 pour 100 |
| Fer . . . . .       | 15 —        |
| Chrôme . . . . .    | 12 —        |
| Manganèse . . . . . | 8 —         |

Enfin un autre allié américain de premier ordre, le *calido*, a une résistivité de 99,6 microhms-cm. et un coefficient de température de  $0,342 \cdot 10^{-3}$  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 comme 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-fer 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  $\theta_0$  à la température  $\theta_1$  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  $\eta$ , 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<br>en centimes | Dépense en centimes                 |                                  |
|----------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
|                            | Bouilloire<br>Rendement 80 pour 100 | Réchaud<br>Rendement 60 pour 100 |
| 100                        | 12,33                               | 16,64                            |
| 90                         | 11,19                               | 15,00                            |
| 80                         | 9,86                                | 13,33                            |
| 70                         | 8,63                                | 11,65                            |
| 60                         | 7,40                                | 10,00                            |
| 50                         | 6,12                                | 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 112, 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 teinturerie, 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 surchauffe 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  $\theta$  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 distillée 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.

Vapeur saturée. — Température initiale de l'eau : 0 degré.

| PRESSION<br>absolue<br>de la vapeur<br>Kg/cm <sup>2</sup> | TEMPÉRATURE<br>Degrés | CHALEUR<br>totale par kg.<br>Calories | POIDS<br>SPÉCIFIQUE<br>de m <sup>3</sup><br>de vapeur<br>Kg. | ÉNERGIE<br>absorbée par<br>kg. de vapeur<br>Kwh. |
|---|-----------------------|---------------------------------------|--|--|
| 0,1   | 45,58                 | 620,4                                 | 0,0665   | 0,720  |
| 0,2   | 59,76                 | 624,7                                 | 0,1281   | 0,725  |
| 0,4   | 75,47                 | 629,5                                 | 0,2459   | 0,730  |
| 0,6   | 85,48                 | 632,5                                 | 0,3600   | 0,734  |
| 0,8   | 93                    | 634,8                                 | 0,4719   | 0,737  |
| 1   | 99,09                 | 636,7                                 | 0,5823   | 0,739  |
| 1,2   | 104,24                | 638,3                                 | 0,6907   | 0,740  |
| 1,4   | 108,72                | 639,6                                 | 0,7983   | 0,742  |
| 1,6   | 112,70                | 640,9                                 | 0,9050   | 0,744  |
| 1,8   | 116,29                | 642                                   | 1,0109   | 0,745  |
| 2   | 119,57                | 643                                   | 1,1161   | 0,746  |
| 2,1   | 121,11                | 643,4                                 | 1,1684   | 0,747  |
| 2,2   | 122,59                | 643,9                                 | 1,2206   | 0,747  |
| 2,3   | 124,02                | 644,3                                 | 1,2726   | 0,748  |
| 2,4   | 125,39                | 644,7                                 | 1,3245   | 0,748  |
| 2,5   | 126,73                | 645,2                                 | 1,3763   | 0,748  |
| 2,6   | 128,02                | 645,5                                 | 1,4280   | 0,749  |
| 2,7   | 129,26                | 645,9                                 | 1,4793   | 0,749  |
| 2,8   | 130,48                | 646,3                                 | 1,5307   | 0,750  |
| 2,9   | 131,65                | 646,7                                 | 1,5820   | 0,750  |
| 3   | 132,80                | 647                                   | 1,6332   | 0,751  |
| 3,5   | 138,10                | 648,6                                 | 1,8879   | 0,752  |
| 4   | 142,82                | 650,1                                 | 2,1400   | 0,754  |
| 4,5   | 147,09                | 651,4                                 | 2,3901   | 0,756  |
| 5   | 151                   | 652,6                                 | 2,6412   | 0,757  |
| 5,5   | 154,6                 | 653,7                                 | 2,8860   | 0,758  |
| 6   | 157,9                 | 654,7                                 | 3,1319   | 0,760  |
| 6,5   | 161,1                 | 655,6                                 | 3,3761   | 0,761  |
| 7   | 164                   | 656,5                                 | 3,6193   | 0,762  |
| 8   | 169,5                 | 658,2                                 | 4,1034   | 0,764  |
| 9   | 174,4                 | 659,7                                 | 4,5830   | 0,765  |
| 10  | 178,9                 | 661,1                                 | 5,0607   | 0,767  |
| 11  | 183,1                 | 662,3                                 | 5,5340   | 0,769  |
| 12  | 186,9                 | 663,5                                 | 6,0060   | 0,770  |
| 13  | 190,6                 | 664,6                                 | 6,4725   | 0,770  |
| 14  | 194                   | 665,7                                 | 6,9396   | 0,772  |
| 15  | 197,2                 | 666,7                                 | 7,4019   | 0,773  |

## Chauffage de l'air.

Soit à chauffer une masse d'air occupant un volume de 1 mètre cube à zéro degré, de 0 à  $\theta$  degrés. Le poids de 1 mètre cube d'air à la température de 0 degré et à la pression de 760 millimètres de mercure est 1 kg. 293 et sa chaleur spécifique à pression constante est 0,23741.

La chaleur que nous devons fournir est

$$0,23741 \times 1,293 \theta = 0,307 \theta \text{ calories}$$

ou

$$\frac{0,307 \theta}{862} = 0,000356 \theta \text{ kwh.}$$

Le tableau suivant indique le nombre de kilowattheures nécessaires pour chauffer une masse d'air occupant un volume de 1.000 mètres cubes à 0 degré et 760 millimètres de mercure, de 0 degré à diverses températures.

| Température finale<br>Degrés | Calories | Kilowattheures |
|------------------------------|----------|----------------|
| 5                            | 1.535    | 1,78           |
| 10                           | 3.070    | 3,56           |
| 15                           | 4.605    | 5,35           |
| 20                           | 6.140    | 7,13           |
| 25                           | 7.675    | 8,90           |
| 30                           | 9.210    | 10,70          |
| 40                           | 12.280   | 14,25          |
| 50                           | 15.350   | 17,81          |
| 60                           | 18.420   | 21,40          |
| 70                           | 21.490   | 24,93          |
| 80                           | 24.560   | 28,50          |
| 90                           | 27.630   | 32,05          |
| 100                          | 30.700   | 35,61          |
| 110                          | 33.770   | 39,17          |
| 120                          | 36.840   | 42,75          |
| 130                          | 39.910   | 46,32          |
| 140                          | 42.980   | 49,86          |
| 150                          | 46.050   | 53,42          |
| 160                          | 49.120   | 57,02          |
| 170                          | 52.190   | 60,54          |
| 180                          | 55.260   | 64,12          |
| 190                          | 58.330   | 67,66          |
| 200                          | 61.400   | 71,22          |

## CHAPITRE III

## CHAUFFAGE DES LOCAUX

Dans le chauffage des locaux deux causes exigent un apport de chaleur :

- 1° La ventilation ou le renouvellement de l'air;
- 2° Les pertes de chaleur à travers les parois, murs, cloisons, planchers, portes et fenêtres.

La ventilation doit dépendre du nombre de personnes présentes.

Un homme adulte, à jeun, au repos, par la respiration brûle par heure 11 à 12 grammes de carbone et 0 gr. 5 d'hydrogène en absorbant environ 34 grammes d'oxygène et en produisant 22 litres ou 42 grammes d'acide carbonique et 4 gr. 5 de vapeur d'eau.

Les poumons rejettent 21 grammes de vapeur d'eau et la respiration cutanée 41 grammes de vapeur d'eau par heure, formant un total de 62 grammes.

La chaleur dégagée par la combustion est de 106 calories dont il y a à soustraire 36 calories pour la vapeur formée. La chaleur libre dégagée par heure est donc de 70 calories correspondant à une puissance de 80 watts.

L'homme, après le repas, au repos, absorbe 54 grammes d'oxygène par heure; après le repas, l'homme effectuant un travail de 1 kgm. 63 par seconde absorbe 133 grammes d'oxygène par heure.

Rappelons, à titre de comparaison, qu'une bougie brûlant 11 grammes d'acide stéarique par heure dégage 100 calories et qu'une lampe Carcel brûlant 42 grammes d'huile de colza par heure dégage 400 calories.

L'hygiène exige que la teneur en acide carbonique dans l'air d'un local habité ne dépasse pas  $\frac{1}{1\ 000}$  ou au maximum  $\frac{2}{1\ 000}$ . La présence de chaque homme dans un local dont le volume n'est pas considérable, exige donc un renouvellement de 10 à 20 mètres cubes d'air par heure. En outre, le degré hygrométrique doit être maintenu entre 0,50 et 0,70.

Si l'air est pris à - 5 degrés et chauffé à + 18 degrés, l'énergie absorbée par la ventilation est donc, d'après les calculs précédents relatifs au chauffage de l'air

$$10 \times 0,00035 \times 23 = 0,080 \text{ kwh correspondant à } 80 \text{ watts}$$

ou

$$20 \times 0,00035 \times 23 = 0,160 \quad \text{---} \quad \text{---} \quad 160 \quad \text{---}$$

L'homme produisant 70 calories par heure ou 80 watts suffit donc au besoin à chauffer l'air de sa ventilation propre.

Les pertes de chaleur par les parois dépendent de la surface, de l'épaisseur, de la nature de ces parois ainsi que de la différence de température entre le parement intérieur et le parement extérieur.

L'expérience a montré que l'on peut, en général, adopter un certain nombre de watts par mètre cube de capacité du local, soit de 30 à 50 watts, exceptionnellement jusqu'à 80 watts par mètre cube. Par exemple un local ayant comme dimensions 4 m.  $\times$  5 m.  $\times$  3 m. 25 = 65 mètres cubes exigera, à raison de 50 watts par mètre cube, une puissance de 3 kw. 25.

A Idaho on admet une puissance d'au moins 10 kilowatts pour un appartement moyen de cinq à six pièces.

Le chauffage des locaux peut être réalisé suivant deux méthodes principales :

1° Au moyen de poêles ou radiateurs dégageant directement et immédiatement dans le local la chaleur produite par l'énergie électrique dans des résistances. Cette chaleur est émise par rayonnement ou par convection, ou encore simultanément par les deux phénomènes ;

2° Par une combinaison d'appareils emmagasinant la chaleur produite par la transformation de l'énergie électrique pendant une certaine période de la journée, chaleur qui est utilisée ultérieurement pour le chauffage des locaux aux moments opportuns.

Le chauffage électrique des locaux offre de grands avantages au point de vue de la commodité, de la propreté, de la rapidité, de la sécurité, de l'hygiène, de la suppression de la main-d'œuvre. Il évite l'encombrement et la manipulation du combustible et des cendres.

En 1919, la ville de Zurich comptait 3.000 radiateurs de 0,6, 1 et 1 kw. 5 utilisés principalement dans les chambres à coucher.

Le rendement en chaleur d'un poêle électrique est égal à l'unité. Il s'ensuit que dans certains cas le chauffage électrique, même pour un prix élevé de l'énergie, peut n'être pas plus coûteux que d'autres chauffages n'utilisant qu'une très faible fraction de la chaleur dégagée par le combustible. Par exemple les cheminées produisent une ventilation si énergique que l'utilisation du combustible y est extrêmement faible.

Par contre le chauffage *direct* des appartements ou autres locaux offre en général des inconvénients pour les Sociétés de distribution d'énergie électrique :

1° La charge du chauffage peut se superposer aux autres charges : force motrice, éclairage, même pendant la pointe ;

2° Les poêles fonctionnent seulement pendant une fraction de l'année.

en hiver, période pendant laquelle la charge des usines génératrices et des réseaux est, d'autre part, maximum.

De la sorte les Sociétés de distribution d'énergie électrique sont moins disposées à favoriser le chauffage *direct* que d'autres applications consommant de l'énergie d'une façon plus régulière, fonctionnant toute l'année ou même seulement pendant l'été.

Les poêles électriques peuvent être répartis dans trois classes :

Les uns sont constitués par des résistances, généralement en forme de boudins, renfermées dans une enveloppe de tôle perforée; l'air venant au contact de ces résistances chauffées par le courant s'échauffe et se répand dans le local. Ce sont des poêles à *convexion*.

D'autres poêles sont composés de résistances serrées entre des plaques de fer ou de fonte lisses ou à nervures. Ces surfaces rayonnent de la chaleur et en outre chauffent l'air qui vient les lécher. Ces appareils sont des poêles mixtes à radiation et à *convexion*.

Enfin, les poêles de la troisième catégorie sont formés essentiellement de fils de métal portés au rouge cerise. Ces poêles émettent la majeure partie de la chaleur par rayonnement; ce sont, à proprement parler, des radiateurs.

Une variante du chauffage électrique direct est le chauffage *central* par poêles à circulation d'eau alimentés par une chaudière électrique. L'eau circule au fur et à mesure qu'elle est chauffée par l'énergie électrique. La chaudière n'ayant pas à emmagasiner de la chaleur peut avoir une faible capacité. Ce système de chauffage a les mêmes inconvénients, au point de vue de la distribution, que celui par poêles électriques à utilisation immédiate et, en outre, a un rendement inférieur.

La Biltmore House, à Atlantic City, a un chauffage central à eau chaude. La chaudière, de 900 millimètres de diamètre et de 1 m. 500 de longueur, contient vingt éléments chauffants de 5 kilowatts renfermés dans des tubes de cuivre parallèles, disposés concentriquement. L'eau est portée à la température de 82 degrés. La buanderie possède un générateur de vapeur alimenté par une partie de l'eau de retour de la première chaudière. Ce générateur a cinq tuyaux verticaux de 76 millimètres de diamètre enveloppés chacun d'un élément chauffant de 7 kilowatts.

Le rendement moyen de ce chauffage à eau chaude est de 85 pour 100, tandis qu'un système de chauffage par eau avec chaudière à charbon a un rendement de 50 pour 100.

Le chauffage peut être réalisé par des poêles à vapeur, serpentins ou tuyaux à ailettes alimentés par une chaudière électrique. Nous avons

signalé page 115 l'application de ce système à l'hôtel Excelsior, à Rome, dans lequel sont installées trois chaudières à vapeur de 250 kilowatts.

Une application intéressante, en particulier pour les Sociétés de distribution d'énergie électrique, est le chauffage des dortoirs d'écoles. Ce chauffage fonctionne exclusivement la nuit et, en outre, il exige une puissance relativement modérée, car il suffit de maintenir dans ces locaux une température de 8 degrés.

Dans certains pays tels que la Bavière, le Wurtemberg, l'Autriche, la Suisse, le chauffage électrique direct a été appliqué à quelques églises.

Ce chauffage, fonctionnant pendant les offices du dimanche, à une époque où les usines génératrices, les transformateurs et les réseaux ne sont pas chargés, n'est pas une cause de trouble pour la distribution, mais est au contraire une source de revenus pour le fournisseur d'énergie électrique.

Comme les assistants gardent leur manteau, il n'est pas nécessaire d'obtenir une température élevée au-dessus de zéro. Par contre, la grande hauteur des nefs rend le chauffage difficile. Aussi a-t-on adopté en général le système par chauffe-pieds. Dans les églises en question, les sièges sont des bancs qui se prêtent à l'application de ce système. Du reste, ce genre de sièges a été partiellement conservé en France et est même adopté d'une manière exclusive dans les églises protestantes.

Saint-Sebaldu, à Nuremberg, église gothique du <sup>xiii</sup><sup>e</sup> siècle, comporte 1.100 places assises. Les bancs ont 4 mètres de longueur et leur développement total est de 530 mètres. Sous chaque banc est monté un élément en forme de chauffe-pieds ayant toute la longueur du banc. Cet élément est formé d'un tube de fer sur lequel est enroulé le fil de résistance isolé par des perles de verre. Cette résistance est elle-même logée dans un second tube de fer entouré d'une enveloppe de tôle à angles arrondis.

Pour 1.100 places assises la puissance absorbée de 220 kilowatts, courant triphasé à 230 volts, correspond à 200 watts par place et à 415 watts par mètre courant de tuyau chauffant dont la température superficielle est 70 degrés.

La température extérieure étant - 7 degrés et celle à l'intérieur 0 degré, on a trouvé qu'au bout d'une heure un quart le tuyau chauffant atteint une température constante de 70 degrés et la tôle de l'enveloppe 27 degrés. La température de l'air est de 7 degrés à la hauteur des genoux et 4 degrés à la hauteur de la tête. La température de l'église est montée à trois quarts de degré. Une demi-heure après l'arrêt du courant, la température de l'enveloppe de tôle est encore de 23 degrés.

On ferme le courant trois quarts d'heure avant le service religieux et on le coupe trente minutes avant la fin du service. Le coût total de l'installation est de 42.000 francs.

D'autres églises moins importantes en Autriche, en Wurtemberg, en Suisse, sont chauffées électriquement. La puissance par mètre cube de capacité croît avec la hauteur des nefs, la surface des murs, des vitraux, avec les piliers.

Les églises de Tamm en Wurtemberg, de Bregenz en Autriche, de Wolfhalden, Schwellbrunn, Walzenhausen, en Suisse, sont équipées de chaufferettes. L'église d'Aroza, Suisse, est chauffée par des poêles. La puissance absorbée par le chauffage de ces six églises, dont la capacité varie entre 1.500 et 3.000 mètres cubes, est de 20 à 32 watts par mètre cube.

Le coût du chauffage pour vingt-cinq jours par an est minime. Pour le tarif de 12 centimes le kilowattheure avec l'emploi de chaufferettes, la dépense est de 2,5 à 3,75 centimes par place assise et par jour.

Le chauffage électrique est appliqué aux navires. Le coût du chauffage est plus élevé par l'électricité que par la vapeur, mais l'installation et le service du premier système sont plus simples. Les canalisations électriques, de faible diamètre et souples, se prêtent à une pose facile. Les fuites sont supprimées. La chaleur est mieux utilisée grâce à la position plus avantageuse des poêles électriques. Pour les prix anciens normaux du charbon le prix de revient du kilowattheure dans les navires était d'environ 5 centimes.

Pour un chauffage intermittent, le radiateur ou poêle à rayonnement, lumineux, à lampes ou à fil résistant porté au rouge cerise, est le meilleur. Pour un chauffage continu le poêle à convection, long, placé bas, avec déflecteur distribuant uniformément l'air chaud, a un bon rendement.

L'expérience a montré que pour maintenir la température de 21 degrés avec une ventilation remplaçant l'air tous les quarts d'heure par de l'air pris à 0 degré, une dépense de 40 à 55 watts par mètre cube du volume du local, suivant les conditions du chauffage, est nécessaire. La faible hauteur du plafond facilite le chauffage.

La seconde méthode consiste à chauffer, au moyen de l'énergie électrique, pendant une certaine période choisie du jour, par exemple pendant la nuit, des masses liquides ou solides emmagasinant ainsi la chaleur que l'on utilise ultérieurement à volonté.

Cette méthode peut être employée dans le chauffage par poêles à circulation d'eau. Une chaudière chauffée électriquement pendant la nuit,

par exemple, contient une quantité d'eau telle qu'elle constitue une réserve de chaleur suffisante pour alimenter les poêles à eau pendant la période d'utilisation.

Les bureaux du Service électrique de la ville de Lucerne sont chauffés par des poêles serpentins à eau ordinaires alimentés par une chaudière absorbant 250 à 300 kilowatts pendant la nuit.

Les bureaux du Service électrique de la ville de Zurich ont un chauffage analogue.

L'école municipale de Baden possède une installation de chauffage par circulation d'eau, avec poêles serpentins de fonte ordinaires. Dans les sous-sols sont installés deux chaudières à charbon qui ont été conservées comme secours. L'eau chaude est fournie normalement par une chaudière cylindrique horizontale de 15 mètres cubes chauffée électriquement la nuit à 120 degrés, température correspondant à la pression de la colonne d'eau de la canalisation ouverte dans l'atmosphère. La chaudière absorbe 200 kilowatts, courant diphasé à 220 volts, fourni par deux transformateurs  $\frac{2.000 \text{ volt}}{220 \text{ volts}}$  à deux résistances métalliques noyées dans l'eau, indépendantes l'une de l'autre. Le chauffage de l'eau a lieu pendant la nuit, à bas tarif. Il n'y a aucun appareil de réglage du courant. La fermeture et l'ouverture du circuit sont effectuées à la main. La circulation de l'eau est commandée par un régulateur : Un tuyau de fer vertical livrant passage à l'eau de retour, d'autant moins chaude que la température extérieure est plus basse, soulève plus ou moins la soupape de départ de l'eau chaude. Un régulateur thermométrique coupe le courant lorsque la température de l'eau de la chaudière atteint 120 degrés. La chaudière est munie d'une enveloppe isolante réduisant au minimum les pertes de chaleur.

L'hospice municipal de Baden possède un chauffage analogue au précédent. La chaudière, cylindrique, horizontale, a une capacité de 20 mètres cubes. Elle est chauffée pendant la nuit à 120 degrés par une puissance de 110 kilowatts à 2.000-2.800 volts, courant diphasé, sans transformateur. Un fil de cuivre met la chaudière à la terre. Un interrupteur avec horloge ferme le circuit pendant la nuit seulement. Cette chaudière, garnie d'une enveloppe isolante, est munie des mêmes régulateurs que celle de l'école municipale.

On construit des poêles électriques contenant de l'eau ou de l'huile chauffée par une résistance. Cette masse exige un certain temps pour atteindre la température de régime, mais elle continue d'émettre de la chaleur après l'arrêt du courant.

Dans certains pays froids du Nord et de l'Est on emploie des poêles de faïence (Kachelofen) essentiellement composés de terre glaise : briques, carreaux de faïence, catelles. Ces poêles sont chauffés au bois et accumulent une quantité importante de chaleur qu'ils continuent de dégager après extinction du feu.

Ce principe a été appliqué aux poêles électriques. Des résistances électriques chauffent, d'ordinaire pendant la nuit, à bas tarif, des masses de matière solide. Pendant le jour on ouvre à volonté un registre qui laisse échapper à la partie supérieure l'air entrant par la base du poêle et chauffé au contact des masses chaudes.

Les matières accumulatrices employées de préférence sont le sable, la glaise (chamotte) et la pierre ollaire ou serpentine, la stéatite.

La pierre ollaire (*ollaris* de *olla* marmite) est une serpentine tendre qui se laisse facilement tailler et dont les anciens faisaient des vases, des marmites. C'est un silicate de magnésium hydraté. Fortement chauffée elle se déshydrate et durcit. Les principaux gisements sont à Côme, en Toscane, en Ligurie, en Corse, dans les Alpes dauphinoises, dans les Pyrénées, dans les Grisons.

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

Ces poêles offrent un grand intérêt, mais ils sont volumineux et très lourds, et leur prix est élevé.

Enfin, on construit des poêles mixtes qui, après avoir fourni un chauffage direct pendant le jour sont capables de continuer d'émettre de la chaleur après arrêt de courant, pendant les heures d'éclairage principal.

## CHAPITRE IV

### CUISINE ÉLECTRIQUE

Le fourneau de cuisine au charbon a un rendement extrêmement faible, environ 2 pour 100, c'est-à-dire qu'il utilise pour la cuisson des mets seulement 2 pour 100 de la chaleur que le combustible est susceptible de dégager par sa combustion complète.

L'allumage est long. Après utilisation du fourneau le combustible en excès continue de brûler en pure perte.

Ce fourneau nécessite une provision encombrante et malpropre de charbon et de bois d'allumage. Il produit de la fumée qui salit et vicie l'atmosphère des villes. La main-d'œuvre pour l'allumage, l'entretien du feu, l'enlèvement des cendres est importante. Le réglage du chauffage

est difficile, surtout lorsque plusieurs ustensiles fonctionnent simultanément par le foyer commun.

Le fourneau à gaz est bien supérieur au précédent. Son rendement calorifique est beaucoup plus élevé. Le feu est obtenu instantanément. Les allumeurs électriques ou à briquet évitent l'emploi d'allumettes. Les robinets permettent le réglage facile et indépendant pour les divers ustensiles et la suppression instantanée de la consommation de combustible après usage. Son fonctionnement est économique. Il a l'inconvénient de répandre dans l'appartement de la vapeur d'eau et de l'acide carbonique. Il est sujet à produire des explosions et l'intoxication. Enfin, de nombreuses localités ne possèdent pas de distribution de gaz.

Dans les centrales électriques à vapeur modernes le kilowattheure à l'usine est obtenu aisément pour une consommation de 1 kilogramme de charbon et le kilowattheure vendu pour 1 kg. 2 environ de charbon à 7.500 calories, soit pour 9.000 calories. Le kilowattheure étant équivalent à 862 calories, le rendement final, en pour 100 de la chaleur contenue dans le combustible, est

$$\frac{862}{9.000} \times 100 = 9,58$$

Le rendement d'un fourneau de cuisine électrique étant d'environ 60 pour 100, le rendement final est

$$9,58 \times 0,60 = 5,74 \text{ pour } 100$$

Le fourneau de cuisine électrique économise donc du combustible par rapport au fourneau à charbon.

Les usines hydro-électriques conservent complètement le charbon pour les usages auxquels il est indispensable.

La pratique a montré que le fourneau électrique familial bien conduit consomme environ 1 kilowattheure par personne et par jour. Si la conduite du fourneau est défectueuse la consommation est supérieure.

La consommation d'énergie est la plus importante pour le repas de midi. L'observation des diagrammes de puissance débitée par les usines a montré que la cuisine électrique n'augmente que très peu la pointe.

Dans les cuisines importantes d'hospices, d'écoles, la consommation par personne et par jour peut être notablement inférieure à 1 kilowattheure.

Un fourneau comportant une plaque de 600 watts, deux plaques de 1.100 watts et un four de 1 kilowatt, d'une puissance nominale de 3,8 kw., suffit à une famille de huit personnes. La totalité de la puissance du fourneau n'est utilisée qu'exceptionnellement, les divers éléments ne fonctionnant pas tous simultanément ou à pleine puissance.

Ainsi la puissance maximum de fonctionnement d'un fourneau de 3,8 kw. n'est que de 2,5 kw. environ.

En général, le repas principal a lieu à midi. En Suisse, le repas du soir absorbe seulement la moitié de l'énergie consommée par le repas de midi. La cuisine électrique fonctionne trois à quatre heures par jour, toute l'année, aux moments où la plupart des usines sont arrêtées. Aussi la cuisine électrique offre-t-elle un grand intérêt pour les Sociétés de distribution d'énergie dont plusieurs ont favorisé le développement de cette application à l'aide de tarifs modérés. En 1919 la ville de Zurich possédait 200 cuisines électriques, la Société distribuant l'énergie électrique dans la ville de Fribourg et sa banlieue avait 500 abonnés à la cuisine électrique et comptait en desservir 8.000 à brève échéance. La cuisine électrique est très développée dans la banlieue de Lucerne, habitée principalement par des ménages ouvriers.

La cuisine électrique comprend trois éléments principaux : la *plaque chauffante* ou le *réchaud*, la *bouilloire* ou la *marmite*, le *four*.

La plaque chauffante, ou le réchaud, est, en général, constituée par une plaque de fonte ou d'acier, le plus souvent circulaire, parfois carrée ou rectangulaire, portant sous sa face inférieure la résistance chauffante. D'ordinaire cette résistance, sous forme de galette, est pressée contre la plaque au moyen d'une contre-plaque. Dans certains types de réchaud la plaque chauffante, de fonte, porte sur sa face inférieure une cannelure en spirale qui reçoit la résistance formée d'un boudin de fil conducteur noyé dans un ciment réfractaire. Ces plaques chauffantes étant cuirassées sont très robustes : le débordement d'une casserole ne les détériore aucunement.

La surface supérieure de ces plaques chauffantes est parfaitement dressée. Il est très important, pour la bonne utilisation de la chaleur et la rapidité de chauffage que les ustensiles : casseroles, poêles, etc, aient leur fond bien plan, afin que leur contact avec la surface chauffante soit parfait. Les casseroles, marmites, poêles à frire de cuivre ou d'aluminium à fond très épais ainsi que les ustensiles de fonte dressés au lapidaire sont les meilleurs.

Les plaques chauffantes les plus usitées dans les fourneaux sont de 600, 800, 1.100, 1.400 ou 1.500 watts. Dans les gros fourneaux, la puissance des plaques atteint de 2 et 3 kilowatts. Les plaques ont, en général, 3 degrés de chauffage correspondant à la pleine puissance, à la moitié et au quart.

Les diamètres ordinaires des plaques chauffantes sont les suivants :

|            |          |           |            |
|------------|----------|-----------|------------|
| Plaques de | 160 mm., | puissance | 600 watts. |
| —          | 180      | —         | 800        |
| —          | 200      | —         | 1.100      |
| —          | 220      | —         | 1.400      |

Les bouilloires et les marmites ont une capacité variant entre moins de 1 litre et plusieurs centaines de litres. Les petites bouilloires ont une puissance de 0,4 à 0,5 kilowatt par litre de capacité, tandis que les très grosses marmites sont établies pour une puissance d'environ 0,1 kilowatt par litre de capacité.

Les petites bouilloires portent l'élément chauffant soit sous le fond, soit sur le pourtour. Les grosses marmites sont généralement chauffées à la fois par le fond et sur le pourtour.

Le four électrique est muni d'une double enveloppe avec interposition d'une forte isolation thermique.

Le four est en général équipé de deux plaques chauffantes, l'une à la sole, l'autre au plafond. Ces plaques permettent de cuire et de gratiner à volonté. Elles ont trois degrés de chauffage et se prêtent ainsi à des combinaisons variées.

La température du four est de 200 à 250 degrés.

Une cuisine élémentaire peut se composer d'un, de deux ou de trois réchauds de 600, 800, 1.100 watts. Les plaques chauffantes peuvent être montées par deux ou par trois sur un bâti commun. Une petite cuisine peut comprendre en outre une bouilloire et une marmite.

Une cuisine complète comporte un fourneau avec four, dont la table porte deux, trois ou quatre plaques chauffantes. Un fourneau pour une famille de huit à dix personnes aura quatre plaques respectivement de 600, 800, 1.100 et 1.400 watts, ainsi qu'un four ayant une largeur de 37 centimètres, une profondeur de 28 centimètres et une hauteur de 25 centimètres et muni de deux éléments chauffants de 600 watts. Il peut être avantageux de réduire le nombre des plaques chauffantes à trois ou à deux et de compléter le fourneau par deux ou trois bouilloires ou marmites pour la préparation du café, le chauffage de l'eau, la cuisson du lait et des légumes.

Quelques cuisines importantes sont munies d'un gril. Cet appareil est formé en général de petits éléments incandescents tels que des cylindres de porcelaine ou autre substance réfractaire sur lesquels est enroulé le fil métallique porté au rouge par le courant, ou bien de baguettes de matière conductrice et réfractaire traversées par le courant. Les substances les plus employées sont le silundum et le silit, composés de silicium et de carbone.

Les fourneaux pour hôtels, hospices ou écoles peuvent avoir un grand nombre de plaques chauffantes de puissances appropriées, ainsi que plusieurs fours.

La cuisine de l'hospice d'aliénés de Montana, à Warm Springs, comprenant 1.000 personnes, possède un fourneau électrique composé de quatre sections identiques adossées. Chaque section porte deux fours, de telle sorte que le fourneau possède huit fours. Ce fourneau a, en plan, 1 m. 70 de largeur et 4 m. 60 de longueur. Sa puissance nominale est de 69 kilowatts, mais la puissance absorbée en pratique est de 46 kilowatts.

Le buffet de la station Euston, à Londres, sert 400 repas par jour aux voyageurs. La puissance totale de la cuisine est de 130 kilowatts. Le fourneau porte 23 plaques chauffantes : 7 de 30 centimètres de diamètre, à 2.000 watts; 8 de 25 centimètres à 1.500 watts; 8 de 20 centimètres, à 1.200 watts. Ces plaques ont trois degrés de chauffage : 1, 1/2, 1/4;

2 grandes marmites de fonte de 135 litres, à double enveloppe de tôle avec isolation thermique, à couvercle équilibré et bouchon de vidange, absorbant chacune 7,5 kw., équipées de trois résistances;

1 chaudière à vapeur de 4,5 kw. pour la cuisson des pommes de terre.

La cuisine électrique de la câblerie Siemens fournit les repas à 200 ou 300 employés.

Cette cuisine, installée à un étage au-dessus des bureaux, comprend :

8 marmites de 35 litres, à 4,2 kw.

8 marmites de 15 litres, à 2,6 kw.

1 marmite de 6 litres, à 1,5 kw.

1 bouilloire de 3 litres, à 1 kw.

1 chaudron de cuivre de 35 litres.

1 cafetière de 35 litres.

10 poêles consommant ensemble 16,6 kw.

La puissance cumulée des appareils est de 93 kilowatts. En pratique la puissance absorbée est en moyenne de 20 à 40 kilowatts.

Une portion se compose de : 0 lit. 300 de soupe, 0 kg. 187 de viande, 0 kg. 068 de légumes, 0 kg. 157 de pommes de terre, 0 lit. 043 de lait, 0 lit. 240 de café. Les relevés faits pendant un mois (août) ont indiqué pour l'énergie consommée par la préparation d'une telle portion 0 kwh. 394.

La Norddeutsche Llyod a installé dans les bâtiments de ses bureaux, à Brême, une cuisine pour cinq cents employés qui prennent leur repas en trois groupes successifs. L'énergie est fournie par l'usine génératrice installée pour l'éclairage, les ascenseurs, la buanderie. De la sorte, on peut compter comme prix de l'énergie seulement un supplément pour le charbon.

Cette cuisine comprend les appareils suivants :

5 marmites de 50 litres, à 6,5 kw.

5 marmites de 50 litres pour la cuisson des pommes de terre, à 6,5 kw.

5 marmites de 20 litres, à 3 kw.

2 marmites de 15 litres, à 2,6 kw.

2 marmites de 10 litres, à 2 kw.

4 poêles de 35 centimètres de diamètre, à 2,4 kw.

2 poissonnières de 80 litres, à 8 kw.

2 chaudrons de cuivre de 50 litres, à 5,5 kw.

2 cafetières de 50 litres, à 5,5 kw.

1 batterie de 4 fours à rôtir de 75 cm.  $\times$  45 cm.  $\times$  27 cm. absorbant ensemble 28 kilowatts.

3 grils de fonte renfermant un réchaud de 65 cm.  $\times$  32 cm. formé de deux éléments à tiges de silundum de 2 kilowatts chacun.

2 armoires à réchauffer, à quatre compartiments de 1 kilowatt.

2 tuyaux serpentins chauffants de 6 kilowatts, desservant le réservoir d'eau chaude, d'une capacité de 1.000 litres, pour le lavage de la vaisselle.

2 fourneaux à deux plaques chauffantes, de 4 kilowatts chacun.

Les ustensiles sont placés sur une table construite en béton de pierre ponce, par raison de légèreté, et garnie de carreaux vernissés. Au milieu de la table, un tuyau à genouillère, avec robinet, sert au remplissage des marmites

La puissance totale des appareils est de 194 kilowatts.

La puissance moyenne absorbée est de 40 à 60 kilowatts.

Les ateliers Siemens-Schuckert, dans la banlieue de Berlin, ont installé une cuisine électrique pour trois mille personnes prenant leur repas en quatre séries de sept à huit cents. L'énergie est fournie par l'usine génératrice de l'éclairage qui ne fonctionnait que le soir, en hiver. La canalisation est à trois fils, à 220 volts. Les appareils sont également distribués sur les deux ponts. Le neutre est à la terre et connecté sans fusible à une borne de l'élément chauffant et à la masse métallique de l'ustensile. Les pôles + et - sont munis de fusible et sont reliés à un commutateur pour le réglage du degré de chauffage.

La cuisine comprend :

4 fours à rôtir,

11 marmites,

2 étuves,

2 cafetières.

Des poêles à rôtir de 400 mm.  $\times$  600 mm.  $\times$  65 mm., capables de cuire chacune deux cents côtelettes par heure, et absorbant chacune 7 kilowatts,

Les marmites sont les unes à chauffage direct, les autres à bain-marie d'huile. Dans ces dernières, les éléments chauffants sont placés sous le bain-marie, en dehors de l'huile. Ces marmites ont un rendement de 82 pour 100, tandis que celui des marmites à chauffage direct est de 90 pour 100. L'huile emmagasine la chaleur; le courant une fois coupé, l'ébullition continue pendant une heure et demie.

Les marmites sont munies de tourillons, autour desquels elles peuvent basculer. Les marmites de 200 litres absorbent au maximum une puissance de 18 kilowatts; la puissance des marmites de 400 litres est de 36 kilowatts.

Les cafetières de 75 et de 150 litres par heure ont respectivement une puissance de 12 kilowatts et de 18 kilowatts.

La consommation totale moyenne d'énergie par repas et par personne est de 0 kwh 430.

La cuisine électrique du cuirassé *Wyoming* est conduite par un personnel de seize hommes qui suffisent au service de neuf cents hommes ou officiers à bord.

La cuisine des officiers comprend quatre fourneaux, celle de la troupe, huit fourneaux.

La source d'énergie est à courant continu de 120 volts.

Chaque fourneau se compose d'un four, d'un gril et de quatre plaques chauffantes. La puissance totale maximum du fourneau est 31 kilowatts.

L'installation comprend, en outre :

Une boulangerie, composée d'un pétrin mécanique et de deux fours électriques; un garde-manger; un magasin à viande; un frigorifique; un office pour le lavage de la vaisselle et de la coutellerie, un hache-viande, un coupe-viande en tranches, un coupe-légumes, un malaxeur d'œufs, un pétrin à gâteaux, une éplucheuse de légumes, une machine à congeler la crème, d'une capacité de 227 litres en deux heures.

L'un des fours à pain cuit 56 miches, le second 84 miches de 680 grammes par heure. Le dernier four absorbant 15 kilowatts atteint une température de 260 degrés au bout d'une heure, et produit 5 kg. 47 de pain cuit par heure.

Un moteur de 1 HP actionne le malaxeur d'œufs et le pétrin à gâteaux. Le hache-viande est mû par un moteur de 3/4 HP et peut traiter 137 kilogrammes de bœuf cru ou 320 kilogrammes de porc cru par heure.

L'éplucheuse de légumes est mue par un moteur de 1 HP et peut éplucher 454 kilogrammes de pomme de terre par heure.

La laveuse d'assiettes, mue par un moteur de 1 HP, lave et rince 6.000 assiettes par heure.

La cuisine du cuirassé *Texas* alimente neuf cents hommes et soixante dix officiers. L'installation comprend dix fourneaux pour la troupe, cinq fourneaux pour les officiers et deux fours à pain.

La cuisine des officiers est complètement électrique. Pour la troupe, 25 à 30 pour 100 des mets sont cuits dans des marmites à vapeur.

Chaque fourneau a une puissance totale de 31 kw. 6 et peut rôtir à la fois 35 kilogrammes de viande.

La surface cumulée des plaques chauffantes est 67 décimètres carrés. Le four a comme dimensions 450 mm.  $\times$  700 mm.  $\times$  400 et absorbe 4 kw. 8. Le gril a une surface de 450 mm.  $\times$  600 mm. et consomme 4 kilowatts.

Les deux fours de boulangerie, à six étages, absorbent chacun une puissance maximum de 16 kilowatts. Chaque fournée est de 100 miches.

Des essais ont été faits avec sept cent quinze hommes à bord, avec huit fourneaux pour la troupe et quatre fourneaux pour les officiers. La consommation journalière a été, par homme, 1 kilowattheure plus la vapeur, et par officier 3 kwh. 2.

Les deux fours de boulangerie ont consommé ensemble par jour 182 kilowattheures, correspondant à 0 kwh. 25 par homme.

Pour la cuisine des officiers, la puissance installée des quatre fourneaux étant 120 kilowatts, la puissance maximum utilisée est 54 kilowatts et la puissance moyenne 27 kw. 4. Le facteur d'utilisation est donc 54 : 120 inférieur à 50 pour 100 et le facteur de charge, 27.4 : 54 voisin de 50 pour 100.

Pour la troupe, la puissance installée des huit fourneaux étant 240 kilowatts, la puissance maximum utilisée a été 90 kilowatts et la puissance moyenne 21 kw. 2 correspondant à un facteur de charge inférieur à 24 pour 100.

## CHAPITRE V

### CUISSON DU PAIN

La cuisson du pain est réalisée par deux méthodes principales :

1° La méthode américaine employant des fours à action directe ;

2° La méthode suisse qui utilise des fours à accumulation de chaleur.

Les fours de la première catégorie sont analogues aux fours de cuisine ; ils ont le minimum de masse. Leur mise en température est rapide et la cuisson a lieu pendant la fourniture de l'énergie électrique. L'accumulation de chaleur est peu importante.

Ces fours ont la forme d'une armoire rectangulaire à plusieurs étages

qui sont chauffés au fur et à mesure de l'enfournement. Dès que la charge de l'un de ces étages est cuite, elle est immédiatement remplacée par une nouvelle charge.

La production indiquée pour cette sorte de four est de 5 kilogrammes à 5 kg. 5 de pain cuit par kilowattheure. Ainsi que nous le verrons plus loin, cette production paraît très élevée ; mais il est à noter que les Américains font de petits pains, des sortes de miches, de 340 grammes, 454 grammes, 680 grammes, dont la durée de cuisson est moins longue que celle des gros pains.

La cuisine électrique du Club des Ingénieurs de Boston possède un four de boulanger, en forme d'armoire, de 1 m. 450 de hauteur, 800 millimètres de largeur et 730 millimètres de profondeur, avec enveloppe extérieure de tôle galvanisée. Il est formé de trois compartiments superposés de 700 millimètres de largeur et de 500 millimètres de profondeur, garnis d'une forte épaisseur d'isolant thermique. Chaque compartiment est muni d'une porte se rabattant horizontalement, à l'instar de celle des fours ordinaires de cuisine. Un thermomètre indique la température du four.

Ce four a une puissance maximum de 5 kilowatts. Il cuit 36 pains de 454 grammes par fournée. Son volume est inférieur au cinquième de celui d'un four de brique de même capacité.

Le cuirassé américain *Wyoming* possède deux fours de boulanger électriques n° 1 et n° 2. Le four n° 1 cuit 84 pains de 680 grammes par heure. Il absorbe au début une puissance de 15 kilowatts qui porte la température à 260 degrés au bout de 1 heure ; puis la puissance est réduite à la moitié. La production indiquée est de 5 kg. 5 de pain par kilowatt-heure. Le four n° 2 cuit 56 pains par heure.

Le cuirassé américain *Texas* possède deux fours de boulanger à six étages.

Une importante boulangerie de Salt Lake City emploie un four à quatre chambres enfermées dans un corps de tôle rectangulaire porté par une charpente en cornière à quatre pieds. Une cloison verticale médiane divise le four en deux sections comprenant chacune deux chambres superposées de 850 millimètres de largeur, 1 m. 400 de profondeur et 400 millimètres de hauteur. La sole des chambres est en brique de 45 millimètres d'épaisseur. Chaque section du four est équipée de trois éléments chauffants, un au plafond de la chambre supérieure, un au plafond de la chambre inférieure, le troisième directement sous la sole de cette chambre. De la sorte le plafond et la sole de chaque chambre se trouvent chauffés. Chaque chambre est munie d'un thermomètre et de lampes éclairant l'intérieur.

Les éléments chauffants sont composés d'un fil métallique enroulé sur des baguettes isolantes montées sur un bâti en cornières amovible. Chaque élément comprend trois sections ayant chacune 3 degrés de chauffage et commandées par des commutateurs.

Le four cuit 836 miches de 340 grammes ou 456 pains de 709 grammes par fournée. Il est alimenté par courant diphasé de 220 volts. La puissance maximum est de 75 kilowatts, mais la puissance réellement absorbée n'est que 55 pour 100 de ce maximum pendant huit heures et 48 pour 100 pendant seize heures par jour.

L'opération de cuisson des miches de 340 grammes : chargement du four, cuisson et déchargement, exige quarante-cinq minutes. En fonctionnement continu, le four est capable de cuire 25.000 miches de 340 grammes par vingt-quatre heures. La température est égale dans tout le four et constante pendant la cuisson, tandis que dans le four de briques la température baisse et la durée de cuisson est plus grande.

La seconde méthode est basée principalement sur l'accumulation de la chaleur, comme, du reste, cela a lieu dans les fours de briques chauffés au bois. Les fours de cette seconde catégorie renferment de grandes masses solides qui sont chauffées électriquement pendant la période du bas tarif.

Les Sociétés de distribution d'énergie électrique, en général, favorisent cette application. En effet, celle-ci constitue une charge importante et produit une recette intéressante pendant l'année entière, la nuit, période où les autres applications laissent disponible une fraction considérable de la puissance des usines hydro-électriques.

Pendant les premières heures l'énergie électrique chauffe le four à vide jusqu'à ce que la température de cuisson du pain soit atteinte. A ce moment, l'opération de cuisson commence, l'apport de chaleur par l'énergie électrique continuant jusqu'au terme de la période de bas tarif. En Suisse cette période s'étend d'ordinaire de vingt et une heures à six heures. Après l'arrêt du courant, la chaleur emmagasinée dans la masse du four suffit pour prolonger la cuisson du pain pendant plusieurs heures. Enfin, lorsque la température n'est plus suffisante pour la cuisson du pain, le boulanger suisse, qui fait aussi la pâtisserie courante : petits gâteaux, tartes aux fruits, utilise le four pour cuire ces produits.

L'idée qui se présente tout d'abord est de chauffer électriquement le four ordinaire de briques. Ce système est le plus simple et le moins coûteux comme premier établissement, mais son rendement est médiocre.

La petite ville de Montana, près Sion, dans le Valais, possède un tel four transformé, absorbant 35 à 40 kilowatts. Ce four est muni de quatre corps de chauffe égaux fonctionnant tous pendant la nuit. Le jour, la

puissance laissée à disposition étant réduite, un seul corps de chauffe est utilisé. Les corps de chauffe étant amovibles, en cas d'avarie le chauffage au bois peut être appliqué. Le prix du kilowattheure est de 6 centimes en été et de 9 centimes en hiver.

La ville de Baden possédait en 1919 deux fours électriques, dont l'un est un four ordinaire chauffé par un élément amovible.

En 1919, la ville de Zurich comptait 260 fours de boulanger. La plupart des fours ordinaires sont perfectionnés. Le chauffage est réalisé par la vapeur à très haute pression. Un tube d'acier Mannesmann de 20 millimètres de diamètre extérieur et de 6 millimètres d'épaisseur chauffe principalement la voûte du four et se prolonge en dehors, en formant chaudière du genre Serpollet, dont le foyer brûle du coke, de l'antracite ou du lignite. Malgré la supériorité de ces fours sur ceux au bois, il existait déjà en 1919 une cinquantaine de fours électriques.

Une très importante boulangerie de la Marktgasse faisant aussi la pâtisserie courante occupe trois étages. Dans les sous-sols sont installés les pétrins électriques. Au rez-de-chaussée, se trouvait un four à vapeur, transformé depuis en four électrique. Au premier étage, est un four électrique à trois chambres de cuisson superposées. L'isolation thermique est réalisée au moyen de briques de diatomite. A la partie supérieure, à gauche, est une chaudière électrique cylindrique, ayant la forme d'un gros tuyau, qui fournit la vapeur pour humidifier la chambre de cuisson des gros pains.

Les trois étages de la boulangerie sont desservis par un grand monte-charge. Un interrupteur à horloge ferme et ouvre le circuit aux heures réglementaires, 21 heures et 6 heures. La connexion du four au réseau est effectuée à la main, lorsque l'horloge a elle-même mis le courant à disposition.

La masse du four emmagasine une quantité de chaleur suffisante pour permettre la cuisson du pain et surtout de la pâtisserie pendant un certain temps après la suppression du courant.

Dans les fours à accumulation 1 mètre carré de sole de chambre de chauffe cuit 16 à 20 kilogrammes de pain et absorbe 7 kilowatts. La puissance des fours est d'ordinaire de 35 à 45 kilowatts. La consommation journalière moyenne est 300 kilowattheures.

La consommation d'énergie par kilogramme de pain cuit est :

Pour 6 à 7 fournées successives, 0,35 kwh.

Pour 3 à 4 fournées successives, 0,50 kwh.

Pour petits fours de boulanger et fours de pâtissier, 0,70 kwh.

La température optima pour la cuisson du pain est de 220 à 250 degrés.

La température initiale du four est de 280 degrés, la température finale 200 degrés.

De 21 heures à 3 heures, le four se chauffe à vide.

De 3 heures à 6 heures, on fait 2 fournées.

De 6 heures à midi, le courant étant coupé, on fait 3 fournées. Pendant le reste de la journée le four est utilisé pour la pâtisserie.

Le temps nécessaire par fournée est de :

1 heure et demie pour pains de 2 kilogrammes;

1 heure pour pains de 1 kilogramme ;

Une demi-heure pour petits pains.

Depuis une douzaine d'années les hospices du Simplon et du Saint-Bernard cuisent le pain au four électrique.

Les fours électriques de boulanger sont très répandus en Suisse. En 1919, il y en avait 50 à Zurich, 10 à Lucerne. Il en existait aussi à Fribourg, Berne, Neuchâtel, Soleure, Oerlikon, Olten, Richterwill, Brugg, Fluelen, Herlisberg, Emmenbrücke, Dietikon, Kussnach, Glarus, Serrières, Saint-Gall, Zug, Othmarsingen, Baden, Arosa, Diessenhofen, Ennetbaden.

A cette époque les tarifs de nuit, d'ordinaire de 21 heures à 6 heures, variaient suivant les localités, entre 2,5 et 5 centimes le kilowattheure. Quelques sociétés vendaient l'énergie plus cher en hiver qu'en été, par exemple 3 centimes en été et 5 centimes en hiver. Enfin, quelques-unes autorisaient l'usage du four le jour, à demi-puissance, à un tarif double, soit 4 centimes la nuit et 8 centimes le jour.

Le four électrique a l'avantage d'une grande propreté. Il réduit considérablement la main-d'œuvre et économise beaucoup de place car son volume est bien inférieur à celui d'un four de briques de même production et, en outre, il supprime tout entrepôt de combustible.

Voici, à titre de comparaison, les résultats d'essais de consommation d'un four ordinaire au bois, que nous empruntons au compte rendu du XL<sup>e</sup> Congrès de l'Industrie technique du gaz en juin 1913.

Le four ordinaire de boulangerie, sur lequel ont porté les essais, est constitué par un massif de brique dans lequel se trouve ménagée une chambre de cuisson de grande profondeur, de grande largeur et de faible hauteur, qui, en plan, a un contour ovoïdal, large au fond, rétréci à l'avant, et qui s'ouvre sur la façade, ouverture fermée par une porte de fonte se manœuvrant verticalement et par laquelle on introduit successivement le combustible et le pain à cuire. A la voûte, près du fond, deux ouvertures circulaires, appelées houras, se prolongent par deux carneaux ménagés dans la maçonnerie, au-dessus de la chambre de cuisson, et aboutissant à la cheminée qui a son origine sur la façade.

La sole est plane et légèrement inclinée vers l'avant. La distance entre cette sole et la voûte (hauteur de chapelle) varie entre 28 et 40 centi-

mètres. La profondeur de la chambre de cuisson est de 3 m. 50 en moyenne et sa largeur, dans la partie la plus large, vers le fond, est d'environ 3 mètres.

On commence par faire brûler du bois sur la sole, puis, quand la température voulue à l'intérieur du four, soit environ 350 degrés, est atteinte, on retire la braise et on nettoie la surface de la sole, on ferme la porte et on abandonne le four pendant trois quarts d'heure ou une heure afin que la température ait le temps de se répartir uniformément et que la sole soit un peu refroidie, puis on enfourne le pain.

En mars et avril 1912, la Société du Gaz de Paris, de concert avec la Chambre Syndicale de la Boulangerie de Paris, a organisé des expériences comparatives sur le four que nous venons de décrire.

Les expériences de chauffage au bois eurent lieu pendant six jours consécutifs, puis les quatre semaines suivantes furent consacrées aux expériences de chauffage au gaz au moyen de quatre appareils différents.

On fit par jour trois fournées composées chacune de la même quantité de pain, soit 80 pains pesés à 1 kg. 200 de pâte, pétrie au pétrin mécanique, représentant 96 kilogrammes.

Dans des expériences antérieures de pétrissage mécanique par le Syndicat de la Boulangerie de Paris, une pétrissée mécanique était composée de :

|       |               |                        |
|-------|---------------|------------------------|
| 110   | kg. de farine | } au total 172 kg. 750 |
| 1,1   | kg. de levure |                        |
| 1,650 | kg. de sel    |                        |
| 60    | kg. d'eau.    |                        |

Le tableau ci-contre indique les résultats des essais du chauffage au bois.

| JOUR         | FOURNÉES        | POIDS<br>du bois sec<br>consommé<br>Kg. | POIDS<br>du bois<br>consommé<br>par jour<br>Kg. | BRAISE<br>recueillie<br>dans la<br>journée<br>Kg. | DURÉE<br>du<br>chauffage<br>Minutes | DURÉE<br>de la pause<br>après la<br>1 <sup>re</sup> chauffe<br>Minutes |
|--------------|-----------------|---|---|---|-------------------------------------|--|
| Lundi . .    | 1 <sup>re</sup> | 43,800                                  | 105,800   | 13,300  | 55                                  | 35   |
|              | 2 <sup>e</sup>  | 30,400                                  |   |   | 27                                  |  |
|              | 3 <sup>e</sup>  | 31,600                                  |   |   | 20                                  |  |
| Mardi . .    | 1 <sup>re</sup> | 49,200                                  | 111,300   | 14,300  | 57                                  | 29   |
|              | 2 <sup>e</sup>  | 30,400                                  |   |   | 20                                  |  |
|              | 3 <sup>e</sup>  | 31,700                                  |   |   | 22                                  |  |
| Mercredi .   | 1 <sup>re</sup> | 53,300                                  | 113,900   | 15,800  | 60                                  | 21   |
|              | 2 <sup>e</sup>  | 30,700                                  |   |   | 22                                  |  |
|              | 3 <sup>e</sup>  | 29,900                                  |   |   | 18                                  |  |
| Jeudi . .    | 1 <sup>re</sup> | 60,700                                  | 134,400   | 17,300  | 73                                  | 22   |
|              | 2 <sup>e</sup>  | 39,600                                  |   |   | 25                                  |  |
|              | 3 <sup>e</sup>  | 34,100                                  |   |   | 26                                  |  |
| Vendredi .   | 1 <sup>re</sup> | 48,600                                  | 109,200   | 15,600  | 50                                  | 25   |
|              | 2 <sup>e</sup>  | 30,800                                  |   |   | 22                                  |  |
|              | 3 <sup>e</sup>  | 29,800                                  |   |   | 23                                  |  |
| Samedi . .   | 1 <sup>re</sup> | 59,700                                  | 117,200   | 16,500  | 57                                  | 20   |
|              | 2 <sup>e</sup>  | 30,800                                  |   |   | 16                                  |  |
|              | 3 <sup>e</sup>  | 26,700                                  |   |   | 20                                  |  |
| TOTAUX . . . |                 | 691,800                                 | 691,800   | 92,800  | 613                                 | 152  |

Les 691 kg. 800 de bois sec consommé proviennent de 819 kg. 910 de bois vert. Le poids moyen des falourdes employées étant de 18 kg. 030 et le prix net de fr. 0,99, le prix des 691 kg. 800 de bois sec est :

$$\frac{819,910 \times 0,99}{18,030} = \text{fr. } 45,02$$

dont il y a lieu de retrancher le prix de vente de la braise.

|                          |   |   |             |
|--------------------------|---|---|-------------|
| Moyennes<br>journalières | } | du bois sec consommé correspondant                        |             |
|                          |   | à 136 kg. 650 de bois vert. . .                           | 115 kg. 300 |
|                          |   | de la braise recueillie . . . . .                         | 15 kg. 466  |
|                          |   | de la durée des premières chauffes                        | 58 minutes. |
|                          |   | de la durée des 2 <sup>e</sup> et 3 <sup>e</sup> chauffes | 21 —        |

Il a donc été consommé en moyenne 45 kg. 550 de bois vert ou 38 kg. 433 de bois sec par fournée de 96 kilogrammes de pâte.

Les expériences de chauffage au gaz du même four ont été faites également avec trois chauffes par jour.

La consommation de gaz a varié :

|  |           |   |   |    |   |
|--|-----------|---|---|----|---|
| Pour la première chauffe entre 15 et 30 mètres cubes |           |   |   |    |   |
| —  | deuxième  | — | 7 | 13 | — |
| —  | troisième | — | 8 | 14 | — |

Les quantités de gaz consommé en moyenne par jour dans les quatre séries d'expériences ont été respectivement :

43,333 — 48,166 — 44,433 — 46,166 mètres cubes

soit en moyenne 15 m<sup>3</sup> 17 de gaz par fournée de 96 kilogrammes de pâte.

Les durées moyennes des premières chauffes ont été :

1 h. 5' — 47' — 47' — 44'

et la durée moyenne de chacune des deuxième et troisième chauffes :

26' — 17' — 20' — 20'

Le gaz était compté à 0 fr. 20 le mètre cube.

REMARQUE. — La cuisson fait perdre à la pâte environ 20 pour 100 de son poids soit 0 kg. 200 par kilogramme de pâte. Autrement dit, 1 kilogramme de pâte fournit 0 gr. 800 de pain cuit.

La levure, agissant comme ferment, donne naissance à de l'acide carbonique qui fait lever la pâte. Le poids de gaz est en grande partie compensé par la poussée de l'air qu'il déplace. Si nous négligeons la levure, nous pourrions admettre, d'après le dosage que nous avons indiqué page 46, que 100 kilogrammes de pâte levée sont composés de :

|                  |     |              |
|------------------|-----|--------------|
| Farine . . . . . | kg. | 64 08        |
| Sel . . . . .    |     | 96           |
| Eau . . . . .    |     | 34 96        |
| Total . . . . .  | kg. | <u>100 »</u> |

Les 100 kilogrammes de pâte fourniront 80 kilogrammes de pain cuit. 1 kilogramme de pâte donnant environ 0 kg. 800 de pain cuit, la perte en poids de 0 kg. 200 est représentée par de l'eau qui se dégage sous forme de vapeur à une température voisine de 250 degrés. Cette vapeur provient soit directement de l'eau incorporée à la farine, soit de la substance même de la farine.

Si nous admettons que la pâte est prise à 20 degrés, la chaleur nécessaire pour vaporiser 0 kg. 200 d'eau à 250 degrés, peut être calculée comme suit.

Tout d'abord nous avons à transformer l'eau prise à 20 degrés en vapeur saturée à 100 degrés en lui fournissant une quantité de chaleur égale à :

$$0,200 (606,5 + 0,305 \times 100) - 20 = 123,4 \text{ calories.}$$

Puis nous devons surchauffer cette vapeur de 100 à 250 degrés. La chaleur spécifique de la vapeur, à pression constante, dans le cas actuel la pression atmosphérique, étant 0,480, la quantité de chaleur nécessaire est

$$0,200 \times 0,480 \times (250 - 100) = 14,4 \text{ calories.}$$

La quantité totale de chaleur absorbée par le poids de 0 kg. 200 de vapeur est donc de 137,8 calories,

Enfin si nous admettons que le pain cuit est porté en moyenne à la température de 150 degrés et que sa capacité calorifique est 0,60, il absorbera une quantité de chaleur égale à

$$0,800 \times 0,60 \times (150 - 20) = 62,4 \text{ calories.}$$

En résumé, le poids de 0 kg. 800 de pain cuit exigera 200,2 calories.

ou 
$$\frac{200,2}{862} = 0,2323 \text{ kwh.}$$

1 kilogramme de pain cuit exigera donc :

$$0,2323 \times \frac{1,000}{0,800} = 0,290 \text{ kwh.}$$

A ce nombre nous devons ajouter les pertes dans le four. Si celui-ci a un rendement de 85 pour 100, l'énergie électrique consommée par kilogramme de pain cuit sera :

$$\frac{0,290}{0,85} = 0,341 \text{ kwh.}$$

nombre très voisin de 0,35 kilowattheure que nous avons indiqué page 44 pour un four à accumulation et pour six à sept fournées consécutives.

## CHAPITRE VI.

### CONCLUSIONS. — TARIFICATION DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

Dans l'industrie l'emploi de l'énergie électrique, malgré le prix relativement élevé de la calorie qu'elle fournit, est souvent très économique en comparaison d'autres systèmes grâce à la transformation intégrale de l'énergie en chaleur et aussi à la réduction et même à la suppression de la main-d'œuvre.

Dans des circonstances particulières le prix de l'énergie électrique est assez bas pour permettre son emploi général. C'est le cas de l'hôtel Moserboden, le premier d'Europe dans lequel tout combustible est proscrit. L'éclairage, le chauffage, les moteurs, la cuisine, la boulangerie, les fers à repasser, les machines à repasser, la buanderie sont électriques. L'eau des bains est chauffée par l'électricité. Toutes les salles et les chambres sont chauffées à l'électricité. Les tables à toilette sont munies d'un réchaud et d'un chauffe-fers à friser.

L'énergie électrique est produite par une usine hydraulique utilisant une chute de 110 mètres avec un débit de 130 litres par seconde, équipée de deux turbines accouplées chacune à une dynamo à courant continu de 120 volts.

Quatre chaudières cylindriques horizontales superposées deux à deux analogues à des chaudières à foyer intérieur contiennent ensemble 1.600 litres d'eau chauffée principalement la nuit. Ces chaudières alimentent les cuisines, les baquets à laver la vaisselle, les bains, la buanderie et tous les étages.

L'hôtel a deux cuisines :

La grande cuisine possède deux fourneaux à dix plaques chauffantes, et à cinq fours à rôtir; quatre réchauds, une grande étuve, deux grils, une table chauffante, des marmites diverses pour la viande et les légumes, des poêles à frire. La puissance totale absorbée est de 27 kw. 3.

La petite cuisine a un fourneau à huit plaques chauffantes, un torréfacteur de café à moteur électrique, une marmite autoclave à étuver les pommes de terre. Cette cuisine consomme au maximum 15 kw. 2.

Le four de boulanger absorbe en moyenne 12 kilowatts et fournit le pain à deux hôtels. La sole, en forte tôle, est tournante avec batteries de chauffe en-dessus et en dessous.

La buanderie, le séchoir et l'atelier de repassage absorbent au maximum 19 kilowatts. L'eau chaude est fournie par les quatre chaudières mentionnées précédemment. Des chaudrons servent à faire bouillir le linge. Des centrifuges sont mues par des moteurs électriques. La machine à repasser a deux cylindres dont l'un est chauffé électriquement et est actionnée par un moteur électrique.

Le séchoir est chauffé par quatre radiateurs électriques. Le changement de l'air est effectué par des ventilateurs.

Nous avons énuméré précédemment quelques applications domestiques. Plusieurs appareils couramment employés, tels que les fers à repasser de 350 et de 500 watts, les bouilloires de 300 à 600 watts, les petits réchauds de 350 et de 600 watts, le chauffe-pieds et le chauffe-plats, le

chauffe-fers à friser, peuvent être avantageusement utilisés sur la canalisation d'éclairage, même au tarif élevé de la lumière.

Dans les localités ne possédant pas de distribution de gaz, la cuisine électrique serait très avantageuse pour les habitants tout en étant rémunératrice pour le fournisseur d'énergie s'il existait un tarif modéré. Ainsi la cuisine électrique est très répandue dans la banlieue de Lucerne habitée principalement par des ménages ouvriers.

En l'absence de tarif spécial, l'utilisation de l'énergie électrique pour une cuisine élémentaire peut être économique même au tarif de l'éclairage. Considérons par exemple le cas d'une famille consommant pour le petit déjeuner 2 litres de café et 2 litres de lait. L'opération pourra être effectuée dans deux bouilloires. Pour porter à l'ébullition ces 4 litres de liquide, il faudra consommer environ 0,5 kilowattheure. Si le prix du kilowattheure est 70 centimes, le coût de l'énergie sera 35 centimes, dépense très inférieure à celle du charbon que l'on aurait brûlé.

Lorsque la population arrivera à se convaincre que l'hygiène n'exige pas un surchauffage à 20 degrés et au delà, mais qu'au contraire une température de 14 degrés est largement suffisante, le chauffage électrique moins dispendieux que le chauffage par cheminée pourra être fréquemment adopté.

Quand on cherche à estimer la puissance et l'énergie électrique qu'exigerait la généralisation des applications électrothermiques, même en dehors de l'industrie proprement dite : usages domestiques, cuisine, cuisson du pain, on constate que les besoins seraient énormes.

D'après le recensement de 1911, l'agglomération Lyon et Villeurbanne comprenait 566.000 habitants, avec 648 boulangers et 200 pâtisseries, et Paris 2.889.000 habitants avec 2.400 boulangers.

Admettons une consommation journalière moyenne de 0 kg. 400 de pain par habitant, et une production de 2 kg. 500 de pain par kilowattheure correspondant à une absorption de 0 kwh. 400 par kilogramme de pain.

L'agglomération Lyon et Villeurbanne consommera 226 000 kilogrammes de pain par jour, exigeant 90.000 kilowattheures. Si les 648 fours ont une puissance moyenne de 30 kilowatts cuisant par fournée 75 kilogrammes de pain, la puissance totale sera de 19.000 à 20.000 kilowatts.

La consommation journalière de Paris étant d'environ 1.200.000 kilogrammes de pain, l'énergie nécessaire serait de 480.000 kilowattheures par jour. Si la puissance moyenne des fours était de 35 kilowatts, la puissance totale des 2.400 fours serait de 84.000 kilowatts.

Il serait évidemment possible de réduire les puissances que nous venons d'indiquer en diminuant le nombre de fours et en augmentant leur durée d'utilisation.

La cuisson électrique du pain économiserait annuellement environ 40 000 tonnes de bois sec pour Lyon et Villeurbanne et 220.000 tonnes pour Paris.

Pour la cuisine, les besoins seraient encore plus importants.

Pour satisfaire à ces besoins, il faudrait donc augmenter considérablement la puissance productrice actuelle par de nouvelles installations fournissant l'énergie électrique à bas prix, accroître la capacité de distribution des réseaux et enfin établir des tarifs appropriés.

L'énergie nécessaire sera produite principalement par les chutes : mais il existe une autre source d'énergie encore peu utilisée, mais susceptible d'un grand développement : c'est l'utilisation sur le carreau même de la mine des charbons de qualité inférieure et des schlamms dont la faible valeur ne justifie pas les frais de transport. Dans nombre de cas où le combustible ne doit pas nécessairement être employé directement sur le lieu d'utilisation, il serait plus économique de transporter à de grandes distances, sous forme d'énergie électrique, l'énergie contenue dans ce combustible, que de transporter celui-ci avec ses cendres, ainsi que le poids mort des wagons, aller et retour. La Compagnie des Mines de Blanzy a installé sur le carreau de l'une de ses mines une usine génératrice dans laquelle elle brûle les résidus pour produire de l'énergie électrique qui est transportée à de grandes distances. Les Mines de Ronchamp possèdent une installation analogue.

L'augmentation de la capacité de distribution des réseaux secondaires ne pourrait pas être pratiquement obtenue, en raison de l'importance de la dépense, par la simple pose de nouveaux câbles de grosse section. Aussi envisage-t-on pour l'avenir l'adoption pour les réseaux secondaires triphasés à quatre fils les tensions de 145-250 volts, 225-380 volts, et même 288-500 volts. Les fortes tensions secondaires proscrieraient évidemment l'emploi des lampes *actuelles* de faible intensité lumineuse. Par raison de sécurité la masse des appareils devrait être mise soigneusement à la terre.

L'industrie dispose, d'ores et déjà, des tarifs d'énergie modérés pour les moteurs, tarifs qui rendent possibles et même avantageuses un grand nombre d'applications électrothermiques.

La tarification est l'un des problèmes les plus importants qu'ont à résoudre les Sociétés de distribution d'énergie électrique.

Les modes de tarification et les taux mêmes de l'énergie électrique

dépendent d'un grand nombre de facteurs : puissance et nature des usines génératrices : hydrauliques, à vapeur ou mixtes ; dépense de premier établissement des usines et des réseaux ; coût du combustible, de la main-d'œuvre, de l'entretien ; frais généraux, distance des usines au lieu d'utilisation.

Une tarification doit assurer au fournisseur d'énergie une juste rémunération de son capital en raison des services rendus aux abonnés, tout en mettant ceux-ci à même de profiter des avantages que peut leur procurer l'énergie électrique pour des usages répondant aux conditions actuelles de la vie.

Toute tarification rationnelle doit être basée sur les considérations suivantes :

Une Société qui produit l'énergie électrique au moyen de chutes a évidemment intérêt à vendre la totalité de l'énergie que peuvent produire ces chutes.

Lorsque l'énergie est obtenue au moyen de la vapeur, il y a intérêt à vendre la plus grande quantité possible d'énergie correspondant à l'utilisation maximum de l'installation et du personnel. Les frais généraux augmentant moins vite que l'énergie vendue et le rendement du matériel croissant avec l'énergie produite, le prix du kilowattheure décroît. La limite supérieure de cette utilisation est assignée par le fonctionnement continu à pleine charge de l'installation, sous déduction de la réserve et des rares arrêts nécessités par l'entretien.

Eu égard aux frais de branchements, de relevé des compteurs, d'établissement des factures, il est moins coûteux de fournir une puissance et une énergie données à un petit nombre de gros consommateurs qu'à un grand nombre de petits abonnés.

Pour une puissance donnée, le kilowattheure doit être facturé à un prix d'autant moins élevé que la durée d'utilisation est plus grande. Il y a donc intérêt à encourager les longues durées d'utilisation par des tarifs décroissants. C'est en raison de la faible puissance des installations ordinaires d'éclairage et de leur petite durée d'utilisation, que l'énergie pour cet usage est facturée à un prix élevé.

Une Société a intérêt à favoriser les applications qui peuvent employer l'énergie électrique qu'elle est capable de produire aux heures où l'installation n'est que partiellement utilisée par les autres applications, telles que l'éclairage et la force motrice, époques où les diagrammes de production présentent des creux. Par contre, il est rationnel de facturer à un prix élevé l'énergie consommée pendant la pointe, celle-ci exigeant l'installation d'une grande puissance comme matériel générateur et comme réseaux de distribution utilisés pendant une courte durée, c'est-à-dire

dans des conditions onéreuses. Il importe de remarquer que la perte de puissance dans les réseaux croît sensiblement comme le carré de la charge et que, par suite, la perte relative croît comme la charge.

Certaines chutes ont leur débit minimum en hiver, époque où la demande est maximum. Ce déficit d'énergie hydraulique doit alors être comblé à l'aide d'une usine à vapeur. Dans ce cas, il pourrait être adopté des tarifs plus élevés pour l'hiver que pour l'été.

Nous avons déjà signalé que les récepteurs électrothermiques étant constitués par des résistances ohmiques, absorbent l'énergie avec un facteur de puissance sensiblement égal à l'unité, condition favorable à la distribution qui doit influencer sur la modération des tarifs.

Les tarifs sont soit à forfait, soit au compteur.

Les tarifs à forfait ne sont admissibles que pour des consommations bien définies. Ils sont calculés sur une puissance et une durée d'utilisation données. Ils comportent en général l'emploi d'un limiteur ou d'un wattmètre enregistreur, et s'appliquent surtout aux moteurs dans l'industrie. Chez les particuliers, les tarifs à forfait donnent lieu à des abus et tendent à disparaître.

Les tarifs industriels au compteur sont variés :

Les uns imposent à l'abonné un minimum de consommation annuelle, par exemple 60 francs par cheval ou par kilovolt-ampère relié, qui assure au fournisseur d'énergie une recette minimum, eu égard à la puissance qu'il doit tenir à la disposition de l'abonné, puis facturent l'énergie enregistrée par le compteur à un prix unitaire décroissant au fur et à mesure que la puissance reliée est plus grande, par exemple de 28 à 7 centimes le kilowattheure.

Certains tarifs comportent une taxe annuelle fixe, telle que 60 francs par HP ou kilovolt-ampère relié, puis le facturation des kilowattheures enregistrés à des prix unitaires décroissants comme dans le cas précédent.

D'autres tarifs imposent un minimum de consommation annuelle et portent un prix de base du kilowattheure indépendant de la puissance reliée. Plusieurs prix unitaires, décroissants, sont appliqués par tranches successives à l'énergie enregistrée, comme dans l'exemple ci-dessous :

Pour les 100 premiers kilowattheures consommés dans le trimestre, 20 centimes le kilowattheure.

De 101 à 500 kilowattheures consommés dans le trimestre, 18 centimes le kilowattheure.

De 501 à 1.000 kilowattheures consommés dans le trimestre, 16 centimes le kilowattheure.

De 1.001 à 2.000 kilowattheures consommés dans le trimestre, 14 centimes le kilowattheure.

De 2.001 à 5.000 kilowattheures consommés dans le trimestre, 12 centimes le kilowattheure.

De 5.001 à 10.000 kilowattheures consommés dans le trimestre, 10 centimes le kilowattheure.

De 10.001 à 20.000 kilowattheures consommés dans le trimestre, 9 centimes le kilowattheure.

Les kilowattheures en sus, 8 centimes le kilowattheure.

Minimum de consommation trimestrielle, 8 francs par kilowatt relié.

Un tel tarif favorise les longues durées d'utilisation. De plus, en fait, il procure l'énergie à un prix unitaire moyen d'autant moins élevé que la puissance reliée est plus grande, car les gros récepteurs, pour une même durée de fonctionnement, consomment plus d'énergie que les petits récepteurs et, par suite, profitent des prix unitaires moindres des tranches supérieures.

Quelques Sociétés complètent le mode de tarification qui précède par un rabais supplémentaire basé sur la durée d'utilisation, celle-ci étant définie comme le rapport des kilowattheures consommés par an à la puissance reliée en kilowatts.

$$\text{Rabais} = k. \frac{\text{kwh. consommés dans l'année}}{\text{kw. reliés}}$$

Voici une formule de rabais appliquée par une Société suisse :

$$\text{Rabais en pour 100 sur la facture} = 2 \frac{\text{kwh. consommés dans l'année}}{\text{kw.} \times 300 \text{ jours par an}}$$

Le dénominateur représente l'énergie que l'abonné consumerait en fonctionnant à pleine charge une heure par jour dans l'année.

Dans d'autres tarifs, basés sur le même principe que le précédent, le rabais est indiqué par un tableau pour diverses durées d'utilisation, comme dans le tarif d'une Société suisse que nous reproduisons ci-dessous :

|          |                             |      |                  |
|----------|-----------------------------|------|------------------|
| Pour les | 2.000 premiers kwh. par an. | 15   | centimes le kwh. |
| —        | 2.000 suivants . . . . .    | 13,5 | —                |
| —        | 4.000 — . . . . .           | 12   | —                |
| —        | 8.000 — . . . . .           | 10,5 | —                |
| —        | 12.000 — . . . . .          | 9    | —                |
| —        | 18.000 — . . . . .          | 8    | —                |
| —        | 24.000 — . . . . .          | 7    | —                |
| —        | 40.000 — . . . . .          | 6,5  | —                |
| —        | 90.000 — . . . . .          | 6    | —                |
| —        | 100.000 — . . . . .         | 5,5  | —                |
| —        | kwh. en sus . . . . .       | 5    | —                |

Rabais consentis en sus :

|   |   |              |
|---|---|--------------|
| Pour une durée annuelle d'utilisation de 1.000 heures | 5 | pour 100.    |
| —   | — | 2.000 — 10 — |
| —   | — | 3.000 — 15 — |
| —   | — | 4.000 — 20 — |

Une consommation annuelle minimum de 90 francs par kilowatt relié est imposée.

Chez les particuliers, l'éclairage électrique donne de faibles consommations; il a lieu pendant la pointe en hiver et a une faible durée annuelle d'utilisation. Aussi l'énergie pour cet usage est-elle tarifée à un prix très élevé, d'ordinaire dans le voisinage de 70 centimes le kilowatt-heure, sans minimum. Du reste, en général, des rabais favorisent les consommations importantes et les grandes durées d'utilisation.

D'autres usages domestiques, tels que le repassage, le chauffage de l'eau, la cuisine, la dessiccation des fruits, ont lieu la plupart du temps en dehors de la pointe, en été aussi bien qu'en hiver. Et même, dans les localités de villégiature, telles que la banlieue des villes, ces applications ont lieu généralement en dehors de l'hiver, l'été principalement, alors que les réseaux disposent abondamment d'énergie. Enfin, l'énergie pour ces usages est fournie avec un facteur de puissance sensiblement égal à l'unité, condition très favorable à la distribution.

Ces applications ne peuvent prendre une grande extension qu'à la condition d'être favorisées, à juste titre, par des tarifs modérés.

Jusqu'à ces derniers temps quelques Sociétés avaient établi un tarif spécial pour les usages électrothermiques domestiques. L'abonné avait deux compteurs, l'un pour l'éclairage, l'autre pour le chauffage. Ce système est compliqué et coûteux. Il exige deux canalisations intérieures distinctes et est sujet à des abus.

Aussi certaines Sociétés américaines ont-elles adopté un compteur unique avec tarification spéciale.

L'un des systèmes de tarification consiste, tout d'abord, à imposer à l'abonné une taxe annuelle fixe proportionnelle au loyer : 10, 12, 15 pour 100 du montant de ce loyer, assurant à la Compagnie un minimum de recette. Puis l'énergie enregistrée par le compteur unique est facturée à un prix bas, 15, 10, et même 5 centimes le kilowatt-heure. Une canalisation intérieure unique sert à tous les usages. Si l'abonné emploie l'énergie seulement pour l'éclairage, par conséquent en faible quantité, il la paie à un prix unitaire élevé. S'il utilise en outre l'énergie pour le repassage, le chauffage de l'eau, la cuisine, le chauffage de l'apparte-

ment, etc., il paie l'énergie supplémentaire, consommée en quantité importante, à un prix unitaire bas.

Un deuxième système américain, comportant également le compteur unique, consiste à facturer l'énergie consommée par tranches successives à des prix unitaires décroissants, comme dans l'exemple suivant :

|   |         |         |
|---|---------|---------|
| Pour les 15 premiers kwh. consommés dans le mois. | 35 cent | le kwh. |
| Pour les 30 kilowattheures suivants . . . . .     | 25      | —       |
| Pour les kilowattheures en sus . . . . .          | 8       | —       |

En Suisse, le compteur à double tarif est d'un usage courant. Le compteur porte deux minuteriers dont l'une enregistre la totalité des kilowattheures consommés et dont l'autre a deux rapports d'enregistrement, l'un égal à l'unité pour la période de plein tarif et l'autre égal à une fraction donnée du premier pour la période de bas tarif. Cette seconde minuterie est commandée par une horloge. Pendant la période d'éclairage principal la totalité de l'énergie consommée par l'abonné est enregistrée au haut tarif : 40, 50, 60 centimes le kilowattheure. En dehors de cette période, l'énergie est facturée 20, 15 ou 10 centimes le kilowattheure. Dans les immeubles occupés par plusieurs abonnés une horloge unique commande tous les compteurs à double tarif.

Pour certains usages spéciaux, tels que le chauffage de l'eau, le compteur est commandé par une horloge qui ferme le circuit seulement pendant la nuit.

Voici une tarification comportant le compteur à double tarif. L'énergie enregistrée pendant le temps d'éclairage principal est facturée au haut tarif de 60 centimes le kilowattheure. Puis il est compté au tarif moyen de 20 centimes le kilowattheure autant de kilowattheures qu'il en a été consommé au haut tarif. Le surplus est facturé 10 centimes le kilowattheure.

On emploie aussi le compteur à tarif multiple. En 1919, la ville de Lausanne possédait 13.000 compteurs à tarif multiple appliquant quatre tarifs de 63 centimes, 33,75, 11 et 4,5 le kilowattheure à six ou sept périodes de la journée de vingt-quatre heures, variables selon les saisons.

Pour favoriser les fortes consommations et les grandes durées d'utilisation les tarifs qui précèdent peuvent être complétés par une échelle de rabais.