



# LE CHAUFFAGE

ET LA

## Ventilation des Bâtiments Industriels

Par G. DEBESSON

INGÉNIEUR CIVIL

Vice-Président de l'Association amicale des Ingénieurs de Chauffage et Ventilation de France.  
Membre de l'American Society of Heating and Ventilating Engineers (New-York).  
Membre de la British Institution of Heating and Ventilating Engineers (Londres).  
Membre de la Société des Ingénieurs Civils, de France.

### CHAPITRE PREMIER

#### QUELQUES CONSIDÉRATIONS SUR LA NÉCESSITÉ DU CHAUFFAGE ET DE LA VENTILATION

L'amélioration des conditions d'hygiène dans les ateliers et les usines a fait depuis une quinzaine d'années des progrès considérables dans tous les pays civilisés. Nous pouvons dire hautement, pour l'honneur de notre pays, que la France se classe au premier rang des nations dans lesquelles le législateur a tenu à protéger, par des règles humanitaires précises, la santé et la vie du personnel travailleur.

Il suffit pour s'en rendre compte de lire avec tout l'intérêt qu'il mérite le volumineux travail publié chaque année par le Ministère du Travail et de la Prévoyance sociale, et contenant les rapports des inspecteurs divisionnaires du travail, et ceux des ingénieurs en chef des Mines relatifs à l'application des lois réglementant le travail, et notamment de la loi de 1894 et du décret de 1904 relatifs à l'hygiène des ateliers.

Toutes les questions relatives à la durée des journées de travail, à la protection des mineurs employés dans l'industrie, au travail de nuit, à la journée de repos hebdomadaire, aux accidents du travail et aux mesures destinées à les éviter, toutes les descriptions des dispositions les plus parfaites pour assurer l'hygiène, sont traitées d'une manière excessivement intéressante.

On connaît, du reste, les études si complètes de nombreux fonctionnaires de l'inspection du travail, dont plusieurs ont reçu la haute approbation des sociétés industrielles, et les récompenses méritées offertes par l'Institut en signe de reconnaissance pour les services rendus à l'humanité.

Nous citerons à ce sujet les nombreux ouvrages utilitaires de M. Paul Razoux, ancien inspecteur du Travail, commissaire contrôleur au ministère du Travail et de la Prévoyance sociale,

ainsi que les travaux de M. Marcel Frois, inspecteur du Travail dans l'industrie.

Toute une bibliothèque précieuse d'économie sociale atteste le travail de ces fonctionnaires, qui ont beaucoup vu, beaucoup conseillé, et montre que, loin d'être les gendarmes de la législation industrielle, ils ont pour unique ambition d'être les collaborateurs des industriels avisés.

L'expression ne dépasse nullement notre pensée. Tous les chefs d'industrie intelligents et éclairés n'avaient pas attendu qu'on les y oblige pour mettre leur personnel dans les meilleures conditions d'hygiène possible. Ils n'ignoraient pas qu'il faut savoir semer pour récolter, et avaient compris que le bien-être augmente la puissance de production de la machine humaine, que leurs ouvriers feraient de la besogne meilleure s'ils étaient en possession de toutes leurs facultés, et, en particulier, si leurs heures de travail se passaient dans une atmosphère saine, respirable, et se rapprochant autant que possible des conditions essentielles nécessaires à l'organisme.

Quand on visite les usines modernes, par exemple les gigantesques ruches ouvrières que la nouvelle industrie de l'automobile a fait surgir de toutes pièces, on reste émerveillé de la place qu'occupent les installations hygiéniques. Partout de l'air, partout de la lumière; les machines-outils ont leurs parties dangereuses recouvertes d'organes protecteurs; les engins producteurs de poussières, de buées, de gaz ou vapeurs dangereux sont enveloppés par des capotes raccordées à de puissants aspirateurs; des vestiaires permettent de déposer les vêtements propres à l'arrivée pour prendre les habits de travail, et inversement; des lavabos alimentés largement en eau chaude et en eau froide, quelquefois même des douches, assurent les soins de propreté avant la sortie; enfin la question du chauffage et de la ventilation a été partout convenablement traitée.

A tout ce souci d'hygiène correspond tout naturellement une organisation de travail de premier ordre; aussi la production



molécules, animées de mouvements vibratoires de plus en plus rapides, que la température des corps s'élève. Le travail virtuel de vibration de ces molécules est ainsi transformé en chaleur.

5° Sous l'influence de ces vibrations et de ce travail moléculaire interne, le volume d'un corps augmente de plus en plus à mesure que celui-ci s'échauffe, on dit que le corps se dilate : le premier effet de la chaleur est donc de dilater les corps.

On distingue la dilatation linéaire, c'est-à-dire l'augmentation de longueur, et la dilatation cubique, ou accroissement de volume.

5° On trouve dans tous les formulaires les coefficients de dilatation des corps, c'est-à-dire la proportion suivant laquelle ils augmentent de longueur ou de volume, pour une différence de température de 1°.

Pour les corps solides, l'augmentation de longueur est donnée par la formule :

$$L_t = L_0(1 + Kt).$$

Dans laquelle :

$L_t$  est la longueur à la température  $t$  ;

$L_0$ , la longueur à 0° ;

$K$ , le coefficient de dilatation linéaire.

L'augmentation de volume est donnée par la formule :

$$V_t = V_0(1 + 3Kt).$$

dans laquelle  $V_t$  est le volume à  $t^\circ$  et  $V_0$  le volume à 0°.

6° Quand on chauffe un corps, son volume augmente, mais son poids ne varie pas. On appelle *densité* ou *poids spécifique* de ce corps le poids d'un décimètre cube à 0°.

La densité d'un corps varie donc en raison inverse de sa température, et, connaissant sa densité  $D_0$  à 0°, et son coefficient de dilatation  $K$ , on a sa densité  $D_t$  à  $t^\circ$  par la formule :

$$D_t = \frac{D_0}{1 + 3Kt}.$$

L'eau offre cette particularité remarquable qu'elle a son maximum de densité à + 4°. Si sa température s'abaisse, sa densité diminue jusqu'à 0°, point de congélation ; si sa température augmente, la densité diminue jusqu'à 100°, température d'ébullition.

7° La dilatation des gaz doit être étudiée dans trois cas différents :

a) *Sous volume et pression variables ;*

b) *Sous volume constant et pression variable ;*

c) *Sous volume variable et pression constante.*

Les coefficients de dilatation des gaz sous pression constante sont très voisins l'un de l'autre ; celui de l'air est 0,003665.

La formule  $V = 1 + \alpha t$ , ou binôme de dilatation des gaz, donne le volume d'un gaz à la température  $t$ , connaissant son coefficient de dilatation  $\alpha$ , et son volume 1 à 0°.

Les volumes des gaz à température constante varient en raison inverse des pressions :

$$\frac{V}{V_1} = \frac{P_1}{P}.$$

Les volumes d'un gaz dont la température varie sont proportionnels au binôme de dilatation :

$$\frac{V}{V_1} = \frac{1 + \alpha t}{1 + \alpha t_1}.$$

La densité de l'air par rapport à l'eau est de 0,001293, 1 litre d'air à 0°, sous la pression de 760 mm. de mercure, pesant 1 gr. 293, et 1 litre d'eau à + 4° pesant 1 kg.

8° C'est sur la dilatation des liquides que sont basés les thermomètres. On place dans un tube de verre, terminé par une ampoule à une extrémité, et fermé à l'autre extrémité, une certaine quantité de liquide, on marque la position du liquide dans le tube à deux températures connues, et on divise l'intervalle en parties égales.

Parmi de fort nombreux thermomètres successivement inventés, on n'emploie plus maintenant dans le monde entier que trois thermomètres :

Le thermomètre centigrade, employé en France et dans toute l'Europe continentale, dont le 0 correspond à la température de la glace fondante, et le point 100 à la température d'ébullition de l'eau, sous une pression de 760 mm. de mercure.

Le thermomètre Réaumur, employé par quelques puissances, notamment la Russie, et conservé en France dans certaines industries, a le même 0 que le thermomètre centigrade, et son point 80 correspond à la température de l'eau bouillante.

Enfin le thermomètre Fahrenheit, dont le point 32 correspond à la température de la glace fondante, et le point 212 à la température de l'eau bouillante.

Il est facile de transformer les indications des divers thermomètres en degrés centigrades, ou inversement :

$$1^\circ \text{ centigrade} = \frac{8}{10} \text{ ou } \frac{4}{5} \text{ de degré Réaumur.}$$

Inversement :

$$1^\circ \text{ Réaumur} = \frac{5}{4} \text{ de degré centigrade.}$$

Le 0 du thermomètre centigrade correspond à + 32 du thermomètre Fahrenheit ; le point 100 du premier correspond au point 212 du second.

Donc :

$$100^\circ \text{ centigrades} = 212 - 32 = 180^\circ \text{ Fahrenheit,}$$

et :

$$1^\circ \text{ centigrade} = \frac{180}{100} = \frac{9}{5} \text{ de degré Fahrenheit.}$$

Inversement :

$$1^\circ \text{ Fahrenheit} = \frac{5}{9} \text{ de degré centigrade.}$$

Pour traduire en degrés centigrades une température exprimée en degrés Fahrenheit, on commence par retrancher 32, puis on multiplie la différence par  $\frac{5}{9}$ . Par exemple :

$$113^\circ \text{ Fahr.} = (113 - 32) \times \frac{5}{9} = 45^\circ \text{ centigr.}$$

Pour traduire en degrés Fahrenheit une température exprimée en degrés centigrades, on commence par multiplier par  $\frac{9}{5}$  puis on ajoute 32.

$$80^\circ \text{ centigr.} = \left(\frac{9}{5} \times 80\right) + 32 = 176^\circ \text{ Fahr.}$$

On construit les thermomètres, soit avec de l'alcool, en les graduant jusqu'à 70°, point d'ébullition, ou avec du mercure, en les graduant jusqu'à 350°. Toutefois ces derniers ne sont corrects que jusqu'à 100°.

Nous renverrons aux traités spéciaux, et notamment à notre traité sur *Le chauffage des habitations*, pour les divers types de thermomètres, par exemple pour les thermomètres à maxima et à minima, pour les thermomètres à cadran, basés sur la déformation d'un tube mince écroui contenant un liquide très dilatable, comme l'éther ; pour les thermomètres à avertisseurs électriques à maxima et à minima ; pour les thermomètres enregistreurs, enfin pour les pyromètres, appareils basés sur la dilatation des métaux, et destinés à mesurer les hautes températures.

9° On appelle *chaleur spécifique* d'un corps la quantité de calories nécessaires pour élever de 1° centigrade la température de 1 kg. de ce corps.

La chaleur spécifique de l'eau, 1, est prise pour unité.

Les chaleurs spécifiques par rapport à l'eau de tous les autres corps sont indiquées dans les formulaires.

10° Quand on continue à chauffer les corps, les vibrations de plus en plus rapides des molécules les écartent l'une de l'autre, les corps changent d'état et deviennent liquides; on appelle ce phénomène la *fusion*.

Sous pression constante, chaque corps fond à une température invariable, différente suivant le corps, et qu'on appelle *température de fusion*.

Au moment où le corps fond, il absorbe une quantité de chaleur constante, insensible au thermomètre, et qu'on appelle *chaleur latente de fusion*. Inversement, quand un corps fondu se refroidit et se solidifie, il abandonne une quantité de chaleur égale à celle qu'il avait absorbée pour fondre, et sa température reste constante jusqu'à ce qu'il soit entièrement solidifié.

On trouvera dans les formulaires les températures et les chaleurs latentes de fusion des différents corps. Disons seulement que l'eau (glace) fond à 0°, et que sa chaleur latente de fusion est 79,25.

11° Quand on chauffe encore un corps fondu, ses molécules s'écartent de plus en plus, et, à une température fixe, mais différente pour chaque corps, il change d'état, devient vapeur, en absorbant encore une quantité de chaleur constante, insensible au thermomètre, et qu'on appelle *chaleur latente de vaporisation*.

Inversement, si on abandonne à elle-même une vapeur, elle revient à l'état liquide, en abandonnant sa chaleur latente de vaporisation.

La vaporisation se produit tumultueusement, les globules de vapeur remuant violemment la masse pour s'évacuer. On dit alors que le liquide est à l'état d'ébullition.

L'eau bout à 100°, et sa chaleur latente de vaporisation est de 537 à la pression atmosphérique. Ces deux chiffres varient, du reste, avec la pression; plus la pression s'élève, et plus ils augmentent.

C'est ce phénomène qu'on utilise dans le chauffage par la vapeur. Connaissant la température initiale de l'eau  $t$ , la température  $T$  correspondante à la pression, la quantité de chaleur à fournir à l'eau pour la vaporiser sous cette pression, et qu'on appelle *chaleur totale de vaporisation*, est donnée par la formule :

$$Q = 606,5 + (0,305 T) - t.$$

Inversement, si on condense de la vapeur à une pression correspondante à la température  $T$ , et qu'on l'aisse écouler l'eau librement à l'atmosphère, cette eau aura la température de 100°, et la quantité de chaleur latente abandonnée sera :

$$Q = (606,5 + 0,305 T) - 100.$$

12° Si on continue à chauffer une vapeur, enfermée dans un vase clos qui l'empêche de se dilater, ses molécules exerceront une poussée sur les parois du vase qui la contient, on dit que sa *pression* ou sa *tension* augmente.

On appelle *tension absolue* d'une vapeur la hauteur de la colonne d'eau ou de mercure à laquelle elle fait équilibre. Mais les instruments de mesure, ou *manomètres*, donnent toujours la *pression effective* au-dessus de l'atmosphère, c'est-à-dire qu'aux indications des manomètres il faut ajouter 1 atmosphère, ou 760 mm. de mercure, ou 10<sup>m</sup>.333 d'eau, pour avoir l'indication de la tension absolue.

1 atmosphère = 1 kg. 033 par centimètre carré; l'expression 1 kg. est donc un peu moins grande que l'expression 1 atmosphère, avec laquelle on la confond souvent;

13° Les pressions des vapeurs se mesurent au moyen de manomètres, manomètres à mercure, manomètres métalliques à cadran, manomètres enregistreurs, etc.;

14° Pour une température donnée il existe une limite à la quantité de vapeur qui peut se former dans un espace déterminé; on dit que la *vapeur est saturée* lorsqu'il reste un excès d'eau qui ne peut se vaporiser sans qu'on augmente la température.

La tension maximum d'une vapeur saturée est indépendante de

la pression; si on fait varier le volume de la vapeur, la tension maximum ne change pas, pourvu que la température reste la même, et qu'il y ait un excès liquide. On utilise cette propriété en chauffage pour certains régulateurs à vapeur saturée d'alcool, d'éther, d'hydrocarbures divers;

15° Si on continue à chauffer une vapeur quand tout le liquide a été vaporisé, cette vapeur se comporte comme un gaz, sa température augmente, on dit qu'on a de la *vapeur surchauffée*;

16° On appelle *densité d'une vapeur* le rapport entre le poids d'un certain volume de cette vapeur et le poids d'un égal volume d'air, à la même température et sous la même pression. La formule :

$$P = V \times 1 \text{ gr. } 293 \times D \frac{F}{760} \times \frac{1}{1 + \alpha T}$$

donne le poids  $P$  d'un volume  $V$  de vapeur dont la densité est  $D$ , la force élastique  $F$ , et la température  $T$ .

La densité de la vapeur d'eau par rapport à l'air est de 0,6235;

17° Les vapeurs et les gaz se mélangent, et la force élastique du mélange est égale à la somme des forces élastiques de chacun d'eux.

Pour une température et une pression déterminées il existe une quantité maximum de vapeur pouvant se mélanger avec un gaz, on dit alors que ce *gaz est saturé*.

Le mélange de la vapeur d'eau avec l'air atmosphérique est utile à connaître dans toutes les questions de séchage.

On trouve dans tous les formulaires le tableau du poids de vapeur d'eau qui est contenu dans l'air saturé de 0 à 100° et sous la pression de 760 mm. de mercure;

18° On appelle *état hygrométrique* de l'air, le rapport de la quantité de vapeur d'eau qu'il contient à la quantité qu'il contiendrait s'il était complètement saturé, sous la même pression et à la même température.

La mesure de l'état hygrométrique de l'air se fait au moyen d'appareils appelés hygromètres. Dans toutes les industries qui exigent un état hygrométrique constant on fait usage d'hygromètres enregistreurs;

19° La chaleur se transmet d'un corps à un autre par *conductibilité* ou par *conduction*, par *mélange*, par *convection* et par *radiation*;

20° La transmission par conductibilité se fait de proche en proche dans les corps, par transmission des vibrations moléculaires, jusqu'à ce qu'il y ait équilibre entre leurs températures, sans changement dans la position des molécules, et avec une vitesse plus ou moins grande suivant que les corps sont *bons* ou *mauvais conducteurs*.

D'une façon générale les métaux sont bons conducteurs, les liquides, les gaz, et les calcaires sont mauvais conducteurs.

On utilise la propriété de certains corps d'être mauvais conducteurs pour en faire des enveloppes calorifuges.

La formule :

$$M = K \frac{t - t'}{E}$$

donne la quantité  $M$  de calories transmises par un corps dont la surface est  $1\text{m}^2$ , le coefficient de conductibilité  $K$ , l'épaisseur  $E$ , la température  $t$  sur une face et  $t'$  sur une autre face;

21° Lorsqu'on mélange deux liquides, deux gaz, deux vapeurs, deux solides réduits en poussière, l'équilibre de température s'établit par transmission des vibrations des molécules, le mélange prend une température moyenne, mais les positions relatives des molécules sont changées.

Ainsi on obtient de l'eau tiède en mélangeant de l'eau froide avec de l'eau chaude;

22° La *convection* est un mode de transmission de la chaleur par déplacement ou transport des molécules.

Il s'établit au voisinage d'un corps chaud des courants ascendants dans les liquides ou les gaz qui viennent à son contact, par



ULTIMHEAT, source de densité des parties chauffées, qui sont moins chaudes, qui descendent ;  
 rayonnement, est une transmission par émission de rayons calorifiques lumineux ou obscurs, dus aux ondes qui transmettent les vibrations des molécules ;

24° La convection et la radiation se produisent simultanément ; on les représente par la formule :

$$M = KS(t - \theta),$$

dans laquelle M est la quantité de calories transmises par un corps de surface S, à la température t, à un autre corps de température  $\theta$ .

Le coefficient K a pour expression :

$$K = nf + mr,$$

nf se rapporte à la convection, et se décompose en :

n, variable avec la température

$$n = 0.552 \frac{(t - \theta)^{1.253}}{t - \theta},$$

et f, variable avec la forme des corps, sphériques, cylindriques, etc., et leur hauteur.

mr se rapporte à la radiation, et comprend :

m, variable avec la température

$$m = a^3 \times 124.72 \frac{a^{(t - \theta)} - 1}{t - \theta}$$

et r, variable suivant les corps, et dont on trouve les valeurs dans le *Traité de la chaleur*, de Péclet.

25° On considère dans les questions de chauffage :

a) La transmission de la chaleur à travers les parois à deux faces parallèles, qui varie avec l'épaisseur et la nature des corps. C'est le facteur le plus important des calculs de chauffage, et nous donnons ci-après le tableau des coefficients les plus généralement adoptés pour les matériaux de construction.

b) La transmission de la chaleur à travers les parois cylindriques, un peu différente de la précédente si les parois sont très épaisses, mais généralement négligeable pour les appareils de chauffage, dont les deux faces sont sensiblement équivalentes, en raison de la faible épaisseur du métal de leurs parois.

c) La transmission de la chaleur d'un fluide en repos à un fluide en mouvement, à travers une des parois ci-dessus.

d) La transmission si les deux fluides sont en mouvement, soit dans le même sens, soit en sens contraire l'un de l'autre.

e) La pénétration de la chaleur dans l'intérieur des corps, variable avec les corps et avec leur épaisseur.

f) Enfin la chaleur emportée par la ventilation, qui a pour expression :

$$M = V \times 0.307(t - \theta),$$

dans laquelle V est le volume d'air renouvelé par heure, 0,307 la quantité de calories nécessaire pour élever de 1° la température de 1 m<sup>3</sup> d'air, t et  $\theta$  les températures respectives de l'air à la sortie et à l'entrée.

Pour ne pas allonger inutilement ces notes techniques, nous arrêtons ici cette nomenclature rapide des principes utilisés dans les études de chauffage, nous réservant de les reprendre en détail au fur et à mesure qu'ils nous seront utiles.

Nous entrerons de suite dans le vif de notre sujet en appliquant les formules au calcul du chauffage de l'atelier représenté par le plan (fig. 1).

Nous appliquerons pour le calcul des pertes par les parois les coefficients du tableau ci-dessous, établis par Péclet d'une manière exacte, et dont nous avons simplement arrondi les chiffres, pour simplifier, car les décimales jouent un rôle insignifiant dans les calculs de transmission de calories.

TABLEAU DES COEFFICIENTS K.

ÉPAIS- SEUR	MURS EN MAÇONNERIE DE				ciment armé
	Pierre calcaire ou meulière	bricks pleins enduit	bricks pleins avec enduit en plâtre, papier ou peinture, sur la face in- térieure	bricks creuxes	
0,06	3,60	2,90	2,70		3,00
0,10	3,30	2,60	2,50		2,80
0,15	3,10	2,20	2,10		2,50
0,20	2,80	1,80	1,70		2,20
0,30	2,50	1,50	1,50	3/4	
0,35	2,35	1,40	1,30	des	
0,40	2,20	1,30	1,20	coefficients	
0,45	2,10	1,15	1,05	des	
0,50	1,90	1,00	0,90	des	
0,55	1,80	0,90	0,85	bricks	
0,60	1,70	0,80	0,75	pleines	
0,65	1,60	0,75	0,70	des deux	
0,70	1,50	0,70	0,65	colonnes	
0,75	1,45	0,65	0,60	pré-	
0,80	1,40	0,60	0,55	cédenes.	
0,90	1,35	0,55	0,50		
0,95	1,30	0,50			
1,00	1,20	0,45			
1,15	1,15				
1,30	1,10				
1,40	1,00				
1,50	0,90				
2,00	0,70				

2 murs en briques de 0,06 d'ép., séparés par un vide de 0,05.	1,50
1 mur — de 0,05 et 1 de 0,11. — —	1,40
2 murs — de 0,11 d'ép. — —	1,30
1 mur de 0,08 d'épaisseur, en carreaux de plâtre enduits sur chaque face.	1,80
Bois de 0,03 d'épaisseur . . . . .	1,82
Vitres nues, simples, posées verticalement	4,00
— — — et recouvertes d'un rideau en mousseline	3,00
— doubles, — et séparées par un vide de 0,03 à 0,06	2,00
Plafond vitré, simple	5,00
double.	3,00
Plafond ordinaire, en plâtre et lattis, sans comble fermé	0,80
— — — avec plancher au-dessus.	0,60
— — — voûté en briques de 0,11, avec carrelage au-dessus	1,70
— — — avec plancher en bois au-dessus	1,50
Toit en zinc sur lattis.	2,15
double en sapin jointif	1,50
double en briques de liège de 0,06 avec enduit	0,60
Toit en tuiles, sur lattis ordinaire	3,60
avec voligeage en dessous, à 0,15 de distance.	1,00
— avec briques de liège de 0,06 à 0,15 de distance.	0,60
Toit ou plafond extérieur en ciment volcanique	4 à 5
Planchers en bois, sur platras ou voutains.	1,50
Sol, sur terre-plein (toujours compté à + 10°).	1,90
Sol pavé en bois ( — — ).	0,60

La formule générale de transmission de l'air à l'air, à travers une paroi à deux faces parallèles est :

$$M = KS(T - \theta),$$

dans laquelle :

S, est la surface de la paroi ;

T, la température en degrés centigrades à maintenir dans le local considéré ;

$\theta$ , le minimum de température extérieure pour lequel la température T doit être maintenue à l'intérieur ;

## CHAPITRE IV

## EXEMPLE DE CALCUL PRÉLIMINAIRE DE CHAUFFAGE D'UNE USINE ET DE SES BUREAUX

K) un coefficient, par mètre carré de surface de paroi, variable avec la nature et l'épaisseur de la paroi considérée.

Le tableau de la page 6 indique les coefficients K de Pécelet pour les parois les plus habituellement employées dans les constructions industrielles en France.

Pour les parois exposées au Nord on majore de 2<sup>e</sup> l'écart de température qui sert de base aux calculs.

Pour les parois exposées aux vents violents du Nord et de l'Ouest on majore de 20 à 50 % les chiffres trouvés pour les pertes de calories.

Lorsque le chauffage fonctionne d'une manière continue, c'est-à-dire de jour et de nuit, on établit simplement le calcul des pertes par les parois au moyen de la formule et des coefficients ci-dessus; on y ajoute les calories emportées par la ventilation, d'après la formule indiquée précédemment :

$$M = V \times 0,207 \times (T - \theta)$$

Si le chauffage est discontinu, c'est-à-dire s'il ne fonctionne pas la nuit, il faut compter une certaine majoration pour la mise en

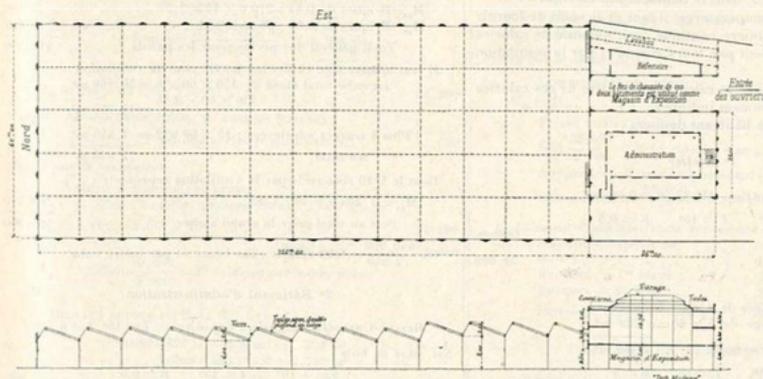


Fig. 1. — Plan et coupe de l'usine type dont le chauffage sera étudié par les diverses méthodes.

régime rapide du matin; on ajoute quelques surfaces de chauffe pour tenir compte de cette majoration, en ayant soin de les munir de robinets, de manière à pouvoir les isoler du circuit lorsque le régime est établi.

Cette majoration est assez difficile à préciser, et le plus souvent on se borne à une augmentation d'un certain pourcentage, déterminé par analogie en comparant à des bâtiments similaires.

On se sert en Allemagne et en Autriche du coefficient de majoration ci-dessus, que nous n'avons pas vérifié, et que nous donnons sous réserves :

$$M' = M \times 0,065 \frac{(n-1)}{z}$$

dans lequel M est le chiffre de calories calculé comme si le chauffage était continu;

n est le nombre d'heures pendant lequel le chauffage est interrompu;

z, est le nombre d'heures après lequel on désire que le chauffage soit établi.

Nous allons examiner maintenant l'application des formules de pertes de calories par les parois à l'usine type représentée figure 1, et que nous supposons une usine moderne pour la fabrication d'automobiles.

L'atelier principal a 156 m. de long sur 60 m. de large; il est orienté du Sud au Nord dans le sens de sa longueur.

Le sol est pavé en bois. Le plafond, en forme de sheds, se compose de 13 travées, dont 9 partent à 6 m. du sol, et 4 à 8 m., pour permettre le passage d'un pont roulant. La hauteur de chaque shed est uniformément de 3<sup>m</sup>,15; la face dirigée vers le Nord est vitrée en vitres simples; l'autre face est couverte en tuiles, avec doublage intérieur en carreaux de liège, enduits en plâtre.

Les murs sont en briques de 0<sup>m</sup>,22 d'épaisseur, piles en 0<sup>m</sup>,44 et 0<sup>m</sup>,55, et les fenêtres, à raison de 2 par travée, ont chacune 3<sup>m</sup>,20 × 4<sup>m</sup>,50 de haut.

La température demandée pour cet atelier est de 15° jusqu'à 0° à l'extérieur. La ventilation devra être prévue, et pour le calcul, on l'estimera à 1/10 du volume de l'atelier par heure.

L'atelier est d'une seule travée, sans cloisonnements intérieurs.

Le bâtiment d'administration est placé en façade sud de l'atelier. Ses dimensions extérieures sont 36 m. × 23 m. Au rez-de-chaussée est une galerie d'ex-

position, qui sera chauffée à la même température que l'atelier.

Au-dessus, séparés par un plancher sur voutains en briques, les bureaux sont disposés en 2 étages superposés, tout autour d'un grand hall couvert en vitres, sur 13<sup>m</sup>,75 de haut, 23 m. de long et 10 m. de large. Les bureaux ne seront séparés du hall et séparés entre eux que par des cloisons mobiles, dont la disposition est variable; on comptera un appareil de chauffage distinct et réglable pour chaque division correspondante à une fenêtre.

Le hall, bien que communiquant avec les bureaux, aura son chauffage indépendant, comme s'il était isolé.

Les murs sont en briques, de 0<sup>m</sup>,33 d'épaisseur; les fenêtres ont uniformément 3<sup>m</sup>,15 × 2<sup>m</sup>,40; le plafond des bureaux, à l'étage supérieur, est en ciment armé; le toit du hall est vitré pour 2/3, et couvert en tuiles doublées de liège pour l'autre tiers.

La température sera calculée pour maintenir dans les bureaux et le hall 18°, même lorsqu'elle s'abaissera à l'extérieur jusqu'à

5°. La ventilation sera prévue en supposant le cube renouvelé au moins une fois par heure.

Une grande allée de 10 m. sépare ce bâtiment d'un autre, placé à droite, à usage de magasin d'exposition à rez-de-chaussée, sur 5 m. de haut, de lavabos et réfectoire pour les ouvriers, au premier étage, sur 5 m. de haut également.

Le mur mitoyen est en meulière de 0<sup>m</sup>,50 d'épaisseur; les



**ALTIMHEAT®** en briques de 0<sup>m</sup>33. Le magasin d'exposition sera par des fenêtres de 3<sup>m</sup>.15 × 4<sup>m</sup>.40. Les lavabos sont éclairés par un lanterneau vitré de 35 m. de long sur 5 m. de largeur, et une flèche de 2<sup>m</sup>.50; ce lanterneau est surélevé de 1 m. au-dessus du toit, et les parties latérales, également vitrées, peuvent s'ouvrir pour permettre de ventiler. La toiture est en ciment armé. Les dimensions de ce bâtiment, en forme de trapèze sont : longueur 36 m., grande base 15 m., petite base 10 m. la largeur uniforme des lavabos, sur trois faces du réfectoire, est de 7<sup>m</sup>.50.

Ce bâtiment sera maintenu à la même température que l'atelier. Le cube sera renouvelé une fois par heure partout, sauf dans les lavabos, où on comptera deux fois.

### Établissement du calcul des calories à fournir.

Supposons tout d'abord le régime de températures intérieures établi dans les divers locaux à chauffer, soit 15° dans le grand atelier, 15° dans les magasins d'exposition, 18° dans les services de l'administration, et 15° dans le bâtiment des lavabos.

Pour conserver ces températures, il faut et il suffit de fournir à ces locaux, d'une manière continue, une quantité de calories égale à celle qu'ils perdent par leurs parois et par la ventilation prescrite.

Nous appliquerons pour le calcul préliminaire de ces calories les coefficients précédemment indiqués.

Le calcul pour chaque bâtiment donnera :

#### 1<sup>o</sup> Atelier.

*Sol :*  
Surface totale :  $156 \times 60 = 9.360 \text{ m}^2$ .  
 $\theta = 10^\circ \quad T = 15^\circ \quad K = 0,6$   
 $M_1 = 9.360 \times 0,6 \times 5 = 28.080$  Calories.

*Plafond :*  
12 vitrages de  $3 \times 60 = 2.160 \text{ m}^2$ .  
1 vitrage de  $5 \times 60 = 300 \text{ m}^2$ .  
Ensemble 2.460 m<sup>2</sup>.  
 $\theta = 0^\circ \quad T = 15^\circ \quad K = 4$   
 $M_2 = 2.460 \times 15 \times 4 = 147.600$   
 $M_1 = \text{Plus-value } 2^\circ \text{ pour exposition au nord} = 19.680$

13 parties en tuiles doublées de liège :  
 $12 \times 5,5 \times 60 = 3.960 \text{ m}^2$ .  
 $4 \times 10 \times 60 = 2.400 \text{ m}^2$ .  
Ensemble. 4.560 m<sup>2</sup>.  
 $\theta = 0^\circ \quad T = 15^\circ \quad K = 0,6$   
 $M_3 = 4.560 \times 15 \times 0,6 = 41.040$

*Paroi face au nord :*  
Surface totale :  $60 \times 6 = 360 \text{ m}^2$ .  
Dont vitres :  $3,2 \times 4,5 \times 10 = 144 \text{ m}^2$ .  
Piles en 0,44 :  $6 \times 0,45 \times 15 = 50 \text{ m}^2,5$ .  
Piles en 0,55 :  $6 \times 0,33 \times 6 = 12 \text{ m}^2$ .  
Reste en briques de 0,22 =  $163 \text{ m}^2,5$ .  
 $\theta = 0^\circ \quad T = 15^\circ$   
 $M_4$  Vitres,  $K = 4, 144 \times 15 \times 4 = 8.640$   
 $M_5$  Briques de 0,22,  $K = 1,7, 163,5 \times 15 \times 1,7 = 4.170$   
 $M_6$  Briques de 0,44,  $K = 1,2, 50,5 \times 15 \times 1,2 = 730$   
 $M_7$  Briques de 0,55,  $K = 1, 12 \times 15 \times 1 = 180$   
Ensemble 13.720  
 $M_8$  Plus-value face au nord 2<sup>o</sup>, soit  $\frac{13.720}{7,5} = 1.830$   
 $M_{10}$  Plus-value vents du nord, 20 % = 2.740

Calories.

#### Paroi face au sud :

Même disposition que face au nord, moins la surface protégée par les bâtiments adossés, sur  $23 + 15 = 38 \text{ m}$ , soit les  $\frac{22}{60}$  de la surface

$$M_{11} = 13.720 \times \frac{22}{60} = 50.300$$

#### Parois latérales :

Surface totale  $156 \times 6 \times 2 = 1.872 \text{ m}^2$ .  
 $12 \times 4 \times 2 = 96 \text{ m}^2$ .

$$\frac{12 \times 3,15}{2} \times 13 \times 2 = 492 \text{ m}^2$$

Ensemble 3.460 m<sup>2</sup>.

Dont vitres :  $3,2 \times 4,5 \times 26 \times 2 = 748 \text{ m}^2,8$ .

Piles en 0,44 :  $6 \times 0,45 \times 39 \times 2 = 210 \text{ m}^2,6$ .

Piles en 0,55 :  $6 \times 0,33 \times 14 \times 2 = 56 \text{ m}^2$ .

Le reste en 0,22 = 2.444 m<sup>2</sup>,6.

$M_{12}$  Vitres :  $748,8 \times 15 \times 4 = 44.630$

$M_{13}$  Briques de 0,22 :  $2.444,6 \times 15 \times 1,7 = 62.340$

$M_{14}$  Briques de 0,44 :  $210,6 \times 15 \times 1,2 = 3.790$

$M_{15}$  Briques de 0,55 :  $56 \times 15 \times 1 = 850$

Total général des pertes pour les parois = 416.590

Il faut ajouter à ce chiffre les pertes pour la ventilation :

Le cube total étant de  $156 \times 60 \times 6 = 56.160 \text{ m}^3$ .

$$\frac{156 \times 60 \times 3,15}{2} = 14.740 \text{ m}^3$$

Plus 4 travées surélevées :  $12 \times 60 \times 2 = 1.440 \text{ m}^3$ .

Au total. 72.340 m<sup>3</sup>.

Dont le 1/10 renouvelé par la ventilation représente :

$$M_{16} = 7.234 \times 0,307 \times 15 = 33.310$$

Soit au total pour le grand atelier. 449.900

Où  $\frac{449.900}{72.340} = 6,22$  calories par heure et par mètre cube.

#### 2<sup>o</sup> Bâtiment d'administration.

REZ-DE-CHAUSSÉE (Magasin d'Exposition),  $T = 15^\circ$ ,  $\theta = 0$ .

#### Sol, pavé en bois :

$$\theta = +10^\circ \quad T = 15^\circ \quad K = 0,6$$

Surface  $36 \times 23 = 828 \text{ m}^2$ .

$$M_{17} = 828 \times 0,6 \times 5 = 2.684$$

*Plafond*, voutains de briques de 0,11 avec plâcher dessus,  $K = 1,50$ . Il y aura non pas déperdition, mais gain de calories, les locaux de dessus étant chauffés à  $+18^\circ$ .

$$\theta = +18^\circ \quad T = 15^\circ$$

$$M_{18} = 828 \times 1,5 \times 3 = 3.726 \quad \text{A déduire.}$$

#### Parois sur 3 faces :

Surface totale.  $(23 + 36 + 36) \times 5 = 425 \text{ m}^2$ .

Dont vitres :  $2,4 \times 2,15 \times 13 = 98 \text{ m}^2,30$ .

Piles en 0,44 :  $5 \times 0,45 \times 20 = 45 \text{ m}^2$ .

Le reste en briques de 0,22. 281 m<sup>2</sup>,70.

$M_{19}$  Vitres :  $98,3 \times 15 \times 4 = 5.898$

$M_{20}$  Briques 0,44 :  $45 \times 15 \times 1,2 = 810$

$M_{21}$  Briques 0,22 :  $281,7 \times 15 \times 1,7 = 7.184$

Total des pertes par les parois = 15.890

#### Pertes par la ventilation :

Volume renouvelé par heure  $828 \times 5 = 4.140 \text{ m}^3$ .

$$M_{22} = 4.140 \times 0,307 \times 15 = 19.065$$

Total Magasin d'Exposition. 34.915

Soit  $\frac{34.915}{4.140} = 8$  calories 43 par heure et par mètre cube.



1<sup>er</sup> ÉTAGE.

HALL à compter comme s'il était isolé.

$$T = 18^{\circ} \quad \theta = -5^{\circ} \quad T - \theta = 23^{\circ}.$$

Sol au-dessus du magasin d'exposition.

$$T = 18^{\circ} \quad \theta = 15 \quad T - \theta = 3^{\circ} \quad K = 1,50.$$

Surface  $23 \times 10 = 230 \text{ m}^2$ .

$$M_{23} = 230 \times 1,5 \times 3 \quad 1,035$$

Plafond :

Partie en tuile doublée de liège :

$$T - \theta = 23 \quad K = 0,6.$$

Surface  $(20 + 20 + 7 + 7) \times 3,15 = 170 \text{ m}^2$ .

$$M_{24} = 170 \times 0,6 \times 23. \quad 2,345$$

Partie vitrée :

$$T - \theta = 23 \quad K = 5$$

Surface  $(23 + 23 + 10 + 10) \times 1 = 66 \text{ m}^2$ .

2 triangles  $\frac{10 \times 4}{2} \times 2 = 40 \text{ m}^2$ .

2 trapèzes  $\frac{(12 + 23) \times 4}{2} \times 2 = 150 \text{ m}^2$ .

Total  $246 \text{ m}^2$ .

$$M_{25} = 246 \times 23 \times 5. \quad 28,290$$

Peroirs : Aucune déperdition ; ce sont les bureaux.

Total des pertes par les parois.  $31,670$

Pertes par la ventilation :

Volume renouvelé par heure :

$$230 \times \text{hauteur moyenne } 13 \text{ m} = 3,000 \text{ m}^3.$$

$$M_{26} = 3,000 \times 0,307 \times 23 \quad 21,180$$

Total hall.  $52,850$

$$\text{Soit } \frac{69,000}{3,000} = 23 \text{ calories par mètre cube.}$$

BUREAUX AUTOUR DU HALL (1<sup>er</sup> ÉTAGE) :

Surface  $828 \text{ m}^2 - 230 \text{ m}^2 = 598 \text{ m}^2$ .

Volume  $598 \times 4,5 = 2,700 \text{ m}^3$ .

Sol :

Au-dessus du Magasin d'Exposition :

$$M_{27} = 598 \times 1,5 \times 3. \quad 2,691$$

Pas de pertes par le plafond.

Peroirs extérieurs sur 3 faces :

$$M_{28} \text{ Vitres : } 88,5 \times 23 \times 4 \quad 8,142$$

$$M_{29} \text{ Briques de } 0,44 : 40,5 \times 23 \times 1,2 \quad 1,118$$

$$M_{30} \text{ Briques de } 0,22 : 253,5 \times 23 \times 1,7 \quad 7,377$$

Peroir adossée au grand atelier :

1/2 adossé  $T - \theta = 3$  1/2 extérieur  $T - \theta = 23$ .

$$M_{31} \text{ Vitres : } \left\{ \begin{array}{l} (3,2 \times 4,5 \times 4) \times 3 \times 4 \times 1,2. \\ (3,2 \times 4,5 \times 4) \times 23 \times 4 \times 1,2. \end{array} \right. \quad 173$$

$$M_{32} \text{ Piles en } 0,44 : \left\{ \begin{array}{l} (0,45 \times 4,5 \times 4) \times 3 \times 1,2 \times 1,2. \\ (0,45 \times 4,5 \times 4) \times 23 \times 1,2 \times 1,2. \end{array} \right. \quad 15$$

$$M_{33} \text{ Piles en } 0,55 : \left\{ \begin{array}{l} (0,33 \times 4,5 \times 2) \times 3 \times 1 \times 1,2. \\ (0,33 \times 4,5 \times 2) \times 23 \times 1 \times 1,2. \end{array} \right. \quad 5$$

Total des pertes par les parois  $22,462$

Pertes par la ventilation :

Volume renouvelé par heure :

$$598 \times 4,5 = 2,700 \text{ m}^3.$$

$$M_{34} = 2,700 \times 0,307 \times 23. \quad 19,063$$

Pertes totales des bureaux du 1<sup>er</sup> étage

$$41,525$$

Soit  $\frac{41,525}{2,700} = 15,38$  calories par mètre cube.

Calories.

A répartir sur 19 fenêtres extérieures et 4 fenêtres intérieures. Soit sur 23 fenêtres :

$$41,525$$

A raison de  $\frac{41,525}{23} = 1,805$  calories par fenêtre.

BUREAUX AUTOUR DU HALL (2<sup>e</sup> ÉTAGE) :

Même surface, même volume que les précédents.

Pas de pertes par le sol.

Plafond en ciment armé :

$$K = 2,8 \quad T = 18 \quad \theta = -5.$$

$$M_{35} = 598 \times 2,8 \times 23. \quad 38,510$$

Peroirs extérieurs sur 3 faces :

Mêmes pertes qu'au 1<sup>er</sup> étage.

$$M_{36} = 8,142 + 1,118 + 7,377 \quad 16,635$$

Peroir côté du grand atelier :

Mêmes surfaces qu'au 1<sup>er</sup> étage, mais avec la totalité exposée à l'extérieur.

$$\text{Soit } M_{37} = (2,650 + 224 + 67) \times 2 \quad 5,882$$

Pertes totales par les parois des bureaux du 2<sup>e</sup> étage.  $61,027$

Pertes par la ventilation :

Comme à l'étage inférieur.

$$M_{38} = M_{34}. \quad 19,063$$

Pertes totales des bureaux du 2<sup>e</sup> étage.

$$\text{Soit } \frac{80,090}{2,700} = 29,66 \text{ calories par mètre cube.}$$

A répartir sur 23 travées possédant chacune 1 fenêtre.

Soit par fenêtre  $\frac{80,090}{23} = 3,482$  calories.

Le bâtiment d'administration représente donc à lui seul :

Magasin d'Exposition.  $34,915$  calories.

Hall.  $52,850$  —

Bureaux du 1<sup>er</sup> étage.  $41,525$  —

Bureaux du 2<sup>e</sup> étage.  $80,090$  —

Pertes de calories totales.  $209,380$  par heure.

3<sup>e</sup> Bâtiment des Lavabos et Réfectoire.

Rez-de-chaussée (Magasin d'Exposition).

$$\text{Surface } \frac{15 + 10}{2} \times 36 = 450 \text{ m}^2.$$

$$\text{Volume } 450 \times 5 = 2,250 \text{ m}^3.$$

$$T = 15^{\circ} \quad \theta = 0.$$

Sol pavé en bois :

$$T = 15^{\circ} \quad \theta = +10^{\circ} \quad K = 0,6.$$

$$M_{39} = 450 \times 5 \times 0,6 \quad 1,350$$

Mur mitoyen, meulière de 0,50 :  $K = 1,9$ .

$$M_{40} = (38 \times 5) \times 15 \times 1,9. \quad 5,415$$

Murs extérieurs sur 2 faces :

Surface totale :  $(36 + 10) \times 5 = 230 \text{ m}^2$ .

Dont vitres :  $(3,15 \times 4,4) \times 6 = 83 \text{ m}^2, 15$ .

Piles de 0,44 :  $(0,45 \times 5) \times 7 = 15 \text{ m}^2, 75$ .

Le reste en briques de 0,22 =  $131 \text{ m}^2, 10$ .

$$M_{41} \text{ Vitres : } 83,15 \times 15 \times 4. \quad 4,989$$

$$M_{42} \text{ Briques de } 0,44 : 15,75 \times 15 \times 1,2 \quad 284$$

$$M_{43} \text{ Briques de } 0,22 : 131,1 \times 15 \times 1,7 \quad 3,335$$

Pertes totales par les parois  $13,377$

Pertes par la ventilation :

$$M_{44} = 2,250 \times 15 \times 0,307. \quad 10,362$$

Total Magasin d'Exposition.  $25,739$

$$\text{Soit } \frac{25,739}{2,250} = 11,4 \text{ calories par mètre cube chauffé.}$$



Calories.

Calories.

$$\text{Surface } \frac{7,5 + 2,5}{2} \times 56,5 = 132^{\text{m}^2},5$$

$$\text{Volume } 132,5 \times 5 = 662^{\text{m}^3},5$$

Pas de pertes par le sol.

Plafond en ciment armé :

$$T = 15 \quad \theta = 0 \quad K = 2,8$$

$$M_{14} = 132,5 \times 15 \times 2,8 = 5,565$$

Parois extérieures :

$$\text{Surface totale } 26,5 \times 5 = 132^{\text{m}^2},5$$

$$\text{Dont vitres : } (3,15 \times 4,4) \times 4 = 55^{\text{m}^2},5$$

$$\text{Piles de } 0,44 : (0,45 \times 5) \times 5 = 11^{\text{m}^2},25$$

$$\text{Le reste en briques de } 0,22 : = 65^{\text{m}^2},75$$

$$M_{15} \text{ Vitres : } 55,5 \times 15 \times 4 = 3,330$$

$$M_{16} \text{ Briques de } 0,44 : 11,25 \times 15 \times 4,2 = 203$$

$$M_{17} \text{ Briques de } 0,22 : 65,75 \times 15 \times 4,7 = 1,677$$

$$\text{Pertes totales par les parois } = 10,775$$

Pertes par la ventilation :

$$M_{18} = 662,5 \times 15 \times 0,307 = 3,050$$

$$\text{Pertes totales du Réfectoire. } = 13,825$$

$$\text{Soit } \frac{13,825}{662,5} = 20,8 \text{ calories par mètre cube chauffé et par heure.}$$

1<sup>er</sup> ÉTAGE (LAVABOS).

$$\text{Surface } 450 - 132,5 = 317^{\text{m}^2},5$$

$$\text{Volume } 2,250 - 662,5 = 1,587^{\text{m}^3},5$$

$$\text{Plus volume du lanterneau } = 392^{\text{m}^3},5$$

$$1,980 \text{ m}^3$$

Pas de pertes par le sol.

Plafond en ciment armé :

$$\text{Surface : } 317^{\text{m}^2},5 - \text{Lanterneau } 175^{\text{m}^2} = 142^{\text{m}^2},5$$

$$M_{20} = 142,5 \times 15 \times 2,8 = 5,985$$

Mars extérieurs :

Comme au Rez-de-Chaussée, moins Réfectoire.

$$M_{21} \text{ Vitres : } 4,989 - 3,330 = 1,659$$

$$M_{22} \text{ Briques de } 0,44 : 284 - 203 = 81$$

$$M_{23} \text{ Briques de } 0,22 : 3,335 - 1,675 = 1,660$$

$$\text{Pertes totales par les parois } = 36,570$$

Pertes par la ventilation :

Volume renouvelé 2 fois par heure.

$$\text{Soit } 1,980 \times 2 = 3,960 \text{ m}^3$$

$$M_{24} = 3,960 \times 15 \times 0,307 = 18,235$$

$$\text{Total des Lavabos. } = 54,805$$

$$\text{Soit } \frac{54,805}{1,980} = 27,6 \text{ calories par mètre cube chauffé.}$$

RÉSUMÉ DU CALCUL DE CALORIES.

Les appareils de chauffage devront donc être capables de produire par heure, savoir :

$$\text{Pour le grand atelier. } = 449,900 \text{ calories.}$$

$$\text{Pour le bâtiment d'administration : } = 209,380 \text{ —}$$

$$\text{Pour le bâtiment du réfectoire et lavabos : } = 94,365 \text{ —}$$

$$25,735 + 13,825 + 54,805 = 94,365$$

$$\text{Au total, par heure } = 753,645 \text{ calories.}$$

Le calcul présenté comme ci-dessus serait incommode et difficile à vérifier. On le simplifiera en employant un tableau de calcul imprimé, dont nous donnons un exemple ci-dessous.

On inscrira en noir les désignations des locaux, les volumes, les surfaces, les températures demandées, les coefficients; on prendra de l'encore rouge pour les produits de calories trouvés, et de l'encore bleue pour les plus-values, vents du Nord, exposition au Nord, chauffage intermittent, etc. Le contrôle sera ainsi très facile.

DÉSIGNATION du local	CUBE	TEMPÉ- RATURE		SOL OU PLANCHER		PLAFONDS OU TOITS			MURS EXTÉRIEURS					MURS INTÉRIEURS		VITRES VERTICALES		VENTILATION	TOTAL	PLUS-VALEUR CHAUFFAGE DISCONTINU					
		extérieure	intérieure	pavé en bois	sur voutains en briques	en tuiles doubles	en ciment armé de 0,10	en bois	Piles verticales, vents et expo- sition au Nord	en membrures de 0,30	en briques			Piles verticales, vents et expo- sition au Nord	en briques	en carréaux de plâtre	avec rideaux				Piles verticales, vents et expo- sition au Nord				
											de 0,35	de 0,44	de 0,23									de 0,22	de 0,11	de 0,22	de 0,11
				0,60	1,50	0,60	2,80	5	2,20%	1,90	0,90	1,15	1,50	1,80	2,60	2,50%	1,80	2,60	1,80	4	2	2,50%	0,307		

lanterneau :

$$\text{Surface } (35 + 35 + 5 + 5) \times 1 = 80 \text{ m}^2$$

$$2 \text{ triangles } \frac{5 \times 3}{2} \times 2 = 15 \text{ m}^2$$

$$2 \text{ trapèzes } \frac{35 + 30}{2} \times 3 \times 2 = 195 \text{ m}^2$$

$$\text{Total. } = 290 \text{ m}^2$$

$$M_{25} = 290 \times 15 \times 5 = 21,750$$

sur mitoyen :

$$M_{26} \text{ Comme au Rez-de-Chaussée. } = 5,415$$

Remarquons avant tout calcul que la ventilation demandée est très importante.

$$\text{Atelier. } = 7,234 \text{ m}^3$$

$$\text{Bâtiment d'administration : } = 12,540$$

$$\text{Bâtiment des lavabos : } 2,550 + 662 + 3,960 = 6,872$$

$$\text{Soit au total } = 26,646 \text{ m}^3$$

Ce volume justifierait l'emploi d'une ventilation mécanique, que nous décrivons au chapitre spécial de la ventilation.



Tous les systèmes de chauffage ne seraient pas intéressants pour un bâtiment de ce genre; néanmoins nous montrerons comment on pourrait les appliquer, et à quelle dépense ils entraîneraient.

Nous étudierons ces systèmes dans l'ordre suivant :

- 1° Chauffage par poêles;
- 2° Chauffage par poêles calorifères;
- 3° Chauffage par calorifères à air chaud;
- 4° Chauffage par la vapeur à basse pression;
- 5° Chauffage par la vapeur à haute et moyenne pression;
- 6° Chauffage par la vapeur d'échappement;
- 7° Chauffage par la vapeur à une pression égale ou inférieure à la pression atmosphérique;
- 8° Chauffage par l'eau chaude à basse pression;
- 9° Chauffage par l'eau chaude à haute pression;
- 10° Chauffage par l'eau chaude à circulation accélérée;
- 11° Chauffage mixte par l'eau et la vapeur;
- 12° Chauffage par pulsion d'air chaud;
  - a) L'air étant chauffé par un aéro-calorifère.
  - b) L'air étant chauffé par les chaleurs perdues d'un four industriel ou d'une cheminée de générateur, ou par un thermosiphon de moteur à gaz;
  - c) L'air étant chauffé par un aéro-condenseur.
- 13° Nous dirons quelques mots du réglage automatique de la température, du chauffage électrique, de l'humidification pour maintenir un état hygrométrique demandé, enfin de la ventilation mécanique, et du rafraîchissement de l'atmosphère pendant la saison d'été.

## CHAPITRE V

### CHAUFFAGE PAR POÊLES

Examinons comment on pourrait chauffer par des poêles l'usine dont le calcul de calories a été établi dans le précédent chapitre. L'industriel a posé ainsi le problème :

Je dispose facilement de coke, que l'on me vend à un prix modéré; mais mes ressources sont limitées pour l'installation du chauffage, je me contenterai donc, pour l'atelier, de poêles, à la condition qu'ils soient bien conditionnés, suffisamment hygiéniques, et ne nécessitent pas qu'on s'en occupe constamment. Je placerais également des poêles dans les magasins d'exposition, le hall du bâtiment d'administration, le réfectoire et les lavabos. Je préférerais des poêles calorifères pour les bureaux.

On allumera ces poêles, pendant les jours de grands froids, à 5 heures du matin. Les températures prescrites devront être obtenues à l'arrivée des ouvriers, à 7 heures du matin, et maintenues jusqu'à leur sortie, à 7 heures du soir.

Je désirerais également être renseigné sur la consommation probable de combustible pendant les grands froids.

Nous voyons de suite par cet exposé qu'il s'agit d'un chauffage discontinu; nous aurons donc à appliquer un coefficient de majoration pour la mise en régime du matin.

Nous emploierons la formule indiquée au chapitre III :

$$M' = M \times 0,065 \left( \frac{n-1}{2} \right)$$

$n$ , de 7 heures du soir à 5 heures du matin = 10.

$z$ , de 5 heures à 7 heures du matin = 2.

$$M' = M \times 0,065 \left( \frac{10-1}{2} \right) = M \times 0,2925.$$

Les poêles devront donc pouvoir fournir :

1° De 5 heures à 7 heures du matin,  $M(1 + 0,2025)$  calories;

2° De 7 heures du matin à 7 heures du soir,  $M$  calories.

Le tableau suivant résume les puissances à installer dans les appareils :

	De 7 heures du matin à 7 heures du soir M	De 5 heures du matin à 7 heures du matin M x 1,2025
Grand atelier . . . . .	449.900	581.496
Bâtiment d'administration :		
Salle d'Exposition (rez-de-chaussée).	34.915	45.128
Hall	52.850	68.309
Bureaux 1 <sup>er</sup> étage.	41.525	53.671
Bureaux 2 <sup>e</sup> étage.	80.090	103.516
Bâtiment des lavabos :		
Salle d'Exposition (rez-de-chaussée).	25.735	33.262
Réfectoire 1 <sup>er</sup> étage	13.825	17.869
Lavabos 1 <sup>er</sup> étage.	54.805	70.833
Totaux.	753.645	974.086

Considérons d'abord le chauffage du grand atelier.

Nous admettrons que les poêles doivent être installés dans le voisinage des colonnes supportant les fermes, et nous les répartirons de manière à chauffer autour d'eux une zone de 15 à 18 m., ce qui n'a rien d'anormal. Dans ces conditions 12 poêles suffiront pour le chauffage total, la puissance de chacun d'eux étant en

$$\text{marche maximum } \frac{581.496}{12} = 48.458 \text{ calories, et en marche normale } \frac{449.900}{12} = 37.492 \text{ calories.}$$

Le coke est un combustible dont la puissance calorifique totale est de 6.800 à 7.000 calories, mais en pratique le rendement ne dépasse pas 3.500 calories, parce que la combustion n'est jamais complète en acide carbonique, et parce que le gaz de la combustion conservent toujours une certaine température, nécessaire pour assurer le tirage, et dont nous nous servirons encore pour assurer la ventilation demandée.

La combustion du coke nécessite, en pratique, 20 m<sup>3</sup> d'air par kilogramme, et les produits de la combustion, ramenés à 0°, représentent un volume de 15 m<sup>3</sup>,5 environ.

La combustion ne doit pas dépasser 30 kg. par mètre carré de grille, sous peine de produire une grande quantité de mâchefer, qui représente autant de perte, et qui salit et écrase le foyer. Les grilles doivent être à barreaux très écartés, et présenter autant de vides que de pleins, de manière à permettre une abondante arrivée d'air dans la masse en ignition.

Lorsque la couche de coke a une épaisseur de 25 à 30 cm., la combustion se fait en acide carbonique; mais, lorsque l'épaisseur atteint 50 à 60 cm., et même davantage dans certains appareils, il y a réduction de l'acide carbonique en oxyde de carbone, et perte considérable de calories.

On sait, en effet, que 1 kg. de carbone brûlant en acide carbonique produit 8.080 calories, tandis qu'en oxyde de carbone il ne dégage que 2.408 calories, soit à peine 30%. Il y a donc une perte de 70% quand la combustion ne se produit qu'en oxyde de carbone.

Chacun de nos poêles, pour un rendement de 3.500 calories par kilogramme de coke devra donc brûler :

$$\frac{48.458}{3.500} = 13 \text{ kg. 85 de coke pendant chacune des deux premières heures, et } \frac{37.492}{3.500} = 10 \text{ kg. 70 pendant chacune des dix autres heures.}$$

La surface de grille sera donc au moins, pour une combustion de 30 kg. par mètre carré en marche maximum :  $\frac{43.85}{30} = 0^{\text{m}},461$



Le diamètre du diamètre de foyer de 0<sup>m</sup>,77 environ ; sur-  
**VIRTUAL MUSEUM**  
 Pendant le reste de la journée, la combustion par mètre carré  
 le grille sera réduite à  $\frac{10,70}{0,4656} = 23$  kg. environ, ce qui est une  
 xcellente allure de marche.

On admet généralement que la section du tuyau de fumée est  
 le 1/6 de celle de la grille.

Le tuyau de fumée aura donc une section de  $\frac{0,4656}{6} = 0^m,0776$ ,  
 soit un diamètre de 0<sup>m</sup>,31 à 0<sup>m</sup>,32.

Voyons maintenant quelle devra être la surface de chauffe du  
 poêle.

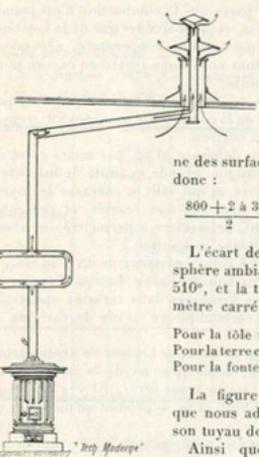
Nous devons appliquer, pour ce calcul, la loi de transmission  
 travers une paroi métallique, en tenant compte que, dans le  
 poêle et ses surfaces de chauffe, les gaz chauds sont en mouve-  
 ment, tandis que dans la pièce l'atmosphère reste sensiblement  
 au repos. Il y a bien, autour de l'appareil, un certain déplacement  
 l'air, l'air chauffé au contact des parois s'élevant parce que sa  
 ensité diminue, tandis que l'air plus froid descend et prend sa  
 lace, mais ce mouvement est peu important et on peut le  
 négliger.

Du reste, ce mouvement a pour résultat d'augmenter le coef-  
 ficient de transmission ; nous nous limiterons donc dans les con-  
 ditions de rendement les plus favorables en n'en tenant pas compte.

Les expériences de Péclot ont établi que, dans ces conditions,  
 es coefficients de transmission sont :

Pour la tôle	4,32
Pour la terre cuite	4,64
Pour la fonte	10,55

On peut admettre que la température est d'environ 800°, et, si



l'utilisation de la chaleur  
 est bonne dans le poêle,  
 les gaz de la combustion  
 ne conserveront comme  
 température que les 2 à  
 300° nécessaires pour  
 assurer le tirage de la  
 cheminée.

La température moyen-  
 ne des surfaces de chauffe du poêle sera  
 donc :

$$\frac{800 + 2 + 300}{2} = 500 \text{ à } 550^{\circ}, \text{ soit } 525^{\circ}.$$

L'écart de température avec l'atmo-  
 sphère ambiante à 15° sera 525 — 15 =  
 510°, et la transmission moyenne par  
 mètre carré sera :

Pour la tôle :	$4,32 \times 510$ .	2.203 cal.
Pour la terre cuite :	$4,64 \times 510$ .	2.366
Pour la fonte :	$10,55 \times 510$ .	5.380 —

La figure 2 indique la disposition  
 que nous adopterons pour le poêle et  
 son tuyau de fumée.

Ainsi que nous le verrons plus  
 loin, nous nous servirons de la cha-  
 leur des gaz de la cheminée pour  
 réchauffer une colonne ascensionnelle  
 d'air, de l'intérieur de l'atelier vers  
 l'atmosphère extérieure, c'est-à-dire  
 pour évacuer le volume d'air demandé pour la ventilation.

Dans ces conditions, nous avons intérêt à ne pas faire l'éva-  
 nuation juste au-dessus du poêle, et nous conduirons le tuyau de  
 fumée à une certaine distance, par exemple jusqu'au faitage de

la ferme que supporte la colonne à laquelle le poêle est adossé,  
 ce qui correspond à une longueur horizontale de 6 m. environ.

Pour augmenter la surface de chauffe du tuyau de fumée, et  
 empêcher le départ des gaz à une trop haute température, ce qui  
 constituerait une perte de chaleur, nous constituerons sur son  
 parcours vertical un *repos de chaleur*, c'est-à-dire, comme le  
 montre la figure 2, un rectangle formant un double tuyau de  
 fumée.

Le développement de ce repos de chaleur pourra être de 5 m.,  
 soit 2 branches horizontales de chacune 1<sup>m</sup>,50, et 2 branches ver-  
 ticales de 1 m.

Enfin, en supposant que le poêle a une hauteur de 1<sup>m</sup>,50, la  
 hauteur verticale du tuyau de fumée à l'intérieur de l'atelier sera  
 de 4<sup>m</sup>,50.

Le développement total du tuyau de fumée sera donc de :

$$6 + 5 + 4,50 = 15^m,50,$$

ce qui représente une surface de chauffe de :

$$0,31 \times 3,14 \times 16,5 = 15^m,50.$$

Nous avons vu précédemment que chaque mètre carré de sur-  
 face de chauffe en tôle pouvait transmettre par heure, dans les  
 conditions de notre chauffage, 2.203 calories. Le tuyau de fumée  
 transmettra donc :

$$2.203 \times 15,50 = 34.146 \text{ calories.}$$

Comme nous avons à fournir 48.458 calories, le poêle devra  
 transmettre par sa propre surface :

$$48.458 - 34.146 = 14.312 \text{ calories.}$$

Si ce poêle est en fonte, chaque mètre carré étant capable de  
 transmettre 5.380 calories, sa surface utile devra être :

$$\frac{14.312}{5.380} = 2^m,660,$$

ce qui correspond à un poêle de 0<sup>m</sup>,75 de diamètre et 1<sup>m</sup>,10 de  
 hauteur rayonnante utile.

Si le poêle était en terre cuite, la surface de chauffe, à raison  
 de 2.366 calories transmises par mètre carré, devrait être :

$$\frac{14.312}{2.366} = 6^m,05.$$

En marche normale, lorsque le registre placé sur le tuyau  
 de fumée et le réglage de la prise d'air du cendrier auront permis  
 de réduire la combustion à 23 kg. par mètre carré de grille, la  
 température du foyer et celle des gaz diminueront, la transmis-  
 sion par mètre carré de surface de chauffe sera moindre, et nous  
 arriverons très facilement au rendement demandé de 37.492 calori-  
 es au lieu de 48.458.

À la vérité, un atelier de cette surface chauffé seulement par  
 12 poêles serait assez inégalement chauffé. La chaleur serait  
 intense autour des poêles, et peut-être insuffisante à une certaine  
 distance, mais nous avons seulement voulu montrer comment on  
 pouvait calculer un poêle, et une méthode analogue permettrait  
 de faire le calcul pour un plus grand nombre d'appareils, mieux  
 répartis dans l'ensemble de l'atelier.

Examinons maintenant comment devraient être établis ces  
 poêles, pour réaliser la combustion et la transmission dans les  
 meilleures conditions possibles.

Evidemment l'industriel qui voudrait chauffer son atelier ne  
 fera pas construire lui-même le poêle type que nous allons essayer  
 de décrire.

Les poêles sont nombreux sur le marché français et il n'aurait  
 que l'embaras du choix. Mais, précisément en raison du grand  
 nombre de modèles offerts, il est utile que quelques explications  
 lui soient données, pour lui permettre d'écartier de prime abord  
 les modèles trop rudimentaires, qui lui brûleraient du charbon

Fig. 2. — Installation d'un poêle, de sa cheminée, et d'une cheminée de ventilation.



avec un mauvais rendement, ou les appareils trop perfectionnés qui seraient pour lui une source d'ennuis et de réparations fréquentes et coûteuses.

Tel type de poêle, qui conviendrait très bien pour un appartement, parce que le propriétaire lui-même ou un domestique soigneux et surveillé serait chargé de son service, serait un appareil détestable dans un atelier, et serait vite mis en pièces par l'ouvrier brutal auquel on confierait la mission de l'entretenir.

Pour un atelier, le poêle doit être très robuste. On choisira un appareil en fonte épaisse, et au besoin muni de nervures ou ailettes, qui augmentent le rendement, mais qui servent surtout à le renforcer, et à empêcher le métal de se rompre trop vite.

Les portes seront en fonte, à charnières très robustes; celle du foyer sera doublée d'une contre-plaque intérieure, atténuant le rayonnement du feu, et empêchant la porte de rougir, ce qui en rendrait la manœuvre difficile. Une ouverture de prise d'air réglable sera réservée dans cette porte, de manière à introduire au-dessus de la grille, dans la zone de combustion, une petite quantité d'air, destinée à achever la combustion de l'oxyde de carbone, qui serait, comme nous l'avons dit, une cause de mauvais rendement.

La porte du cendrier sera analogue, mais il est inutile de la munir d'une contre-plaque. Une ouverture de prise d'air, réglable par une coulisse, permettra de proportionner la quantité d'air admise sous la grille suivant l'intensité de combustion plus ou moins grande qui sera demandée à l'appareil.

On aura soin de surélever le cendrier sur un socle en briques, de manière à pouvoir retirer les cendres en les faisant tomber dans un petit chariot amené à proximité, pour en faciliter l'enlèvement.

Ce socle permettra aussi de réserver une cuvette étanche, dans laquelle on mettra de l'eau. La présence de l'eau est une très grande utilité; le rayonnement supérieur de la grille assure, en effet, une petite évaporation, qui refroidit les barreaux et les empêche de brûler, et aussi cet abaissement de température évite la formation de mâchefer adhérent sur la grille.

Le cendrier, qui ne s'use pas, devra former lui-même un socle séparé, indépendant de la partie supérieure du foyer, qui s'use davantage et a besoin d'être périodiquement remplacé.

Le poêle se compose donc de trois parties séparées, assemblées par boulons: le cendrier ou socle, le corps du poêle, et le couvercle.

La grille reposera sur des sommiers faisant partie de ce socle-cendrier, ou assemblés avec lui. Elle sera elle-même en plusieurs parties, ou composée de barreaux indépendants, de manière à ce qu'on ne soit pas obligé de la remplacer entièrement quand un ou plusieurs barreaux sont rongés par le feu.

Il est bon de prévoir une grille mobile, non pas composée de ces barreaux oscillants autour d'un axe, et assemblés sur une tringle commune, qu'un levier extérieur permet de manœuvrer, assemblages délicats, qui, placés en plein feu, n'ont qu'une durée éphémère; mais un groupe de barreaux sera terminé par un levier horizontal, muni d'une poignée en bois sortant à l'extérieur, et permettant des oscillations de droite à gauche, dans une rainure réservée sur l'enveloppe entre la porte du foyer et celle du cendrier. Ce groupe de barreaux doit pouvoir être retiré en coulissant dans cette rainure, de manière à faire tomber d'un seul coup les cendres dans le cendrier, quand on vide le foyer avant un allumage.

L'épaisseur de la couche de coke sur la grille ne dépassera pas 25 à 30 cm.; on devra donc rejeter avec le plus grand soin les poêles à grands foyers, dans lesquels on charge à la fois sur la grille la quantité de charbon nécessaire à la marche pendant plusieurs heures. Cette masse de charbon, traversée par les produits de la combustion, est en effet très rapidement en ignition, et dégage une chaleur intolérable, en même temps qu'elle réduit l'acide carbonique et le transforme en oxyde de carbone,

réalisant ainsi une combustion dangereuse et peu économique.

Le charbon sera chargé dans un magasin d'air, qui descendra au-dessus de la grille, à une hauteur juste suffisante pour que le cône qui se formera sur cette grille ait une hauteur de 25 à 30 cm. de hauteur. Evidemment, la combustion sera moins bonne au centre du cône, l'accès d'air étant plus difficile, mais l'entrée d'air au-dessus de la masse en ignition, par la porte du foyer, achèvera en acide carbonique la combustion de la petite quantité d'oxyde de carbone produite.

Comme les gaz chauds monteront dans l'espace annulaire entre le magasin et la paroi extérieure, le charbon chauffé dans ce magasin aura tendance à distiller. On évitera cet inconvénient en garnissant le magasin d'une paroi isolante en briques réfractaires, et on réservera quelques petits trous à la partie supérieure du magasin, pour évacuer à la cheminée le faible volume d'oxyde de carbone qui se serait produit néanmoins. La fermeture du magasin sera assurée, du reste, par une fermeture hermétique, à bain de sable de préférence.

Le réglage de la combustion se fera uniquement par les coulisses d'entrée d'air à la grille; on évitera avec le plus grand soin de placer un registre de réglage sur le conduit de fumée, car, si le tirage était mauvais, les produits de la combustion seraient refoulés dans l'atelier par les ouvertures des prises d'air. Une bonne disposition consiste à placer sur le tuyau de fumée et à sa base une petite entrée d'air, fermée par une plaque excessivement légère, montée sur un axe, et équilibrée par derrière, de manière à pivoter sur cet axe, et à laisser l'air pénétrer dans la cheminée quand le volume des gaz de la combustion est insuffisant pour remplir tout le tuyau. Cette disposition, imaginée par Choubersky, réalise automatiquement l'arrêt du tirage, sans danger de refoulement dans la pièce.

Enfin, il sera bon de placer au-dessus du poêle un bac rempli d'eau, nommé improprement *saturateur*, et destiné à donner un peu d'humidité à l'air qui circule autour du poêle, et qui deviendrait trop sec en raison de l'élévation de sa température.

On dit quelquefois que les poêles *dessèchent l'air*. Cette expression est vicieuse, car les poêles n'absorbent nullement l'humidité qu'il contient. Mais on sait que, plus la température de l'air augmente, et plus son point de saturation s'élève, c'est-à-dire que la quantité de vapeur d'eau nécessaire pour le saturer augmente. Un certain volume de vapeur est nécessaire pour que l'air respiré ne dessèche pas les poumons, et c'est ce volume de vapeur que notre saturateur aura pour but de fournir.

La figure 3 montre comment les desiderata exprimés ci-dessus pourraient être appliqués.

Un grand nombre de modèles de poêles y répondent plus ou moins, du reste, et beaucoup possèdent des qualités qui les font apprécier.

Nous sommes bien loin maintenant de l'antique poêle de corps de garde, cet ancêtre qu'on ne retrouve plus aujourd'hui que dans nos casernes, au grand détriment de la santé de nos soldats.

Le chauffage de notre atelier étant ainsi assuré, comment pourrions-nous traiter la ventilation?

On nous demande d'évacuer par heure 7.234 m<sup>3</sup> d'air vicié, et de les remplacer par un égal volume d'air neuf, pris en un point où il soit aussi pur que possible.

1<sup>o</sup> Evacuation. — Nous nous servirons de la chaleur emportée

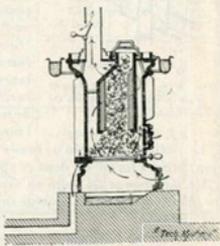


FIG. 3. — Type schématique d'un poêle à magasin de combustible.



par le tuyau de fumée pour échauffer une colonne d'air, que nous évacuons par ce tuyau de fumée, dans une double enveloppe d'appel.

Nous constituerons pour chacun des poêles une cheminée d'appel évacuant  $\frac{734}{12} = 600 \text{ m}^3$

Supposons que la température des gaz dans la cheminée à la sortie soit encore de  $200^\circ$ ; la température de l'air évacué est de  $15^\circ$ .

D'après Péclot,  $1 \text{ m}^3$  de surface de chauffe en tôle transmettant 4,32 calories par degré d'écart, le tuyau de fumée sera capable de transmettre aux  $600 \text{ m}^3$  d'air évacués  $4,32 (200 - 15) = 799,2$  calories, soit 800 calories en chiffres ronds.

La température des  $600 \text{ m}^3$  d'air pourra donc augmenter de :

$$\frac{800}{600 \times 0,307} = 4,34.$$

En faisant les calculs, nous trouverions que pour donner à l'air une vitesse d'écoulement de  $0^{\text{m}},50$  par seconde, il nous suffirait de  $2 \text{ m}^2$  de surface de chauffe; nous donnerons donc à notre cheminée d'appel une hauteur de 2 m.

Le volume débité par seconde étant de :

$$\frac{600}{3,600} = 0^{\text{m}},1666.$$

la section de la cheminée d'appel sera de :

$$\frac{0,1666}{0,5} = 0^{\text{m}},3333.$$

ce qui donne un diamètre de  $0^{\text{m}},73$ , ou en chiffres ronds  $0^{\text{m}},75$ , en tenant compte de la cheminée de fumée qu'elle entoure.

La figure 4 montre comment nous construirons cette cheminée.

Les deux tuyaux seront concentriques, le tuyau de fumée passant au milieu, et montant jusqu'à 1 m. environ au-dessus du faîtage.

Le tuyau d'évacuation d'air sera placé autour: il s'arrêtera à hauteur du faîtage. Pour empêcher la pluie de pénétrer à l'intérieur, nous placerons au-dessus un chapeau en forme de tronc de cône, fixé après le tuyau de fumée, mais, pour empêcher la résistance qu'opposerait ce cône, nous placerons au-dessous un cône renversé, de manière à diriger l'évacuation de l'air vers l'extérieur.

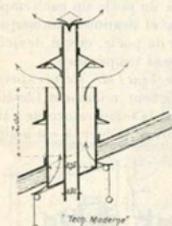


FIG. 4. — Tuyau de fumée d'un poêle et cheminée de ventilation.

Le chapeau du tuyau de fumée aura, du reste, la même disposition, et sera formé de deux cônes assemblés à la base.

Un garnissage ou solin en zinc sera fait sur la toiture autour du tuyau extérieur, et protégé de la pluie par une collerette rivée sur ce tuyau.

Enfin, si on désire pouvoir régler l'importance de l'évacuation d'air, il sera facile de placer à l'intérieur de l'atelier, sur la couronne du tuyau de sortie, un registre à coulisse ou à créneaux, manœuvrable au moyen de deux chaînettes passant sur deux petites poulies, et qui permettra de proportionner à volonté l'importance de la ventilation.

2° *Entrée d'air frais.* — On se contente le plus souvent de laisser l'air frais entrer librement dans l'atelier par les ouvertures des fenêtres et des portes.

Cette pratique est défectueuse, surtout quand une ventilation aussi importante est demandée, parce que ces entrées produisent des courants d'air froid gênants pour les ouvriers placés dans le voisinage.

Il vaut mieux prendre l'air en des points convenables, à l'abri des poussières et des vents régnants, et l'amener par un canal

souterrain jusque sous le socle du poêle, de manière à le faire entrer juste à son contact, comme le montre la figure 3. Cette disposition est beaucoup meilleure. Le mouvement ascensionnel qui s'établit au contact des parois chaudes du poêle entraîne l'air frais, et l'échauffe dès son introduction dans le local; il ne produit ainsi aucune impression désagréable.

La prise extérieure, protégée par une grille, sera verticale, de préférence, pour éviter l'entrée de la pluie et des poussières ou balayures; si le mur est assez épais, on réservera un carneau vertical dans ce mur, depuis la grille jusqu'au conduit dans le sol. Si le mur est trop mince on fera un coffre saillant à l'intérieur ou à l'extérieur de l'atelier (fig. 5).

Le carneau aura une section correspondante à la vitesse de circulation de  $0^{\text{m}},50$  par seconde, c'est-à-dire  $0^{\text{m}},3333$  comme pour le conduit d'évacuation, ou  $0^{\text{m}},58 \times 0^{\text{m}},58$ . On aura soin de placer un registre à coulisse à l'entrée.

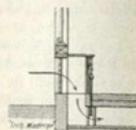


FIG. 5. — Prise d'air.

Telles sont les dispositions à prendre pour une bonne installation de poêles, qui donnera certainement un résultat satisfaisant.

La dépense d'une telle installation peut être évaluée comme suit :

1 poêle en fonte, pesant environ 500 kg.	300 fr.
Tuyau de fumée, $15^{\text{m}},50$	155 »
Double tuyau extérieur avec ses chapeaux galvanisés.	100 »
Socle en maçonnerie du poêle	25 »
Conduit de prise d'air, moyenne 15 mètres	225 »
Grille extérieure de prise d'air, registre de prise d'air, registre de réglage de l'évacuation, ensemble	50 »
Total	855 fr.

Et, pour 12 poêles semblables :  $855 \times 12 = 10.260$  francs; soit  $\frac{10.260}{72.340} = 0$  fr. 142 par mètre cube chauffé.

La dépense de coke sera au maximum par poêle :

Pendant les 2 premières heures :  $13^{\text{h}},85 \times 2 = 27^{\text{h}},70$

Pendant les 10 heures de travail :  $10^{\text{h}},79 \times 10 = 107^{\text{h}},00$

Ensemble,  $\frac{134^{\text{h}},70}{10} = 13^{\text{h}},47$

En admettant que le coke vaille 1 fr. 60 l'hectolitre de 55 kg. la dépense journalière sera :

$$12 \times \frac{1,6 \times 134,7}{55} = 47 \text{ fr.}$$

pendant les jours les plus froids de l'hiver.

La dépense moyenne, sous le climat de Paris, variera entre la moitié et les deux tiers de ce maximum, entre 23 fr. 50 et 31 fr. 30, soit environ 27 fr. 40,

$$\text{ou : } \frac{27,40}{72,340} = 0 \text{ fr. } 0,003787 \text{ par mètre cube chauffé.}$$

Nous verrons par comparaison que le poêle est un des moyens les plus économiques pour le chauffage des ateliers.

Nous emploierons une méthode analogue pour le chauffage des autres locaux, sauf pour celui des bureaux, demandé par poêles calorifères, et qui fera l'objet d'une étude spéciale.

Nous résumerons les calculs dans le tableau page suivante.

En comparant les chiffres de ce tableau avec ceux du chauffage de l'atelier, nous voyons qu'ils sont proportionnellement plus élevés. La moyenne générale s'établirait comme suit :

Dépense totale d'installation :

$$10.260 + 1.995 + 2.160 + 1.210 + 710 + 1.965 = 18.300 \text{ fr.}$$

$$\text{pour } 72.340 + 4.140 + 3.000 + 2.250 + 662 + 1.980 = 84.372 \text{ m}^3.$$

$$\text{Soit, par mètre cube moyen } \frac{18.300}{84.372} = 0 \text{ fr. } 2169.$$

Dépense de coke en moyenne par mètre cube chauffé :

$$\frac{27,40 + 2,65 + 2,45 + 2,40 + 1,25 + 3,50}{84,372} = 0 \text{ fr. } 0,000.468.$$



TABLEAU DE CALCULS DES POÊLES (BATIMENT D'ADMINISTRATION ET BATIMENT DES LAVABOS)

	BATIMENT D'ADMINISTRATION		BATIMENT DES LAVABOS			
	Salle d'Exposition (rez-de-ch.)	Hall	Salle d'Exposition (rez-de-ch.)	Réfectoire	Lavabos	
Calories à fournir	En marche continue de 7 heures du matin à 7 heures du soir	34.915	52.850	25.735	13.825	54.865
	A la mise en régime de 5 heures à 7 heures du matin.	45.128	68.309	33.262	17.869	70.835
Nombre de poêles par local		3	4	2	2	3
	Calories à fournir par chaque poêle.	11.638	13.213	12.863	6.912	18.268
Coke à brûler par heure.	A la mise en régime	15.013	17.077	16.631	8.934	23.612
	En marche continue	38.25	38,78	38,68	18,97	58,23
Grille.	A la mise en régime	4 <sup>h</sup> ,32	4 <sup>h</sup> ,86	4 <sup>h</sup> ,77	2 <sup>h</sup> ,55	6 <sup>h</sup> ,75
	Surface théorique correspondante à la mise en régime.	0 <sup>m</sup> 114	0 <sup>m</sup> 162	0 <sup>m</sup> 159	0 <sup>m</sup> 1085	0 <sup>m</sup> 225
Fumée.	Diamètre le plus rapproché.	0 <sup>m</sup> 14	0 <sup>m</sup> 15	0 <sup>m</sup> 15	0 <sup>m</sup> 11	0 <sup>m</sup> 17
	Surface exacte correspondante à ce diamètre.	0 <sup>m</sup> 153	0 <sup>m</sup> 176	0 <sup>m</sup> 176	0 <sup>m</sup> 195	0 <sup>m</sup> 227
Reste calories à transmettre	Combustion par mètre carré et par heure en marche continue.	22 <sup>h</sup>	21 <sup>h</sup> ,5	21 <sup>h</sup>	20 <sup>h</sup> ,7	23 <sup>h</sup>
	Section théorique	0 <sup>m</sup> 0383	0 <sup>m</sup> 044	0,044	0 <sup>m</sup> 0238	0 <sup>m</sup> 0568
Surface à donner au poêle	Diamètre pratique correspondant	0 <sup>m</sup> 22	0 <sup>m</sup> 24	0 <sup>m</sup> 25	0 <sup>m</sup> 175	0 <sup>m</sup> 27
	Longueur dans le local.	3 <sup>m</sup>	5 <sup>m</sup>	3 <sup>m</sup>	5 <sup>m</sup>	5 <sup>m</sup> ,5
Évacuations d'air vicié.	Surface correspondante	2 <sup>m</sup> 20	3 <sup>m</sup> 50	2 <sup>m</sup> 35	2 <sup>m</sup> 70	2 <sup>m</sup> 70
	Calories transmises	5.846	7.710	5.176	5.948	5.948
Entrées d'air frais.	En marche continue	11.197	9.367	11.455	2.986	17.664
	S'il est en fonte et tôle	2 <sup>m</sup> 10	1 <sup>m</sup> 75	2 <sup>m</sup> 15	0 <sup>m</sup> 77	3 <sup>m</sup> 30
Dépense approximative d'installation.	S'il est en terre réfractaire	4 <sup>m</sup> 70	3 <sup>m</sup> 95	4 <sup>m</sup> 85	1 <sup>m</sup> 27	7 <sup>m</sup> 55
	Totales	4.140 <sup>m</sup>	3.000 <sup>m</sup>	2.250 <sup>m</sup>	662 <sup>m</sup>	3.960 <sup>m</sup>
Dépense approximative de coke.	Par heure	1 <sup>m</sup> 15	0 <sup>m</sup> 833	0 <sup>m</sup> 625	1 <sup>m</sup> 839	1 <sup>m</sup> 10
	Par seconde	0 <sup>m</sup> 38	0 <sup>m</sup> 208	0 <sup>m</sup> 312	0 <sup>m</sup> 092	0 <sup>m</sup> 366
Dépense approximative de coke.	Section correspondante.	0 <sup>m</sup> 76	0 <sup>m</sup> 416	0 <sup>m</sup> 624	0 <sup>m</sup> 184	0 <sup>m</sup> 732
		0,76	0,416	0,624	0,184	0,366
Dépense approximative d'installation.	Poêle.	240 fr.	240 fr.	240 fr.	150 fr.	275 fr.
	Tuyau de fumée	25	40	25	30	55
Dépense approximative d'installation.	Ventilation	150	80	125	60	75
	Solet du poêle.	20	20	20	15	20
Dépense approximative d'installation.	Conduit de prise d'air	150	160	125	60	150
	Grilles, registres	80	60	70	50	80
Dépense approximative d'installation.	Totale par poêle.	665 fr.	540 fr.	605 fr.	355 fr.	655 fr.
	Totale par local.	1.995 fr.	2.160 fr.	1.210 fr.	710 fr.	1.965 fr.
Dépense approximative d'installation.	Moyenne par mètre cube chauffé.	0 fr. 48	0 fr. 72	0 fr. 54	1 fr. 07	0 fr. 99
Dépense approximative de coke.	Pendant les 2 premières heures	8 <sup>h</sup> ,64	9 <sup>h</sup> ,72	9 <sup>h</sup> ,54	5 <sup>h</sup> ,10	13 <sup>h</sup> ,5
	Pendant les 10 autres heures.	33 <sup>h</sup> ,5	37 <sup>h</sup> ,8	36 <sup>h</sup> ,80	19 <sup>h</sup> ,07	52 <sup>h</sup> ,3
Dépense approximative de coke.	Maximum					
	Totale par jour et par poêle	42 <sup>h</sup> ,14	47 <sup>h</sup> ,52	46 <sup>h</sup> ,34	24 <sup>h</sup> ,8	65 <sup>h</sup> ,8
Dépense approximative de coke.	Totale par jour et par local.	126 <sup>h</sup> ,4	142 <sup>h</sup> ,5	139 <sup>h</sup>	74 <sup>h</sup> ,4	197 <sup>h</sup> ,5
	Prix maximum par jour.	3 fr. 70	4 fr. 20	3 fr. 95	2 fr. 15	5 fr. 80
Dépense approximative de coke.	Moyenne journalière.	2 fr. 65	2 fr. 45	2 fr. 60	1 fr. 25	3 fr. 40
	Moyenne par mètre cube chauffé	0,0064	0,0082	0,00107	0,00188	0,00170

En réalité, les installations de poêles sont encore moins coûteuses, mais nous avons voulu montrer ce qu'elles coûteraient si elles étaient bien installées, en se rapprochant autant que possible de la théorie.

### Chauffage par poêles calorifères.

Nous allons examiner maintenant le chauffage des bureaux par poêles calorifères, aux deux étages du bâtiment d'administration.

Nous rappellerons les constantes de ce chauffage :

	1 <sup>er</sup> ÉTAGE	2 <sup>e</sup> ÉTAGE
Cube chauffé	2.700 m <sup>3</sup>	2.700 m <sup>3</sup>

	1 <sup>er</sup> ÉTAGE	2 <sup>e</sup> ÉTAGE
<b>Pertes par les parois :</b>		
A la mise en régime	29.032 cal.	78.877 cal.
En marche continue	22.462 —	61.027 —
Pertes par la ventilation	19.063 —	19.063 —
<b>Totale des calories à fournir par heure :</b>		
A la mise en régime	58.095 cal.	97.940 cal.
En marche continue	51.525 —	80.090 —

On remarquera que les pertes de calories par la ventilation n'ont pas de raison d'augmenter pendant la mise en régime, puisque c'est toujours le même volume d'air qui est supposé évacué.

Nous aurons simplement à donner à l'air chaud qui entrera



une température plus élevée; nous baserons donc notre calcul sur un exemple de 100°, par exemple, pendant la mise en marche continue, parce qu'elle serait un peu excessive.

D'autre part, on nous a indiqué que les locaux pourraient recevoir un cloisonnement, et qu'il fallait prévoir un appareil dans chaque travée; or, il y a 23 fenêtres, soit 24 travées. Nous supposons un poêle à cheval sur chaque cloison, ce qui fera 12 poêles calorifères par étage, chauffant chacun deux bureaux, placés de part et d'autre de la cloison. Chaque poêle aura donc à produire :

	PENDANT LA PÉRIODE DE MISE EN RÉGIME	EN MARCHÉ CONTINUE	POUR LA VENTILATION
	calories	calories	calories
1 <sup>er</sup> étage.	$\frac{29.032}{12} = 2.420$	$\frac{22.462}{12} = 1.872$	$\frac{19.063}{12} = 1.588$
2 <sup>e</sup> étage.	$\frac{78.877}{12} = 6.573$	$\frac{61.027}{12} = 5.085$	$\frac{19.063}{12} = 1.588$

On appelle *poêle calorifère* un appareil dans lequel la chaleur des parois du foyer ou des surfaces de chauffe n'est pas transmise directement par radiation aux locaux à chauffer, mais est utilisée à chauffer de l'air, amené par des conduites de prise d'air jusqu'au contact de ses parois, circulant entre elles et une enveloppe isolante placée tout autour à faible distance, et sortant dans les locaux à chauffer par des grilles, ou bouches d'émission, placées à la partie supérieure de cette enveloppe.

On comprend que cet air, pris à l'extérieur à la température de -5° prescrite par le client, s'échauffe pendant les heures de mise en route à 100° par exemple, se répandra dans les bureaux en abandonnant une partie de ses calories, et sortira par les bouches d'évacuation à la température des bureaux, soit 18°.

Or, la ventilation demandée étant de 2.700 m<sup>3</sup> par heure, soit  $\frac{2.700}{12} = 225$  m<sup>3</sup> par poêle calorifère, ce sont ces 225 m<sup>3</sup> qui devront abandonner les calories du tableau précédent, ce qui nous donnera :

	POUR CHAQUE POÊLE CALORIFÈRE pendant la mise en régime			POUR CHAQUE POÊLE CALORIFÈRE pendant la marche continue		
	Calories totales abandonnées par les 225 m <sup>3</sup> N	Calories abandonnées par m <sup>3</sup> N	Chute de température n	Calories totales abandonnées par les 225 m <sup>3</sup> N	Calories abandonnées par m <sup>3</sup> N	Chute de température n
1 <sup>er</sup> étage.	2.420	10,76	35°	1.872	8,32	27°
2 <sup>e</sup> étage.	6.573	29,21	95°	5.085	22,6	73°6

L'air étant évacué à 18°, température des salles, devra donc avoir à la sortie des poêles calorifères 18° de plus que ne l'indiquent les chiffres ci-dessus, soit :

	PENDANT LA MISE EN RÉGIME	PENDANT LA MARCHÉ CONTINUE
1 <sup>er</sup> étage	35 + 18 = 53°	27° + 18 = 45°
2 <sup>e</sup> étage	95 + 18 = 113°	73°6 + 18 = 91°6

D'autre part, cet air étant pris à l'extérieur à -5°, chaque poêle calorifère devra fournir par heure :

	PENDANT LA MISE EN RÉGIME	PENDANT LA MARCHÉ CONTINUE
1 <sup>er</sup> étage.	$(53 + 7) \times 0,307 \times 225 = 4.145$ calories.	$(45 + 7) \times 0,307 \times 225 = 3.592$ calories.
2 <sup>e</sup> étage.	$(113 + 7) \times 0,307 \times 225 = 8.289$ calories.	$(91,6 + 7) \times 0,307 \times 225 = 6.811$ calories.

En comparant ces chiffres avec ceux que notre calcul de pertes de calories nous avait donnés, nous pouvons établir le rendement des poêles calorifères, c'est-à-dire le rapport des calories à produire aux calories utiles :

	1 <sup>er</sup> ÉTAGE	2 <sup>e</sup> ÉTAGE
<i>Pendant la mise en régime :</i>		
Pertes de calories d'après les calculs.	4.008	8.161
Calories à produire par les poêles calorifères.	4.145	8.259
Rendement des poêles calorifères.	96 %	98 %
<i>Pendant la marche continue :</i>		
Pertes de calories d'après les calculs.	3.460	6.673
Calories à produire par les poêles calorifères.	3.592	6.811
Rendement des poêles calorifères.	96 %	97 %

En réalité, ces rendements sont ceux des poêles calorifères par rapport aux poêles à rayonnement direct; ils sont élevés parce que nous avons admis des températures élevées. En pratique, ces températures seraient mauvaises; il ne faudrait pas dépasser 60°.

Mais ceci n'est pas le rendement exact du combustible, et celui-ci sera beaucoup moindre, puisqu'une certaine quantité de calories restera dans la fumée pour assurer le tirage.

Quelle devra être maintenant la surface de chauffe de nos poêles?

M. Ser, dans son *Traité de Physique industrielle*, établit que le rapport de la surface de chauffe d'un poêle à la quantité de charbon à brûler est de 1, pour rester dans des limites industrielles intéressantes. Le chauffage dans un tel appareil ne peut pas être méthodique, puisque l'air à chauffer s'éleve de bas en haut, de même que le gaz de la combustion, et que l'air le plus froid arrive de suite au contact des surfaces de chauffe les plus chaudes.

Dans ces conditions, il admet que 1 m<sup>2</sup> de surface de chauffe transmet 2.953,5 calories par heure.

La surface totale des poêles calorifères serait :

Au 1 <sup>er</sup> étage.	$\frac{4.145}{2.953,5} = 1^m,40.$
Au 2 <sup>e</sup> étage	$\frac{8.259}{2.953,5} = 2^m,80.$

Ce seront aussi les quantités de charbon brûlées pendant les deux premières heures, et le rendement effectif du kilogramme de charbon sera seulement de 2.953,5 calories, pendant que le rendement utile descendra vers 2.835 à 2.806, d'après la proportion 96 à 98 % précédemment trouvée.

Ces chiffres sont faibles, et montrent que les poêles calorifères ne sont pas très économiques.

Les rendements seraient meilleurs si les appareils étaient plus méthodiques, c'est-à-dire si les gaz de la combustion circulaient en sens inverse de l'air à chauffer.

Nous pourrions réaliser en partie ce desiderata en supposant que nos cheminées ne peuvent monter verticalement au dessus des poêles, et que les gaz de la combustion doivent être ramenés par des carnaux construits dans le sol, pour gagner les cheminées placées le long des murs : c'est ce qu'on appelle les *Poêles à fumée plongeante*.

M. Ser admet, dans ces conditions, que la transmission est de 3.853,6 calories par mètre carré.

Admettons que la surface du foyer, dont la transmission est de 2.953,5 calories, est égale à la moitié de celle de la surface de chauffe descendante, dont la transmission est de 3.853,6 calories. La transmission moyenne du poêle calorifère sera :

$$\frac{2.953,5}{3} + \frac{3.853,6 \times 2}{3} = 3.553,6 \text{ calories.}$$



La surface des poêles sera réduite à :

1 <sup>er</sup> étage . . .	$\frac{4,145}{3,553,6} = 1^{\text{m}},16$ .
2 <sup>e</sup> étage . . .	$\frac{8,219}{3,553,6} = 2^{\text{m}},32$ .

Ce seront aussi les chiffres de combustion pendant les deux premières heures.

En marche continue, ces chiffres pourront être réduits à :

1 <sup>er</sup> étage . . .	$\frac{3,592}{3,553,6} = 1^{\text{e}},01$ par heure.
2 <sup>e</sup> étage . . .	$\frac{6,811}{3,553,6} = 1^{\text{e}},91$ par heure.

Ces résultats montrent que les poêles calorifères à flamme ou fumée renversée ont un rendement beaucoup meilleur que ceux qui ont le départ de fumée au-dessus; ce sont ceux que nous choisirons.

La surface de grille sera  $\frac{1,16}{30} = 0^{\text{m}},0386$  pour les poêles du premier étage, et  $\frac{2,32}{30} = 0^{\text{m}},0773$  pour ceux du deuxième étage, en comptant sur une combustion de 30 kg. par mètre carré et par heure, en marche maximum.

Cette combustion sera réduite, en marche normale, respectivement à  $\frac{1,01}{0,0386} = 26$  kg. 16, et  $\frac{1,91}{0,0773} = 24$  kg. 7, par mètre carré de grille et par heure.

Les diamètres de grille seront donc  $0^{\text{m}},225$  et  $0^{\text{m}},315$ , ce qui correspond à des foyers de  $0^{\text{m}},25$  et  $0^{\text{m}},35$ .

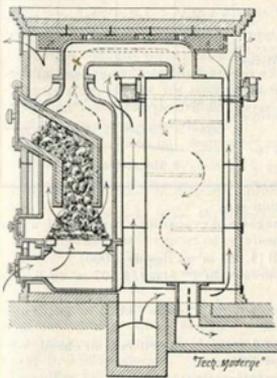


Fig. 6. — Type schématique d'un poêle calorifère à magasin de combustible.

Les produits de la combustion, au moyen d'une tubulure horizontale et de deux coudes, gagneront un coffre en tôle, disposé verticalement, et redescendront à l'intérieur de ce coffre, pour aller à la cheminée basse. Des cloisonnements intérieurs, en forme de chicanes, augmenteront la longueur du parcours de ces gaz, de manière à prolonger la durée de contact avec l'air.

La prise d'air frais arrivera à la partie basse, et, s'il est nécessaire, des cloisonnements intérieurs guideront cet air dans sa marche ascensionnelle, pour qu'il circule aussi près et aussi longtemps que possible au contact des surfaces chaudes.

Un saturateur sera prévu, intérieurement, avec un petit bac d'alimentation placé à l'extérieur.

L'enveloppe pourra être en briques, en panneaux de faïence ou en tôle. Dans tous les cas, des grilles d'émission d'air chaud

seront disposées à la partie supérieure, et de préférence à faces, pour que la chaleur ne monte pas directement. Les proportions de ces appareils seront calculées d'une manière analogue à celles des poêles à rayonnement direct.

Nous avons vu que la surface de chauffe de chaque appareil serait respectivement  $1^{\text{m}},16$  au premier étage, et  $2^{\text{m}},32$  au deuxième étage, dont  $1/3$  pour le foyer proprement dit, et  $2/3$  pour la surface de chauffe; cette condition est facile à réaliser.

La section du tuyau de fumée sera un peu plus grande que pour un poêle à rayonnement direct. Comme ce tuyau de fumée sera en maçonnerie, il faudra lui donner au minimum  $20 \times 20$ , section prescrite par les règlements; dans tous les cas, il eût été prudent de prévoir au moins  $1/4$  de la section de la grille. On réservera au départ, près du poêle calorifère, une trappe de ramonage, soigneusement calfeutrée, pour éviter les rentrées d'air qui couperaient le tirage. Une porte pourra être utile sur cette trappe, de manière à pouvoir, au moment de l'allumage, brûler un peu de papier au pied de la cheminée, pour empêcher de fumer.

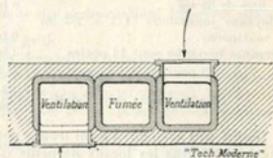


Fig. 7. — Cheminées de fumée et de ventilation. (Bureaux de l'usine type.)

Le conduit de ventilation sera parallèle au tuyau de fumée, et, comme le poêle sert pour chauffer deux pièces, le mieux sera de placer le tuyau de fumée entre les deux (fig. 7).

Ces tuyaux de ventilation auront, à leur origine dans la pièce, une petite bouche d'aspiration, placée sous plafond, et réglable au moyen de chaînettes.

À la partie supérieure, sur le toit, on terminera par un dispositif en tôle analogue à celui de la figure 4, la fumée passant au milieu, et les tuyaux de ventilation étant raccordés à l'enveloppe extérieure.

La prise d'air sera réservée dans l'épaisseur du plancher, entre les solives. Sa section sera calculée pour une vitesse de passage de  $0^{\text{m}},25$  environ par seconde, en raison des petites dimensions.

Pour un débit de  $225^{\text{m}}^3$  par heure, ou  $\frac{225}{3,600} = 0^{\text{m}},06$  par seconde cette section sera donc  $\frac{0,06}{0,25} = 0^{\text{m}},24$ .

Le tableau ci-dessous résume les dépenses à prévoir :

Poêle :	1 <sup>er</sup> ÉTAGE		2 <sup>e</sup> ÉTAGE	
	60 kil.	30 fr.	100 kil.	50 fr.
Partie en fonte . . .	60	30	100	50
Partie en tôle . . .	60	75	100	125
Enveloppe faïence . . .	100	100	100	100
Dessus marbre . . .	20	20	20	20
Bouches cuivre . . .	10	15	15	15
Tuyau de fumée :				
Trappe au pied . . .	5	5	5	5
Maçonnerie non comprise . . .		Mémoire.		Mémoire.
Chapeau sur le toit . . .	50 kil.	60 fr.	50 kil.	60 fr.
Bouches de ventilation . . .	2	25	2	25
Conduit de prise d'air . . .	5 m.	25	5 m.	25
Grille extérieure, registre, etc. . .	5	5	5	5
Total pour un poêle . . .		355 fr.		430 fr.
Et pour 12 poêles . . .		4,260 fr.		5,160 fr.

Total général pour les bureaux : 10,520 fr.

Soit par mètre cube chauffé :  $\frac{10,520}{5,400} = 1$  fr. 93.



L'ultimheat combustible sera :

**VIRTUAL MUSEUM**

Par poêle, pendant les deux premières heures . . .

Par poêle, pendant les dix autres heures . . .

Total par jour et par poêle . . .

Dépense maximum par jour et par poêle, à raison de 1 fr. 60 l'hecto-

litre de 55 kg. . . . .

Moyenne journalière (1/2 à 2/3 du maximum) . . . . .

Dépense moyenne pour 12 poêles . . . . .

Et pour les deux étages : 2,52 + 4,80 = 7 fr. 32.

Soit par mètre cube chauffé :  $\frac{7,32}{5,400} = 0$  fr. 001355.

1<sup>er</sup> ÉTAGE . . . . .

2<sup>e</sup> ÉTAGE . . . . .

$1,16 \times 2 = 23,32$      $2,32 \times 2 = 46,64$

$1,01 \times 10 = 10^e,10$      $1,91 \times 10 = 19^e,10$

129,42    238,74

0 fr. 36    0 fr. 69

0 fr. 21    0 fr. 40

2 fr. 52    4 fr. 80

Chiffre très analogue à celui trouvé pour les poêles à rayonnement direct dans les locaux de petits volumes, mais cependant presque trois fois plus élevé que la moyenne 0,000,468, trouvée pour le chauffage d'ensemble par poêles.

La dépense totale serait, en totalisant les chiffres des poêles et poêles calorifères :

27,720 fr. pour l'installation, soit . . . 0 fr. 289 par mètre cube.

ou 0 fr. 0367 par calorie-heure utile.

56 fr. 87 pour le charbon par jour, soit . . . 0 fr. 0005221

ou 0 fr. 0000622 par calorie utile et par jour.

CHAPITRE VI

CHAUFFAGE PAR CALORIFÈRES A AIR CHAUD

Un calorifère à air chaud n'est autre chose qu'un poêle calorifère de dimensions plus importantes, c'est-à-dire qu'il se calcule d'une manière absolument identique.

S'il est possible de creuser sous le sol des locaux à chauffer des excavations permettant d'installer des chaufferies, le chauffage peut être réalisé d'une manière beaucoup plus pratique que par les poêles et les poêles calorifères précédemment décrits.

Les seules conditions à remplir pour que l'installation soit possible sont :

1<sup>o</sup> Le calorifère doit être disposé de telle manière que les conduits de distribution d'air chaud n'aient pas une longueur supérieure à 12 à 15 m.

2<sup>o</sup> La profondeur de l'excavation doit être suffisante pour permettre une pente de 3 à 5 cm. par mètre aux conduits d'air chaud. Si la longueur des conduits dépasse 15 m., il faut augmenter la pente. On pourrait à la rigueur aller jusqu'à 25 m. avec des conduits ayant une pente de 10 cm. par mètre.

3<sup>o</sup> Les conduits d'air chaud devront être suffisamment isolés dans le sol pour que les pertes de chaleur dans le parcours soient réduites au minimum.

4<sup>o</sup> Enfin les ouvertures de prise d'air à l'extérieur doivent être à un niveau inférieur, ou, au pis aller, au même niveau que les bouches de chaleur.

Pour donner un peu plus d'intérêt à notre étude, nous supposons que le chauffage sera réalisé de deux manières différentes.

1<sup>o</sup> Pour le bâtiment des lavabos et pour le bâtiment d'administration l'air sera puisé exclusivement à l'extérieur, de manière à être aussi pur que possible, avant d'être chauffé dans le calorifère et envoyé dans les locaux à chauffer.

2<sup>o</sup> Pour le grand atelier, nous admettons que l'air est suffisamment pur pour pouvoir être repris par des prises d'air intérieures et être ramené au calorifère, pour être échauffé de nouveau, à l'exception d'une quantité correspondant à la ventilation

demandée, que nous irons chercher à l'extérieur par des prises d'air complémentaires. Bien entendu cette condition n'est réalisable que si l'industrie est saine, et s'il n'existe dans l'atelier aucune cause de viciation spéciale, poussières, fumées, buées, gaz nuisibles.

Dans tous les cas, nous adjoindrons à notre calorifère un système arrêtant les poussières dans la mesure du possible, et un humidificateur pour que l'air ne soit pas trop sec.

Chauffage du bâtiment d'administration.

La longueur totale est de 36 m.; le hall central a une longueur de 20 m.; nous pourrions réaliser la condition de n'avoir pas de conduits plus longs que 15 m. en partie horizontale, en plaçant le calorifère au milieu du bâtiment.

Nous supposons qu'en régime de chauffage normal l'air ne doit pas arriver aux bouches à une température supérieure à +70°.

Le magasin d'exposition étant chauffé à +15°, le hall et les bureaux à +18°, chaque mètre cube d'air à +70° abandonnera respectivement :

70 - 15 = 55°, soit  $55 \times 0,307 = 16,885$  calories.

70 - 18 = 52°, soit  $52 \times 0,307 = 15,964$  calories.

Notre calcul se résumera par le tableau ci-après :

	SALLE d'exposition	HALL	BUREAUX 1 <sup>er</sup> étage	BUREAUX 2 <sup>e</sup> étage
Volume chauffé . . . . .	5.140 <sup>m3</sup>	3.000 <sup>m3</sup>	2.700 <sup>m3</sup>	2.700 <sup>m3</sup>
Ventilation demandée par heure. Calories à fournir par heure en marche normale, ventilation déduite . . . . .	5.140 <sup>m3</sup>	3.000 <sup>m3</sup>	2.700 <sup>m3</sup>	2.700 <sup>m3</sup>
Calories abandonnées par chaque m <sup>3</sup> d'air à +70°	16.885	31.670	22.562	61.027
Volume d'air à +70° à envoyer par heure . . . . .	938 <sup>m3</sup>	1.983 <sup>m3</sup>	1.407 <sup>m3</sup>	3.822 <sup>m3</sup>
Volume total d'air à +70° à envoyer par heure	8.150 mètres cubes			

On voit que la ventilation sera :

*Insuffisante* pour le magasin d'exposition, parce qu'il a peu de déperditions de calories.

*Insuffisante* pour le hall (1.983 m<sup>3</sup> au lieu de 3.000).

*Insuffisante* pour les bureaux du 1<sup>er</sup> étage (1.407 m<sup>3</sup> au lieu de 2.700 m<sup>3</sup>).

*Trop forte* pour les bureaux du 2<sup>e</sup> étage (3.822 m<sup>3</sup> au lieu de 2.700 m<sup>3</sup>).

C'est un des principaux défauts du calorifère à air chaud, lorsqu'il chauffe des locaux si différents.

La ventilation étant peu intéressante pour le magasin d'exposition, on négligera la différence. On fera une chambre de mélange spéciale, avec admission d'air venant directement de la prise d'air pour le hall et les bureaux du 1<sup>er</sup> étage, de manière à ajouter le volume d'air insuffisant. Quant au 2<sup>e</sup> étage on ne pourra rien y faire, la ventilation sera trop importante, ce qui n'a que des avantages au point de vue de l'hygiène, mais est peu économique au point de vue du fonctionnement, puisqu'on aura à échauffer inutilement 3.822 - 2.700 = 1.122 m<sup>3</sup> de 5 à +15°, soit :

1.122 (0,307 × 20) = 6.889 calories.

Si on voulait produire le chauffage de ce 2<sup>e</sup> étage, en envoyant seulement les 2.700 m<sup>3</sup> demandés, il faudrait que chaque mètre cube abandonnât :

$$\frac{61.027}{2.700} = 22,762 \text{ calories.}$$

Ce qui correspondrait à :

$$\frac{22.762}{0.307} = 74^{\circ}.$$

L'air devrait arriver aux bouches de chaleur à  $74 + 18 = 92^{\circ}$ , température beaucoup trop élevée. La température de  $70^{\circ}$  prévue est déjà considérable, et, si la raison d'économie n'était pas tant à observer, nous aurions admis une température plus basse, 50 à 60 par exemple.

Notre calorifère aura donc à élever  $8.150 \text{ m}^3$  de  $-5$  à  $+70^{\circ}$ , ce qui correspond à :

$$8.150 \times 0.307 \times 75^{\circ} = 187.651 \text{ calories.}$$

Si on se reporte aux calculs de l'origine, nous avons établi que les pertes de calories, ventilation comprise, étaient :

Magasin d'Exposition	31.915 calories.
Hall	52.850 —
Bureaux du 1 <sup>er</sup> étage	41.525 —
Bureaux du 2 <sup>e</sup> étage.	80.990 —
	209.380 calories.

Notre calorifère en fournirait donc moins, ce qui s'explique, puisque la ventilation sera seulement de  $8.150 \text{ m}^3$  au lieu de  $4.140 + 3.000 + 2.700 + 2.700 = 12.540 \text{ m}^3$ .

Il sera prudent d'augmenter sa puissance, de manière à pouvoir ajouter, dans une chambre de mélange, les  $12.540 - 8.150 = 4.390 \text{ m}^3$  qui manquent à la ventilation. On les enverra à la température des salles, soit à  $15^{\circ}$ , dans cette chambre de mélange, et, comme l'air sera pris à l'extérieur à  $-5^{\circ}$ , il faudra augmenter la puissance du calorifère de :

$$4.390 \times 0.307 \times (15 + 5) = 26.954 \text{ calories.}$$

Le calorifère aura à produire :  $187.654 + 26.954 = 214.608$  calories, et les conduits seront calculés pour débiter juste le volume d'air demandé pour la ventilation, soit  $12.540 \text{ m}^3$ .

D'autre part, malgré les isolements, les parois des conduits d'air chaud laisseront perdre une certaine quantité de chaleur, que nous supposons être de  $+5^{\circ}$ .

Il faudra donc, de ce fait, augmenter encore de :

$$12.540 \times 0.307 \times 5 = 19.219 \text{ calories la puissance du calorifère.}$$

Celui-ci devra donc, en définitive, produire :

$$187.654 + 26.954 + 19.249 = 233.857 \text{ calories.}$$

Son rendement par rapport au résultat utile sera donc :

$$\frac{209.380}{233.857} = 0.895, \text{ soit } 89.5\%.$$

Considérons maintenant la mise en régime. Nous avons vu précédemment qu'il faudrait pendant les 2 premières heures majorer le chiffre de calories trouvé dans la proportion M ( $1 + 0, 2.925$ ) calories.

Le chiffre  $187.654$  s'augmentera donc de :

$$187.654 \times 0,2925 = 54.889 \text{ calories.}$$

Le total deviendra  $288.746$ , ce qui correspond à  $75^{\circ}$  en moyenne.

Le calorifère sera calculé exactement comme nous l'avons fait pour les poêles calorifères.

Nous admettons que le rapport de la surface de chauffe du calorifère au poids du charbon à brûler est de 1, la chaleur transmise par mètre carré de surface de chauffe sera  $2.953,5$  calories pour les surfaces dans lesquelles la fumée circule dans le même sens que l'air à échauffer, et  $3.853,6$  pour celles où la circulation des deux gaz se fait en sens inverse. Si on suppose  $1/3$  de surface dans le premier cas et  $2/3$  dans le second, la transmission moyenne sera  $3.553,6$  calories par mètre carré, et

$$\frac{288.746}{3.853,6} = 74^{\text{m}^2}.$$

On brûlera donc  $74 \text{ kg. 9}$  de charbon pendant 2 premières heures, et  $\frac{233.857}{3.853,6} = 60 \text{ kg. 68}$  pendant 10 autres heures.

Pour un appareil de ce genre on peut admettre une combustion de  $50 \text{ kg.}$  par mètre carré en marche accélérée, ce qui correspond à une surface de grille de  $\frac{74,9}{50} = 1^{\text{m}^2},50$  en chiffres ronds, soit un foyer de  $1^{\text{m}},40$  de diamètre.

La combustion sera réduite en marche continue à  $\frac{60,68}{1,5} = 40 \text{ kg.}$  environ par mètre carré de grille.

La figure 8 montre une disposition possible d'un calorifère théorique réalisant toutes les conditions que nous avons précédemment trouvées nécessaires pour un tel appareil, et elle est suffisamment explicite par elle-même pour qu'il soit inutile d'insister.

Il existe un grand nombre de calorifères répondant plus ou moins au problème, et l'industriel n'aura que l'embarras du choix parmi tous ceux qui lui seront offerts, modèles du commerce avec

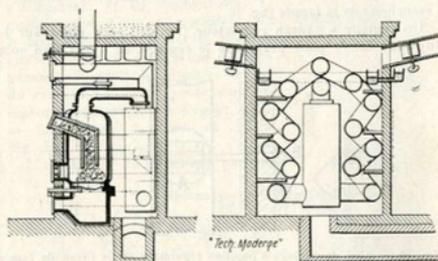


Fig. 8. — Type schématique d'un calorifère de cave à magasin de combustible.

foyers à cloches, avec ou sans hausse, avec surfaces de chauffe en fonte ou en tôle, modèles des constructeurs, etc., etc.

Il existe également un certain nombre d'appareils destinés à brûler les combustibles de peu de valeur, poussières de coke, d'antracite ou de charbons maigres, grains, etc., etc.

A ce sujet, nous tenons à dissiper une équivoque. Dans beaucoup de cas, les combustibles les plus économiques d'achat sont souvent aussi coûteux, sinon plus, que les autres. M. Michel Perret avait inventé, il y a vingt-cinq ou trente ans, puis perfectionné ensuite, des appareils (foyers à étages, foyers à prismes, foyers à dalles perforées, etc.), destinés uniquement à brûler les combustibles pulvérulents et pauvres. Ces appareils, qui ont joui et jouissent encore d'une vogue méritée, sont très économiques dans la plupart des cas, lorsqu'on possède ou qu'on peut se procurer à très bas prix des résidus de poussier de coke d'usines à gaz, de balayures de chantiers, d'escarbilles, fraïsis de locomotives, etc. Mais si on paie les combustibles plus de dix francs la tonne, l'augmentation de combustible résultant de la faible teneur en carbone, la nécessité de laisser les appareils allumés depuis le commencement jusqu'à la fin de l'hiver, en raison de la difficulté et du coût de l'allumage, la main-d'œuvre pénible de chargement, enfin la dépense importante lorsqu'il faut faire des réparations, diminuent beaucoup les avantages de ces appareils, dont une infinité de variétés sont offertes par les constructeurs. Nous pensons qu'un bon appareil normal, facile à conduire par n'importe quel ouvrier, facile à allumer, ralentir, ou laisser éteindre suivant les variations de la température extérieure, pouvant être entretenu et réparé par n'importe quel fumiste, sans



qu'il est possible de recourir au constructeur, devra être nettement précisé.

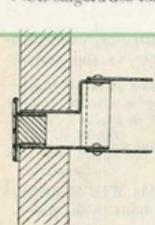


Fig. 9. — Tampon de ramonnage sur la surface de chauffe d'un calorifère.

paisses au foyer, au moins 50 à 60 mm. au coup de feu, une grille mobile pour les décroissages, un cendrier à réservoir d'eau inférieur.

La surface de chauffe sera en forte tôle, 5 mm. au moins au coup de feu, 4 mm. pour les rangs inférieurs, 3 mm. pour les rangs supérieurs; la rivure sera serrée, les joints seront étanches, et, de préférence, à brides et feuilles d'amiante serrées par des boulons. On disposera en façade tous les tampons de visite et ramonnage, de manière à pouvoir faire les nettoyages sans démolir le briquetage d'enveloppe. Ces tampons seront placés, en général, sur des tubulures excentrées, de diamètres réduits, pour diminuer dans la mesure du possible les dimensions des

perçements dans le briquetage, qui détruisent la solidité et l'étanchéité de la façade (fig. 9).

Un registre à cadran régulateur (fig. 10) sera placé sur le tuyau de fumée pour permettre le réglage, en ayant bien soin

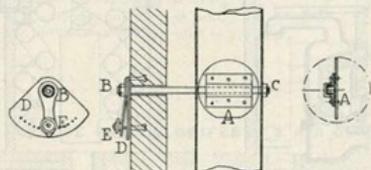


Fig. 10. — Clef de réglage à papillon régulateur sur le tuyau de fumée d'un calorifère.

qu'une encoche dans le diaphragme empêche l'obturation complète, qui donnerait lieu à des refoulements de gaz dans la chambre de chaleur, si les joints ne sont pas parfaitement étanches.

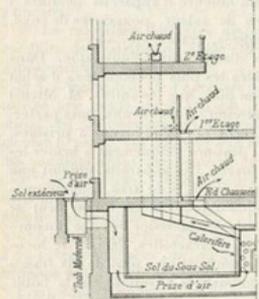


Fig. 11. — Bureaux de l'usine-type. Disposition de la prise d'air et des conduits de chaleur d'un calorifère.

Enfin, une porte sur le départ de fumée, et une communication directe, nommée *pompe d'appel*, entre le foyer et la cheminée, sans passer par la surface de chauffe, munie d'un registre d'interruption, permettront l'allumage facile à la mise en route.

Un tel calorifère, ainsi construit, avec des chicanes convenablement placées, donnera toute satisfaction, avec une dépense modérée de combustible.

Les bouches d'émission d'air chaud seront placées en parquet pour le magasin

d'exposition et le hall, en plinthe dans les bureaux. Notre étude étant purement théorique, nous négligerons la difficulté qu'on rencontrerait en pratique dans la traversée du magasin d'exposition, et nous supposons qu'on peut sans inconvénient monter les conduits verticaux comme l'indique le croquis (fig. 11).

Le tableau ci-après résume les calculs d'établissement que nous aurions à faire :

	MAGASIN d'Exposition	HALL 1 <sup>er</sup> étage	BUREAUX 1 <sup>er</sup> étage	BUREAUX 2 <sup>e</sup> étage
Volume d'air chaud à débiter par heure.	4,140 <sup>m³</sup>	3,000 <sup>m³</sup>	2,700 <sup>m³</sup>	3,822 <sup>m³</sup>
Volume d'air chaud à débiter par seconde . . . . .	1 <sup>m³</sup> ,15	0 <sup>m³</sup> ,833	0 <sup>m³</sup> ,75	1 <sup>m³</sup> ,06
Nombre de bouches de chaleur. . . . .	25	24	24	24
Volume à débiter par seconde et par bouche . . . . .	0 <sup>m³</sup> ,048	0 <sup>m³</sup> ,0347	0 <sup>m³</sup> ,03125	0 <sup>m³</sup> ,04416
Vitesse de l'air dans les conduites (1)..	0 <sup>m</sup> ,40	0 <sup>m</sup> ,50	0 <sup>m</sup> ,60	0 <sup>m</sup> ,70
Section théorique des conduites . . .	0 <sup>m²</sup> ,42	0 <sup>m²</sup> ,0694	0 <sup>m²</sup> ,052	0 <sup>m²</sup> ,063
Dimensions des conduites en pratique . . . . .	0,50 × 0,30	0,24 × 0,30	0,20 × 0,25	0,25 × 0,25

Le plan d'ensemble (fig. 12) montre comment nous grouperons

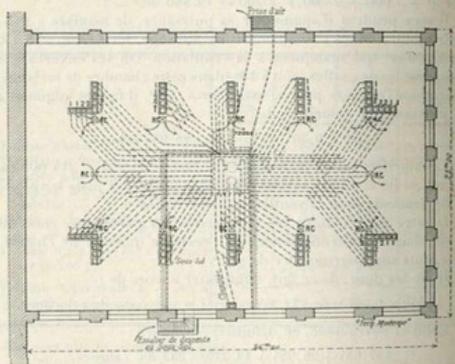


Fig. 12. — Bureaux de l'usine-type. Plan d'ensemble de l'installation d'un calorifère.

les conduits de chaleur pour atténuer les pertes dans le parcours.

La figure 13 montre le départ d'un conduit sur la chambre de chaleur. Ce départ doit se faire à la partie haute, de manière à ne pas laisser au-dessous du plafond un matelas d'air, qui ne pourrait pas s'écouler. Il faut aussi que tous les conduits soient pris à la même hauteur, pour que le débit soit bien régulier dans chacun d'eux.

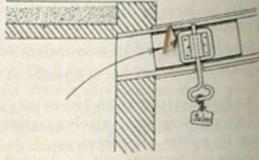


Fig. 13. — Départ d'un conduit d'air chaud sur la chambre de chaleur d'un calorifère.

Enfin, une clef de réglage à papillon, munie d'un petit cadran de repérage, permettra de graduer la section de départ de chaque conduit, pour en régulariser le débit.

(1) Nous négligerons le calcul des vitesses dans les conduites, qui nous entraînerait un peu trop loin, sans grand intérêt pour notre description.



La figure 14 indique la disposition des conduits suspendus sous plafond dans la partie excavée. Les dimensions 0<sup>m</sup>,25 × 0<sup>m</sup>,30, 0<sup>m</sup>,25 × 0<sup>m</sup>,25, 0<sup>m</sup>,20 × 0<sup>m</sup>,25, correspondent aux boiseaux en terre cuite qu'on trouve couramment dans le commerce. Les conduits du Hall, de 0<sup>m</sup>,30 × 0<sup>m</sup>,40, seront construits en

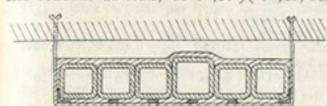


Fig. 14. — Conduits d'air chaud suspendus sous plafond d'un sous-sol.

briques creuses de grandes dimensions, de 0<sup>m</sup>,045 × 0<sup>m</sup>,15 × 0<sup>m</sup>,30.

Des colliers de supports scellés au plafond, des fers cornières

aux angles, et des fers à té intermédiaires, supporteront ces conduits, dont un chemisage extérieur en plâtre assurera l'étanchéité.

Pour les conduits en terre-plein, on creuse une tranchée, dont le fond est soigneusement nivelé, avec une pente intérieure bien régulière, assurée par un petit béton de mâchefer.

Si le terrain est bien sec, on pose les boiseaux ou la brique directement sur ce béton (fig. 15), on fait un enduit en plâtre, et on enveloppe le tout de mâchefer bien tamisé.

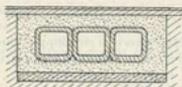


Fig. 15. — Conduits d'air chaud passant en terre-plein.

Si le terrain est humide, on construit un double conduit en briques creuses (fig. 16) entourées extérieurement d'une chape en ciment, et on place les boiseaux à l'intérieur, en laissant tout autour une couche isolante d'air.

Avec cette disposition, les pertes de chaleur sont presque nulles; malheureusement la dépense est assez élevée.

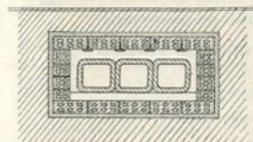


Fig. 16. — Conduit d'air chaud passant en terre-plein dans un double conduit isolant.

La prise d'air frais se fera à l'extérieur, de préférence verticalement, pour éviter les introductions de balayures, et dans un endroit où l'air soit calme et à l'abri du vent.

Si la disposition verticale est impossible, on prendra celle de la figure 17. Un petit mur existera tout autour pour empêcher l'arrivée de l'eau; le fond sera en pente, avec un écoulement possible pour l'eau de pluie, la grille sera mobile, pour qu'on puisse nettoyer fréquemment. Dans le conduit vertical, on placera un filtre à air pour arrêter les poussières.

Il existe quelques dispositions heureuses de filtrage de l'air. Nous citerons entre autres celles de la Société de l'air filtré (procédé Combemale). Peut-être, malheureusement, sont-elles d'un entretien un peu onéreux pour un chauffage industriel.

Au pis aller, on peut se contenter, comme l'indique la figure 18, d'un filtre en étoffe pelucheuse, à larges mailles, tendue sur un châssis en toile métallique; on aura soin de réserver une porte, de manière à pouvoir enlever, battre ou laver fréquemment l'étoffe. Un tel filtre présentera du reste une résistance considérable, et, si on admet que la section de la prise d'air peut être calculée en tenant compte d'une vitesse de

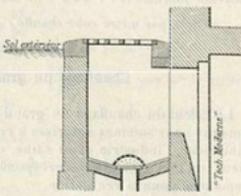


Fig. 17. — Prise d'air extérieur pour un calorifère.

circulation d'air de 0<sup>m</sup>,50 par seconde, la section doit être au moins décauplée. On peut, du reste, avec les dispositions capables d'augmenter la surface du filtre, par exemple (fig. 19), disposer l'étoffe en zig-zags, de manière à avoir une plus grande surface filtrante.

Si on dispose à peu de frais d'une certaine quantité d'eau sous pression, on obtient souvent un excellent résultat en plaçant dans la prise d'air quelques pulvérisateurs d'eau, identiques à ceux dont se servent les jardiniers pour arroser les pelouses de gazon.

Le brouillard qui se forme dans le conduit arrête d'une manière très heureuse les poussières; si, de plus, on laisse pendre dans le conduit un réseau de ficelles qui s'humectent, et au contact desquelles passe l'air, on complète d'une manière très complète le lavage de l'air, et on le débarrasse de toutes ses poussières, sans l'humidifier d'une manière gênante. Il suffit de disposer le sol du carneau en légère pente vers un siphon communiquant à l'égout, pour se débarrasser de l'eau en excès (fig. 20).

L'installation du chauffage par calorifère

à air chaud du bâtiment d'administration peut coûter :

Calorifère proprement dit, partie en fonte	1.500 kg.	1.000 fr.
partie en tôle	1.500 kg.	1.500 »
amiante, boulons, accessoires divers		200 »
Mçonnerie d'enveloppe en briques, chicanes intérieures, fers, etc.		1.000 »
Tuyau de fumée, partie horizontale et conduit vertical dans la hauteur du bâtiment		800 »
Conduit de prise d'air		500 »
Filtre à air		300 »
Conduits de chaleur partie horizontale dans la chaufferie, environ 180 m.		1.450 »
Conduits de chaleur, partie horizontale en terre-plein, environ 800 m.		4.800 »
Conduits de chaleur, partie verticale, environ 500 m. supposés réservés dans l'épaisseur des cloisons, et non à prévoir dans le devis		Même chose
Conduits de chaleur, soupapes de réglage avec étiquettes : 96.		250 »
Bouches de chaleur en fonte, avec encaissements en briques : 96.		1.450 »
Bouches d'évacuation d'air vicié, avec encaissements en briques : 60		600 »
Chapeaux galvanisés pour évacuation d'air vicié : 60.		900 »
Total environ,		14.720 fr.

Fig. 18. — Dispositif de filtre à air dans la prise d'air d'un calorifère.

Fig. 19. — Dispositif de filtre à air à grande surface.

Fig. 20. — Dispositif de lavage d'air dans la prise d'air d'un calorifère.

Ce qui représente par mètre cube chauffé :

12.720 fr.	= 1 fr. 17.
12.540 m <sup>3</sup>	


 ULTIMHEAT<sup>®</sup> combustible sera :

Pendant les 6 premières heures, 74,9 × 2	1498,8
Pendant les 10 autres heures, 60,68 × 10	6068,8
<b>Total par jour.</b>	<b>7567,6</b>

Soit, à 1 fr. 60 l'hectolitre de 55 k : 22 fr. 01  
 Moyenne journalière (1/2 à 2/3 du maximum) : 12 fr. 90  
 12,9  
 Soit par mètre cube chauffé : 12,550 = 0 fr. 001003.

**Bâtiment des Lavabos et Réfectoires.**

Un calcul analogue nous donnerait :

	SALLE D'EXPOSITION	RÉFECTOIRE	LAVABOS
Volume chauffé . . . . .	2.250 m <sup>3</sup>	662 <sup>m</sup> 3,5	1.980 m <sup>3</sup>
Ventilation demandée par heure . . . . .	2.250 m <sup>3</sup>	662 <sup>m</sup> 3,5	3.960 m <sup>3</sup>
Température demandée par 0 extérieur . . . . .	15°	15°	15°
Calories à fournir par heure en marche normale, ventilation déduite	15.373	10.775	36.570
Calories abandonnées par chaque mètre cube à +60° . . . . .	13.815	13.815	13.815
Volume d'air à +60° à envoyer par heure . . . . .	1.112 m <sup>3</sup>	780 m <sup>3</sup>	2.647 m <sup>3</sup>
Ventilation correspondante . . . . .	Insuffisante	Suffisante	Insuffisante
Volume d'air à 15° à ajouter . . . . .	1.438 <sup>m</sup> 3	0	1.313 <sup>m</sup> 3
Calories correspondantes (0 à +15) . . . . .	5.087	0	6.046
Total des calories pour le volume d'air envoyé de 0 à 60° . . . . .	20.483	14.367	48.758
Total des calories à fournir en marche normale par le calorifère . . . . .	25.570	14.367	54.804
Calories perdues en route dans les conduits de chaleur (5° par mètre cube) . . . . .	3.454	1.197	6.079
<b>Soit ensemble</b>	<b>105.471 calories</b>		
Calories calculées (voir tableau de calories) ventilation comprise . . . . .	25.735	13.825	54.805
<b>Ensemble</b>	<b>94.365 calories</b>		
Rendement $\frac{94.365}{105.471} = 0,894$	89,4 %		

Calories en plus à fournir pendant deux heures au moment de la mise en régime :

Par heure (20.483 + 14.367 + 48.758) × 0,2925 = 24.455 cal.  
 Ce qui donne un total de : 105.471 + 24.455 = 129.926 cal.

Surface de chauffe du calorifère  $\frac{129.926}{3.853,6} = 33^m,71$ .

Charbon à brûler pendant chacune des deux premières heures . . . . . 33<sup>m</sup>,71.

Charbon à brûler pendant chacune des dix autres heures  $\frac{105.471}{3.853,6} = 27,37$ .

Surface de la grille  $\frac{33,71}{50} = 0^m,6742$ .

 Soit diamètre du foyer : 0<sup>m</sup>,95 à 1<sup>m</sup>,00.

Combustion en marche continue  $\frac{2.337}{0,6742} = 35$  kg. par m<sup>2</sup>.

Section de la cheminée  $\frac{0,6742}{6} = 0^m,1124$ .

Soit : 0,20 × 0,40.

Le calcul des conduites et des bouches s'établira de la façon suivante :

	MAGASIN D'EXPOSITION	RÉFECTOIRE	LAVABOS
Volume à débiter par heure	2.250 m <sup>3</sup> .	780 m <sup>3</sup> .	2.647 m <sup>3</sup> .
Soit par seconde	0 <sup>m</sup> ,625	0 <sup>m</sup> ,216	0 <sup>m</sup> ,735
Nombre de bouches de chaleur	12	4	14
Volume à débiter par seconde et par bouches.	0,052	0,054	0,0525
Vitesse de l'air dans les conduites	0,50	0,50	0,50
Section théorique des conduites	0,13	0,108	0,105
Dimensions des conduites en pratique	0,35 × 0,35	0,35 × 0,30	0,35 × 0,30
Section de la prise d'air pour V = 50.		0,625	
Soit, en pratique.		0,80 × 0,80	

Le devis de l'installation s'établira comme suit :

Calorifère proprement dit, partie en fonte : 4.000 kg.	700 fr.
partie en tôle : 1.000 kg.	1.000 "
amiante, boulons, divers.	150 "
Maçonnerie d'enveloppe, chicanes, fers	800 "
Tuyau de fumée, partie horizontale et conduit vertical.	500 "
Conduit de prise d'air	300 "
Filtre à air	250 "
Conduits de chaleur, partie horizontale dans la chaufferie, environ 60 m.	450 "
Conduits de chaleur, partie horizontale en terre-plein, environ 200 m.	
Conduits de chaleur, partie verticale environ 90 m.	Mémoire
Bouches de chaleur, soupapes de réglage avec étiquettes : 30.	75 "
Bouches de chaleur en fonte, avec encaissements en briques : 30.	600 "
Bouches d'évacuation d'air vicié, avec encaissements en briques : 30.	300 "
Chapeaux galvanisés à l'extérieur pour évacuation d'air vicié : 30.	450 "
<b>Total environ.</b>	<b>6.675 fr.</b>

ce qui représente par mètre cube chauffé :

$$\frac{6.675}{4.892,5} = 1 \text{ fr. } 36.$$

La dépense de combustible sera :

Pendant les deux premières heures : 2 × 33,71 = 67 kg. 42  
 Pendant les dix autres heures : 10 × 23,37 = 233 kg. 70

Total par jour . . . . . 301 kg. 12

Soit à 1 fr. 60 l'hectolitre de 55 kg. . . . . 8 fr. 75

Moyenne journalière : 1/2 à 2/3 du maximum . . . . . 5 fr. 10

Soit, par mètre cube chauffé :  $\frac{5,10}{4.892,5} = 0 \text{ fr. } 001042$

**Chauffage du grand atelier.**

Le calcul du chauffage du grand atelier sera un peu différent, puisque nous sommes autorisés à reprendre une partie de l'air à l'intérieur, l'industrie étant saine, et à n'aller chercher à l'extérieur qu'une quantité correspondante à celle qui nous est demandée pour la ventilation.

Notre calcul nous a indiqué, pour un volume total de 72.340 m<sup>3</sup>, un renouvellement horaire de 7.234 m<sup>3</sup>, et 416.590 calories perdues par les parois, plus 33.311 calories correspondantes à la ventilation, soit ensemble 449.900 calories par heure.

L'examen du plan nous montre que nous aurons à diviser le chauffage en trois groupes, produisant chacun :

$$\frac{449.900}{3} = 149.966 \text{ calories par heure.}$$



ULTIMHEAT®

VIRTUAL MUSEUM

1<sup>re</sup> 2<sup>e</sup>  
3<sup>e</sup>, 50

Étudions chaque groupe séparément.

Supposons le régime établi, à +15° par 0 extérieur, et les bouches émettant de l'air à +70°

1 m<sup>3</sup> abandonne (70-15) 0,307 = 16,885 calories.Il faut faire circuler par heure  $\frac{149.966}{16.885} = 8.881 \text{ m}^3$ Sur ces 8.881 m<sup>3</sup>,  $\frac{7.234}{3} = 2.411$  seront pris à l'extérieur à 0°,

et 8.881 - 2.411 = 6.470 seront repris à l'intérieur à 15°.

Les 8.881 m<sup>3</sup> contiendront donc :

$$6.470 \times 0,307 \times 15 = 29.794 \text{ calories.}$$

$$2.411 \times 0,307 \times 0 = 0$$

$$\text{Ensemble} \quad 29.794 \text{ calories.}$$

Leur température à l'arrivée au calorifère sera :

$$\frac{29.794}{8.881 \times 0,307} = 10,9.$$

La section de la prise d'air, en admettant une vitesse de 0<sup>m</sup>,50, sera :

$$\text{Pour la partie amenant l'air extérieur : } \frac{2.411}{3.600 \times 0,5} = 1,34$$

$$\text{--- --- intérieur : } \frac{6.470}{3.600 \times 0,5} = 3,59$$

Soit ensemble 4<sup>m</sup>,93 ou 5 m<sup>3</sup>, soit 2<sup>m</sup>,23 x 2,23.D'autre part, si ces 8.881 m<sup>3</sup> perdent 5° dans leur parcours des conduits de chaleur, l'air devra partir du calorifère à 75° ; il faudra fournir en plus :

$$8.881 \times 0,307 \times 5 = 13.632 \text{ calories,}$$

et le calorifère fournira en marche normale :

$$149.966 + 13.632 = 163.598 \text{ calories.}$$

Pendant les deux premières heures, les pertes par les parois seront augmentées dans la proportion de 0,2925, soit :

$$\frac{46.590}{3} \times 0,2925 = 46.618 \text{ calories.}$$

et le calorifère devra fournir :

$$163.598 + 46.618 = 210.216 \text{ calories par heure.}$$

$$\text{Surface de chauffe du calorifère : } \frac{204.216}{3.853,6} = 53 \text{ m}^2.$$

Charbon à brûler pendant les 2 premières heures : 53 x 2 = 106 kg.

Charbon à brûler pendant les 10 heures suivantes :  $\frac{163.598}{3.853,6} \times 10 = 424 \text{ kg.}$ 

$$\text{Ensemble} \quad 530 \text{ kg.}$$

$$\text{La surface de la grille sera } \frac{53}{50} = 1,06$$

Soit un diamètre du foyer de 1<sup>m</sup>,20.

$$\text{Combustion en marche continue : } \frac{42,4}{1,06} = 40 \text{ kg. par m}^2 \text{ de grille.}$$

$$\text{Section de la cheminée : } \frac{1,06}{6} = 0,177$$

$$\text{Soit } 0,44 \times 0,44.$$

Calcul des conduits et des bouches de chaleur :

$$\text{Volume à débiter par heure.} \quad 8.881 \text{ m}^3$$

$$\text{Soit par seconde.} \quad 2,47$$

$$\text{Nombre de bouches de chaleur.} \quad 20$$

$$\text{Volume par seconde et par bouche.} \quad 0,1235$$

$$\text{Vitesse de l'air dans les conduites.} \quad 0,50$$

$$\text{Section théorique des conduites.} \quad 0,0125$$

$$\text{Soit en pratique} \quad 0,50 \times 0,60$$

$$\text{En admettant que les bouches présentent autant de pleins que de vides, la surface de la grille}$$

$$\text{sera} \quad 0,0125 \times 618$$

Ce qui correspond à des bouches de.

La prise d'air extérieure aura.

La prise d'air intérieure aura . . .

Si on met 10 bouches de rappel

Chaque conduit aura  $0,0125 \times 359$ Soit  $0,60 \times 0,60$ Et chaque bouche aura . . .  $0,0125 \times 718$ Soit  $0,85 \times 0,85$ 

Le devis de l'installation s'établira comme suit :

Calorifère proprement dit, partie en fonte 1,200 kg	840 fr.
--- --- partie en tôle 1,200 kg	1,200 »
--- --- amiante, boudons, etc.	200 »
Maçonnerie d'enveloppe, chicanes, fers	1,000 »
Tuyau de fumée, partie horizontale et conduit vertical.	700 »
Conduits de prise d'air extérieure: 1 <sup>m</sup> ,10 x 1 <sup>m</sup> ,10 sur 25 m.	} 2,925 »
--- --- intérieure: 0 <sup>m</sup> ,60 x 0 <sup>m</sup> ,60 sur 20 m.	
--- --- " 0 <sup>m</sup> ,85 x 0 <sup>m</sup> ,85 sur 10 m.	
--- --- " 1 <sup>m</sup> ,00 x 1 <sup>m</sup> ,00 sur 10 m.	
--- --- " 1 <sup>m</sup> ,20 x 1 <sup>m</sup> ,20 sur 10 m.	
--- --- " 1 <sup>m</sup> ,65 x 1 <sup>m</sup> ,65 sur 10 m.	
1 grille de prise d'air extérieure: 1 <sup>m</sup> ,60 x 1 <sup>m</sup> ,60.	50 »
10 grilles --- intérieure: 0 <sup>m</sup> ,85 x 0 <sup>m</sup> ,85.	300 »
Filtre à air.	600 »
Conduits de chaleur en terre-plein: 0 <sup>m</sup> ,60 x 0 <sup>m</sup> ,60 sur 200 m.	5,000 »
Raccordements au calorifère, (20)	300 »
Soupapes de réglage avec étiquettes, (20)	200 »
Bouches de chaleur de 0 <sup>m</sup> ,80 x 0 <sup>m</sup> ,80, (20)	1,600 »
Chapeaux galvanisés comme pour les poêles, (12)	600 »
Total pour un calorifère.	15,515 fr.
Et pour 3 calorifères . . . . .	46,545 »

$$\text{Soit par mètre cube chauffé : } \frac{46.545}{72.340} = 0 \text{ fr. } 643.$$

La dépense de combustible sera au maximum :

Par jour: 530 x 3.	1,590 kg
Soit, à 1 fr. 60 l'hectolitre de 55 kg.	46 fr. 25
Moyenne journalière 1/2 à 2/3 du maximum	26 fr. 97
Moyenne par jour et par mètre cube: $\frac{26,97}{72,340}$	0,000372

## RÉSUMÉ.

Le chauffage total de l'usine coûtera donc :

$$14.720 + 6.675 + 46.545 = 67.940 \text{ fr.}$$

Soit par mètre cube chauffé :

$$\frac{67.940}{12.150 + 4.892 + 72.340} = 0 \text{ fr. } 756$$

et par calorie-heure utile :

$$\frac{67.940}{753.645} = 0 \text{ fr. } 0901$$

ou 2,60 fois plus cher qu'avec les poêles.

On dépenserait par jour en coke :

$$12,9 + 5,10 + 26,97 = 44 \text{ fr. } 97$$

Soit par mètre cube chauffé :

$$\frac{44,97}{89.772,5} = 0 \text{ fr. } 0005 \text{ par jour,}$$

et par calorie-heure utile et par jour :

$$\frac{44,97}{743.645} = 0 \text{ fr. } 0000596$$

ou 95 % de la dépense avec des poêles.

On remarquera que cette économie sera plus importante si on tient compte de la main-d'œuvre.



Un seul homme entretient facilement les 5 calorifères; peut-être même en deux, si la mise en route le matin.

Au contraire, avec les poêles, il y aurait  $12 + 14 + 12 = 38$  foyers à allumer et à entretenir; il faudrait au moins deux hommes en service continu, et trois ou quatre à l'allumage.

On aurait pu nous demander des calorifères brûlant des déchets de combustible, par exemple des calorifères genre Michel Perret, capables de brûler des poussières de coke.

Supposons que le poussier de coke vaille 1 franc l'hectolitre, et examinons si nous aurions eu avantage à employer ces appareils.

Il faut se rappeler, d'abord, que l'allumage d'un calorifère genre Michel Perret est long et assez coûteux. Il faut faire un feu de bois très prolongé, au moins une bonne demi-journée, pour que l'appareil commence à se mettre en ignition. Quand le calorifère est allumé, au commencement de l'hiver, on ne le laisse plus éteindre, et il fonctionne jour et nuit pendant toute la durée de l'hiver; on peut admettre cependant qu'on le met à marche réduite à 1/2 pendant la nuit.

Le maximum de puissance calorifique utile du poussier de coke est de 3.000 calories par kilogramme.

Nous aurons donc à brûler :

Bâtiment d'administration	$\frac{233.857}{3.000}$	77,952 par heure.
— des lavabos et réfectoire	$\frac{105.471}{3.000}$	35,157 —
Atelier	$\frac{163.598}{3.000} \times 3$	163,598
Total.		276,707 par heure.
Soit pour 12 heures de marche de jour :	$276,707 \times 24$	6.620 kg.
Et 12 heures de marche de nuit à 1/2 :	$\frac{3.320}{2}$	1.660 —
Ensemble . . . . .		4.980 kg.
Soit à 1 fr. l'hectolitre de 55 kg : 90 fr. en chiffres ronds.		

D'autre part, la moyenne de l'hiver ne dépassera pas 2/5 à 1/2 du maximum, les locaux étant chauffés en permanence.

C'est dire qu'on dépensera environ 40 francs par jour, chiffre qui n'est pas sensiblement inférieur à celui trouvé pour les calorifères ordinaires.

Il n'y aurait avantage que si le poussier de coke était à un prix inférieur à 0 fr. 80 l'hectolitre, quand le coke vaut 1 fr. 60, c'est-à-dire si le prix du poussier était juste la moitié de celui du coke.

D'autre part, considérons la main-d'œuvre.

Le plus grand appareil genre Michel Perret a 2 m<sup>2</sup> de surface de dalle à chaque étage.

Si on considère que la combustion maximum est de 200 kg. par mètre carré et par 24 heures, soit  $\frac{200 \times 3.000}{24} = 25.000$  calories par heure, pour un foyer à dalles perforées du dernier brevet, on voit qu'il faudra :

Bâtiment d'administration	$\frac{233.857}{25.000} = 9^m,35,$
soit au moins 5 foyers.	
Bâtiment des lavabos et réfectoire . . .	$\frac{105.471}{25.000} = 4^m,21,$
soit au moins 3 foyers.	
Atelier . . . . .	$\frac{163.598 \times 3}{25.000} = 19^m,63,$
soit au moins 9 foyers.	

L'ensemble représentera 17 grands foyers, que deux hommes arriveront très péniblement à entretenir.

La dépense d'installation sera la même pour les conduits de prise d'air, de cheminées, etc.; seuls les calorifères différeront.

Or, les grands appareils coûteront au moins 1.500 francs l'un, soit  $1.500 \times 17 = 25.500$  francs.

En examinant les devis des calorifères, on voit qu'il faut comparer cette dépense avec :

$$3.700 + 2.650 + (3.250 \times 3) = 16.170 \text{ fr.}$$

prix des calorifères à air chaud ordinaires, ce qui fait une augmentation de 9.330 francs sur l'installation.

Nous croyons donc très sincèrement que ces appareils sont peu économiques dans le cas considéré, à moins d'avoir réellement des déchets de combustible de prix très modérés.

## CHAPITRE VII

### CHAUFFAGES PAR LA VAPEUR

On connaît depuis longtemps les principes du chauffage par la vapeur vive et par la vapeur d'échappement. Mais les installations anciennes étaient très défectueuses, comme le sont encore aujourd'hui, du reste, celles que la raison d'économie fait confier à des constructeurs incompetents, malgré l'application des principes nouveaux.

Mais ce n'est que depuis quelques années, tout au plus depuis 1892 ou 1893, que l'on a vraiment commencé à installer en France les appareils de chauffage par la vapeur à basse pression, et on peut dire que les progrès n'ont pas été très rapides à l'origine, puisque les installations réellement pratiques ne datent que de huit à dix ans.

Nous ne chercherons pas à savoir si le chauffage à vapeur à basse pression nous vient d'Amérique ou d'Allemagne, ces deux pays revendiquant avec une égale énergie la priorité des inventions qui donneront naissance à cette industrie nouvelle du chauffage, si importante aujourd'hui. Les recherches de l'auteur sur les antériorités (\*) semblent nettement établir que le chauffage à vapeur à basse pression prit naissance aux États-Unis, et fut importé en Europe soit par une ou deux maisons françaises, soit plutôt par les Allemands. Les Européens, Français et Allemands, surent, du reste, tirer merveilleusement parti de ce chauffage, qui est à l'heure actuelle tout à fait pratique, simple, facile à installer et facile à faire fonctionner.

Tous les chauffages par la vapeur étant basés sur des principes communs, et un grand nombre d'organes étant les mêmes pour les différents systèmes, nous allons d'abord passer en revue ces principes et ces appareils avant d'aborder l'étude des systèmes proprement dits.

#### Principes du chauffage par la vapeur.

Lorsqu'on chauffe l'eau, sa température s'élève jusqu'à un certain degré, variable avec la pression qui s'exerce à sa surface, mais constante pour une même pression, et qu'on appelle *température d'ébullition*.

Si on chauffe l'eau dans un réservoir ouvert, c'est-à-dire à la pression atmosphérique, cette température est de 100°.

Si on chauffe l'eau dans un récipient fermé, muni d'une soupape de sûreté, c'est-à-dire d'un orifice fermé par un clapet chargé d'un contrepoids, cette température d'ébullition s'élève en même temps que la pression que l'eau exerce sur les parois du réservoir qui la contient, jusqu'à la limite qui correspond à la vaporisation sous pression.

Lorsque la température d'ébullition est atteinte, si on continue à chauffer, l'eau change d'état, et se transforme en vapeur.

(1) Voir *Le Chauffage des habitations*, par G. Debesson, chap. XIII. Librairie H. Dunod et E. Pinat.

Jusqu'à ce moment, la chaleur fournie à l'eau était facile à mesurer au moyen d'un thermomètre, qui indiquait les élévations continues de température.

A partir du moment où la vaporisation commence, la température reste constante, et la quantité de chaleur absorbée ne peut se mesurer avec un thermomètre.

On appelle *chaleur latente de vaporisation* la quantité de chaleur insensible au thermomètre, et qui est absorbée par l'eau bouillante pour se transformer en vapeur.

La température reste constante tant que la vapeur reste en contact avec de l'eau non vaporisée, c'est-à-dire tant qu'on a affaire à de la *vapeur saturée*; elle est égale à la température d'ébullition de l'eau sous la même pression. Lorsque toute l'eau est vaporisée, si on continuait à chauffer, la température de la vapeur augmenterait, on aurait alors de la *vapeur surchauffée*. Cette vapeur surchauffée est dans un état physique tout à fait spécial, qui lui donne des propriétés particulières, utilisées en mécanique, mais qui n'a aucun intérêt dans les questions de chauffage.

En résumé, prenant de l'eau à la température  $t_0$ , pour la vaporiser sous la pression  $P$ , qui correspond elle-même à la température  $T$ , il faut :

1° Lui fournir la quantité de calories  $T - t_0$ , pour l'amener à la température de vaporisation;

2° Lui fournir la quantité de calories correspondant à sa chaleur latente de vaporisation.

Les expériences de Regnault ont permis d'établir la formule ci-dessous, qui représente la quantité totale de chaleur contenue dans la vapeur :

$$\lambda = 606,5 + 0,305 T.$$

Si l'eau était à l'origine à la température  $t_0$ , il faudra donc lui fournir une quantité  $Q$  de calories égale à :

$$Q = 606,5 + 0,305 T - t_0. \quad (1)$$

Dans un chauffage à vapeur, cette formule (1) représente la quantité de calories que devra fournir le foyer de la chaudière au liquide à transformer en vapeur.

Inversement, lorsque la vapeur se condense, c'est-à-dire lorsqu'elle redevient liquide, elle abandonne aux corps environnants exactement la quantité de chaleur latente qu'elle avait absorbée pour se transformer en vapeur, et cette chaleur abandonnée redevient de la *chaleur sensible*. C'est cette chaleur qui est utilisée dans les chauffages à vapeur, et c'est elle seule que nous aurons à considérer dans notre étude.

Supposons que nous envoyons 1 kg. de vapeur dans un tuyauterie ou une surface de chauffe quelconque, à la pression  $P$ , qui correspond à une température  $T$ . Cette vapeur contient :

$$[606,5 + 0,305 T] \text{ calories.}$$

Si nous condensons cette vapeur, tout en restant sous la même pression  $P$ , elle se transformera en eau à la température d'ébullition  $T$ , et elle abandonnera à la surface de chauffe, pour transmettre au local chauffé, toutes les calories qu'elle contenait à l'état de *chaleur latente*. La quantité de calories contenue dans un 1 kg. d'eau à  $T^\circ$  est égale à  $T$ ; la quantité de calories abandonnée au chauffage est donc :

$$[606,5 + 0,305 T] - T.$$

Dans les chauffages par la vapeur à haute ou à moyenne pression, on place généralement, à la suite de la surface de chauffe, un appareil qui retient la vapeur et laisse écouler l'eau de condensation; cet appareil se nomme un *purgeur automatique*. On laisse ensuite s'écouler l'eau librement à la pression atmosphérique, soit en l'envoyant à l'égoût, soit en la ramenant, par un réseau de tuyauteries nommées *conduites de retour*, jusqu'à une bache ou réservoir de retour, placée près de la chaudière, de manière à pouvoir s'en servir pour réalimenter cette chaudière, récupérant

ainsi les calories qu'elle contient, et surtout l'eau qui est distillée, de manière à réduire au minimum les incrustations dans la chaudière.

L'eau de condensation, ainsi abandonnée à la pression atmosphérique au sortir des surfaces de chauffe, à une température de  $100^\circ$ , c'est-à-dire qu'un kilogramme de cette eau contient 100 calories.

1 kg. de vapeur, envoyé dans les surfaces de chauffe sous la pression  $P$ , et dont l'eau de condensation a été abandonnée dans les conduites à la température de  $100^\circ$ , met donc en liberté, pour être utilisées au chauffage :

$$[606,5 + 0,305 T - 100] \text{ calories.}$$

Par exemple, si la vapeur est à la pression de 5 kg., correspondante à  $158^\circ$ , chaque kilogramme de vapeur abandonnera :

$$[606,5 + 0,305 \times 158 - 100] = 554,69 \text{ calories.}$$

Si la vapeur était à la pression de 100 grammes, qui est celle employée dans les chauffages à vapeur à basse pression, sa température serait de  $102^\circ$ , chaque kilogramme de vapeur abandonnerait :

$$[606,5 + 0,305 \times 102 - 100] = 537,61 \text{ calories.}$$

Si la vapeur était à la pression atmosphérique, soit à  $100^\circ$ , ce chiffre deviendrait :

$$606,5 + 0,305 \times 100 - 100 = 537 \text{ calories.}$$

On voit que la différence est peu importante entre les quantités de calories abandonnées ainsi par la vapeur aux diverses pressions, et on comprend que tous les efforts des constructeurs se soient dirigés vers l'abaissement de la pression dans les appareils de chauffage, qui a pour résultat de les rendre plus simples, plus faciles à conduire, de permettre leur installation avec des matériaux moins résistants, enfin de supprimer tous les dangers des hautes pressions, sans diminuer sensiblement les quantités de chaleur transmises par chaque kilogramme de vapeur.

Nous connaissons donc maintenant l'un des éléments qui doit nous permettre de calculer un chauffage par la vapeur à basse pression.

Soit  $M$  la quantité de calories que nous devons fournir par heure à une usine, un atelier, un ensemble de bureaux ou de locaux industriels, pour maintenir à l'intérieur la température demandée, malgré un abaissement donné de la température extérieure; la quantité de vapeur qui, en se condensant, abandonnera  $M$  calories, sera représentée par :

$$\frac{M}{537} = Q, \text{ en kilogrammes.}$$

Nous avons maintenant à étudier :

1° Le générateur, capable de vaporiser par heure  $Q$  kg. d'eau, cette eau revenant du chauffage à une température que nous tâcherons de maintenir aussi près que possible de  $100^\circ$ , puisqu'elle quittera les surfaces chauffantes à  $100^\circ$ ;

2° Les tuyauteries, qui conduiront la vapeur du générateur aux surfaces chauffantes, et celles qui ramèneront l'eau de condensation de celles-ci au générateur;

3° Les surfaces chauffantes dans lesquelles se condensera ce poids  $Q$  de vapeur, et qui transmettront  $M$  calories aux locaux à chauffer;

4° Les robinets de distribution, qui régleront à l'entrée de chaque surface chauffante le volume de vapeur à admettre dans cette surface.

Les chauffages par la vapeur à basse pression; assez différents suivant les constructeurs, peuvent être classés en trois groupes principaux, dont nous parlerons tout d'abord, parce que la disposition des organes précédents varie avec le système employé. Ces trois groupes ou systèmes sont :



**ULTIMHEAT®**  
Virtual Museum  
Le chauffage en cycle fermé à un seul tuyau, dit chauffage américain.  
Le chauffage en cycle fermé à deux tuyaux, également d'origine américaine.

Le chauffage en cycle ouvert à deux tuyaux, appelé, suivant les divers auteurs, méthode française, ou méthode allemande.

**CHAUFFAGE EN CYCLE FERMÉ À UN SEUL TUYAU.**

La figure 21 représente schématiquement une installation de chauffage par cette méthode.

A est la chaudière, dont le niveau d'eau normal est représenté par le plan horizontal *mn*.

BCDEF est la canalisation principale, qui sert à la fois à la distribution de la vapeur et au retour des eaux de condensation.

Pour faciliter le transport de ces deux fluides, et éviter autant que possible un parcours en sens inverse, qui donnerait lieu à des bruits violents et à des ébranlements de conduites, on dispose la tuyauterie comme l'indique la figure 21. La colonne BC s'élève d'abord jusqu'au point haut du sous-sol, directement au-dessus de la chaudière.

La conduite de distribution CD descend ensuite, suivant une pente régulière continue, jusqu'à l'extrémité du bâtiment.

Cette pente doit être aussi forte que possible, au moins 2 à 3 cm. par mètre si les circonstances le permettent, de manière à assurer un écoulement rapide de l'eau condensée de C vers D, et à ne pas gêner la circulation de la vapeur.

C'est sur cette conduite CD que sont raccordées les colonnes verticales telles que G, et les branchements verticaux tels que G', G'', desservant les surfaces chauffantes S, S, S.

Dans ces colonnes et ces branchements, la vapeur s'élève et l'eau descend, les deux fluides circulent donc en sens inverse l'un de l'autre. Aussi est-il utile de leur donner des diamètres relativement importants, et d'observer des pentes convenables, pour éviter les poches d'eau, qui empêcheraient la vapeur d'arriver aux surfaces de chauffe, et aussi pour réduire au minimum les bruits dus au contact brusque de la vapeur et de l'eau, ou tout au moins les clapotements à peu près inévitables. Ces branchements sont de préférence verticaux, ou, si cela est nécessaire, les raccordements sont en pente très rapide ascendante depuis les conduites jusqu'aux surfaces de chauffe.

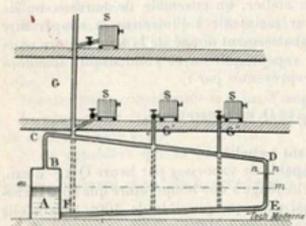


Fig. 21. — Chauffage par la vapeur à basse pression. Schéma théorique du système américain à un seul tuyau.

La conduite principale CD étant arrivée à l'extrémité du bâtiment, descend brusquement en DE, jusqu'au-dessous du plan d'eau *mn* de la chaudière, puis une conduite EF revient en légère pente vers la chaudière, pour ramener les eaux de condensation.

On comprend qu'il doit exister dans la conduite BCDEF et dans les branchements G, G', G'' une perte de charge, provenant des résistances à la circulation, des frottements de la vapeur dans les tuyauteries, les coudes, les téés de branchements, enfin de la condensation même de la vapeur dans les radiateurs. La pression de la vapeur en D est donc inférieure à celle de la chaudière en

A, et, en vertu du principe d'équilibre hydrostatique, cette différence de pression est équilibrée par une colonne d'eau *mn*, dans le tuyau de chute DE.

Pour le bon fonctionnement de ce système, il est indispensable de réduire au minimum la hauteur *x* entre les niveaux *mn* et *nn'*: de là un des principaux inconvénients de ce système, qui nécessite de très grosses tuyauteries de distribution.

On peut, dans une certaine mesure, diminuer ces pertes de charges et ces gros diamètres en mettant en communication les conduites CD et EF au moyen de tuyaux de purge, que les Américains nomment *drips*,

et que nous avons représentés par des lignes ponctuées sur notre dessin (fig. 21). Ces purges ont pour avantage de diminuer la quantité d'eau condensée qui arrivera au point D, et d'en ramener une partie directement dans la conduite EF.

Is permettent aussi, dans certains cas, de remonter la conduite CD, quand sa longueur est importante, et que la pente deviendrait gênante au passage des portes dans le sous-sol (fig. 22).

Néanmoins, les diamètres des tuyaux doivent être toujours très importants.

Le tableau ci-dessous, extrait de notre ouvrage *Le Chauffage des habitations*, donne les diamètres des tuyauteries généralement employés dans ces chauffages. Ces diamètres sont calculés pour une pression de 350 gr. à la chaudière, une vitesse d'écoulement de la vapeur de 8 à 9 m. par seconde, et une perte de charge totale de 150 mm., c'est-à-dire correspondante à une différence de niveau *x* = 150 mm., entre le plan d'eau *mn* de la chaudière et le niveau *nn'* de l'eau dans le tuyau vertical de purge DE, à l'extrémité du circuit.

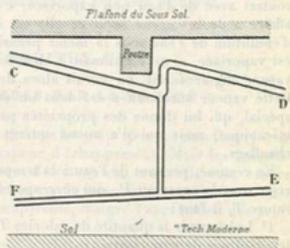


Fig. 22. — Dispositif de purge d'eau [sur la canalisation principale de vapeur (drip)].

**DIMENSIONS CORRESPONDANTES DES TUYAUX, EN DIAMÈTRES COMMERCIAUX.**  
(Ces dimensions sont exprimées en pouces anglais.)

SURFACES de chauffe alimentées (en m²)	DISTANCES DES SURFACES DE CHAUFFE À LA CHAUDIÈRE, en mètres linéaires									
	6 m.	12 m.	25 m.	30 m.	60 m.	90 m.	120 m.	180 m.	300 m.	
1,85	1	1	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	
3,70	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	
5,50	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	
7,50	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	
20	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	
50	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	
55	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
75	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
90	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
110	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
150	2 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	
185	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
260	3 1/2	3 1/2	3 1/2	3 1/2	3 1/2	3 1/2	3 1/2	3 1/2	3 1/2	
335	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
370	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
560	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
750	5 1/2	5 1/2	5 1/2	5 1/2	5 1/2	5 1/2	5 1/2	5 1/2	5 1/2	
1.100	5 1/2	5 1/2	6	6	6	6	6	6	6	

Les diamètres des branchements entre les conduites principales

et les surfaces de chauffe, et ceux des robinets correspondants sont, respectivement :

Pour une surface de chauffe de 2 m <sup>2</sup> et au-dessous.	1 pouce.
— — — 2 à 5 m <sup>2</sup> .	1 1/4 —
— — — 5 à 8 m <sup>2</sup> .	1 1/2 —
— — — 8 à 12 m <sup>2</sup> .	2 pouces.

Ainsi un branchement n'est jamais plus petit que 1 pouce, soit 25 mm., et atteint pour les gros appareils 2 pouces, soit 50 mm., dimensions intérieures.

Les robinets sont toujours du type d'équerre (fig. 23) ou du type à passage direct, ou peet valve (fig. 24), les premiers se plaçant sur les branchements verticaux, et les seconds sur les branchements horizontaux.

Il est facile de comprendre qu'avec le système de chauffage à un seul tuyau il est impossible de faire un réglage de la quantité de vapeur admise dans une surface de chauffe, et que le robinet doit exclusivement être ouvert en grand ou complètement fermé.

En effet, si un robinet n'était ouvert que partiellement, la vapeur passerait par l'orifice étranglé en quantité insuffisante pour remplir l'appareil, elle se détendrait, c'est-à-dire que sa pression diminuerait du côté de la surface de chauffe, et, comme le système doit être for-

mément en équilibre, la pression de vapeur du côté des conduites d'arrivée empêcherait le retour de l'eau de condensation, et la surface de chauffe s'emplirait d'eau.

Ceci pourrait être dangereux pour la chaudière, qui ne serait plus réalimentée par les retours d'eau de condensation, et qui recevrait rapidement un coup de feu capable de la mettre hors de service.

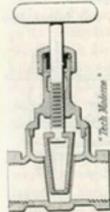


Fig. 24. — Robinet peet-valve à passage direct

Un autre défaut, commun du reste à tous les systèmes de chauffage par la vapeur à basse pression en cycle fermé, est la nécessité de placer sur chaque surface de chauffe, et sur chaque point haut des conduites, un appareil nommé *purgeur d'air*.

En effet, à la mise en route du chauffage les appareils sont pleins d'air, et la vapeur ne pourrait circuler si on ne trouvait pas un moyen pour évacuer cet air, qui formerait de véritables bouchons, sous la pression du système. De même, lorsqu'on ferme un robinet, la vapeur contenue dans la surface de chauffe correspondante, en se condensant, tendrait à produire le vide dans cette surface.

La pression atmosphérique s'exerçant extérieurement sur les joints détruirait rapidement l'étanchéité des appareils; sur le cas donc indispensable de permettre à l'air de rentrer.

Les purgeurs d'air sont, en général, de petits robinets contenant un corps dilatable, qui, aux environs de 100°, vient fermer l'orifice de sortie de ces robinets. Quand la vapeur commence à exercer sa pression sur l'air placé devant elle, cet air s'échappe par l'orifice du robinet; aussitôt que la vapeur arrive, l'obturateur commence à se dilater, et sa dilatation devient maximum quand la vapeur arrive à son contact. A ce moment, l'orifice se ferme. Inversement, quand la vapeur cesse d'arriver, la température baisse rapidement, l'obturateur se contracte, et laisse rentrer l'air par l'orifice démasqué du purgeur.

Tous les purgeurs d'air, malheureusement, sont défectueux, qu'il faut régler fréquemment, parce que le coefficient de dilatation de l'obturateur se modifie assez rapidement : au bout de très peu de temps le purgeur d'air fuit, et laisse échapper une légère buée, avec une odeur fort désagréable de lessive, en même temps qu'une partie de cette buée se condense, et que, périodiquement, une goutte d'eau vient tomber sur le plancher, qu'elle tache d'abord, et finit par pourrir.

Le bilan des défauts du chauffage par la vapeur à basse pression, en cycle fermé à un seul tuyau, peut se résumer ainsi :

1° Très grosses tuyauteries, d'aspect désagréable, en raison de leur volume et des pentes importantes qu'il faut leur donner;

2° Violents bruits, semblables à des coups de marteau, qui finissent par ébranler les conduites et donner naissance à des fuites, quand les canalisations sont mal établies. Avec des installations bien faites, les bruits sont moins importants, mais persistent néanmoins au moment de l'ouverture des robinets, quand la vapeur vient en contact avec l'eau confinée dans les surfaces de chauffe, et qui s'est refroidie pendant la période de repos. En régime normal le bruit disparaît, mais il persiste toujours un léger clapotement assez désagréable;

3° Impossibilité de régler les robinets, qui doivent être entièrement ouverts, ou complètement fermés, de telle sorte qu'une surface de chauffe transmet toujours la quantité maximum de calories, ou ne chauffe plus du tout;

4° Enfin nécessité absolue des purgeurs d'air, avec leurs nombreux défauts.

Ce système de chauffage est peu employé en France, et tend à disparaître même aux Etats-Unis, son pays d'origine.

#### CHAUFFAGE EN CYCLE FERMÉ A DEUX TUYAUX.

Ce chauffage, que les Américains appellent chauffage à vapeur à deux tuyaux, avec retour des eaux condensées *par gravité*, est également originaire des Etats-Unis, où on continue encore à l'employer, bien que, à notre avis, il soit encore plus défectueux que le chauffage à un seul tuyau. Il présente néanmoins l'avantage de supprimer le contact entre la vapeur et l'eau, qui donne lieu à tant de bruits insupportables dans le système précédent. En effet, comme le montre la figure 25, il existe un double réseau de tuyauteries, les unes transportant la vapeur de la chaudière aux surfaces de chauffe, les autres ramenant par gravité, c'est-à-dire par son propre poids, l'eau de condensation à la chaudière.

En comparant la figure 21 avec la figure 25, où nous avons reproduit avec intention les mêmes notations, on retrouvera la même conduite générale de distribution de vapeur BCD, avec le collecteur de retour EF, on verra les branchements G, G', G' alimentant, par les robinets r, r, r, les surfaces de chauffe S, S, S, munies chacune d'un purgeur d'air p, p, p; on remarquera que les pentes sont les mêmes, sauf pour les branchements r, r, r, qui sont en pente directe sur les surfaces chauffantes, au lieu d'être en contre-pente sur les tuyauteries principales. La vapeur se condense dans les surfaces de chauffe, et l'eau de condensation revient par des tuyaux spéciaux g, g', g', qui se raccordent, au-dessous du niveau de l'eau de la chaudière, avec le collecteur général de retour EF.

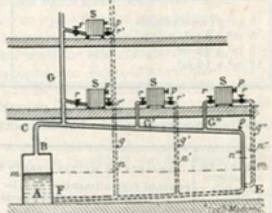


Fig. 25. — Chauffage par la vapeur à basse pression. Schéma théorique du système en cycle fermé à deux tuyaux.



**ULTIMHEAT**, chaque surface de chauffe possède deux robinets, l'un à l'arrivée de vapeur, l'autre sur le branchement de retour d'eau de condensation.

C'est là un des gros défauts du système. Quand on veut arrêter le fonctionnement d'une surface de chauffe, il faut fermer d'abord le robinet placé sur le tuyau de retour d'eau, fermer ensuite le robinet de vapeur, pour éviter la formation du vide, qui aspirerait l'eau des retours et ferait emplir d'eau la surface de chauffe.

C'est là une sujétion intolérable. On a essayé d'y remédier en remplaçant le robinet placé sur le retour d'eau par un clapet de retenue, se fermant automatiquement quand on ferme le robinet d'arrivée de vapeur, mais chacun sait que les clapets sont des organes imparfaits, qu'un grain de sable ou de calcaire empêche de fermer, ou dont la soupape se colle sur le siège et ne s'ouvre plus : le remède est pis que le mal.

Néanmoins, ce système est encore employé souvent en chauffage industriel, parce qu'il est économique d'installation, et ne nécessite aucune disposition spéciale de la chaufferie.

Les robinets sont des types (fig. 23 et 24) ou des soupapes à clapets (fig. 26). Ils doivent toujours être entièrement ouverts, ou complètement fermés, comme dans le système à un seul tuyau, et pour la même raison. Il n'y a donc pas de réglage possible avec ce système.

Les purgeurs d'air sont également indispensables, et c'est encore un gros défaut.

Les tuyauteries sont de diamètres plus réduits.

Les dimensions des tuyauteries de branchements sont, en général, celles indiquées par le tableau ci-dessous :

SURFACES DE CHAUFFE ALIMENTÉES	DIAMÈTRES EN POUCES ANGLAIS des branchements	
	de vapeur	de retour d'eau condensée
4 m <sup>2</sup> et au-dessous.	1 1/4	3/4
4 m <sup>2</sup> à 8 m <sup>2</sup> .	1 1/2	1
8 m <sup>2</sup> à 12 m <sup>2</sup> .	1 3/4	1 1/4
12 m <sup>2</sup> à 16 m <sup>2</sup> .	2	1 1/2

Le tableau ci-après, extrait de l'ouvrage *Le Chauffage des habitations*, indique les diamètres habituels des tuyauteries principales :

DIAMÈTRES EN POUCES ANGLAIS des tuyaux		SURFACES EN MÈTRES CARRÉS DES SURFACES DE CHAUFFE pouvant être alimentées par les tuyaux des deux premières colonnes, à des distances de la chaudière de :									
de vapeur	de retour	30"	60"	90"	120"	150"	180"	210"	240"	270"	300"
1	1	3,50	2,60	2	1,75	1,60	1,46	1,35	1,30	1,25	1,20
1 1/4	1	7	5	4	3,50	3,20	2,80	2,75	2,45	2,35	2,20
1 1/2	1 1/4	11,50	8,50	7,5	5,20	4,60	4,25	4	3,90	3,75	3,50
2	1 1/2	25	18	15	12,50	12,30	10,9	9,25	8,75	8,50	8
2 1/2	2	50	35	30	25	22,50	20	18,50	17,50	17	16
3	2 1/2	85	60	50	40	36	34	32	30	29	28
3 1/2	3	125	90	75	60	54	50	46	44	42	40
4	3	185	130	110	90	82	74	65	62	61	60
4 1/2	3	260	190	150	130	125	115	100	90	87	85
5	3 1/2	360	260	210	180	160	144	135	125	120	115
6	3 1/2	550	390	325	275	250	220	200	190	184	180
7	4	850	600	510	425	380	340	310	300	285	275

Les caractéristiques du chauffage par la vapeur à basse pression en cycle fermé à deux tuyaux sont :

- 1° Grosses tuyauteries, jamais inférieures à 1 pouce, soit 25 mm. de diamètre intérieur ;
- 2° Bruits presque inévitables à la mise en route, dus au contact de la vapeur avec l'eau refroidie, qui s'est confinée dans les surfaces de chauffe après la fermeture des robinets ;
- 3° Nécessité d'avoir deux robinets sur les surfaces de chauffe, et de les fermer à chaque arrêt, sous peine de vider la chaudière ;
- 4° Impossibilité de régler ces robinets, qui doivent être ouverts en grand ou complètement fermés ;
- 5° Enfin nécessité de placer un purgeur d'air sur chaque surface de chauffe.

Ce système est peu employé en France.

CHAUFFAGE DIT « FRANÇAIS » EN CYCLE OUVERT.

C'est encore en Amérique qu'ont été pris les premiers brevets, et faites les premières applications de ce système, dont l'inventeur semble être M. Frédéric Tudor, de Boston, vers 1875.

Mais c'est surtout en Europe, et principalement en France, qu'ont été perfectionnés les principes et les dispositifs d'applications de ce système, qui est maintenant presque seul appliqué, et dont le bon fonctionnement simple, régulier, et automatique, ne nécessitant aucun soin ni aucune surveillance, est la raison principale du développement inouï pris dans ces dernières années par l'industrie du chauffage.

La figure 27 représente schématiquement une installation de chauffage par cette méthode.

A est la chaudière, dont le niveau d'eau normal est représenté par le plan horizontal *mm*.

R est un réservoir d'expansion, ouvert à l'atmosphère, et dont le niveau d'eau maximum est représenté par le plan *nn*, placé au-dessus du plan *mm* à une hauteur P, qui correspond à la pression maximum de marche du système.

C'est dans ce réservoir R que reviendra l'eau de condensation de la vapeur du chauffage, qui rentrera à la chaudière par le tuyau T, raccordé à sa partie inférieure.

Un autre tuyau *t*, branché sur la chaudière à une faible hauteur au-dessous de son plan d'eau normal, la raccorde encore au réservoir d'expansion.

On comprend que ce tuyau *t* joue le rôle de tuyau de sûreté, ou de soupape de sûreté hydraulique, puisque, si la pression de vapeur de la chaudière tendait à s'élever au-dessus de la valeur P, le niveau *nn* s'abaîsserait, le niveau *mm* s'éleverait, et l'orifice du

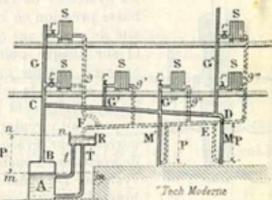


FIG. 27. — Chauffage par la vapeur à basse pression. Schéma théorique du système en cycle fermé à deux tuyaux.

tuyau *t* dans la chaudière devenant découvert au-dessus de *mm*, la vapeur s'échapperait dans l'atmosphère au travers du réservoir d'expansion, jusqu'à ce que la pression soit redevenue normale.

BCD est la tuyauterie de vapeur, en légère pente de C vers D, et sur laquelle sont branchées les conduites G, G', G'', qui alimentent les surfaces de chauffe S, S, S.

EF est la tuyauterie de retour, en légère pente de E vers F, et qui ramène au réservoir d'expansion R les eaux de condensation revenant par les conduites g, g', g''.

La conduite de vapeur CD, et, s'il y a lieu, les colonnes verticales telles que G'', sont en communication avec la conduite de

retour EF par des siphons M, M', dont la hauteur des branches verticales est au moins égale à P, pour ne laisser passer que l'eau provenant de la condensation dans le parcours, sans permettre le passage de la vapeur, qui s'écoulerait dans l'atmosphère et serait perdue, puisque le réservoir R est ouvert à l'air libre.

Pour la même raison, la vapeur ne doit pas pouvoir arriver dans les tuyauteries  $g, g', g'', g'''$ , et les robinets  $r, r', r''$  ne doivent laisser passer dans les surfaces de chauffe S, S, S, S que la quantité de vapeur que celles-ci sont capables de condenser en marche maximum.

C'est là le point délicat du système, et ce qui fait son originalité et son avantage principal.

l'air, qui peut s'échapper à l'atmosphère par le réservoir d'expansion. Cet air peut ensuite revenir par le chemin dans les surfaces de chauffe, lors de l'admission. C'est là un troisième avantage du système, qui ne nécessite pas de purgeurs d'air.

Enfin on remarquera qu'un seul robinet suffit, à l'entrée de chaque surface de chauffe, sans robinet à la sortie, et c'est un quatrième avantage du système.

Ajoutons, comme dernier et cinquième avantage, que la circulation dans le même sens de la vapeur et de l'eau permet de réduire au minimum les diamètres des tuyauteries, comme le montre le tableau ci-dessous, extrait de l'ouvrage *Le Chauffage des habitations* :

DIAMÈTRES en pouces anglais des tuyauteries		SURFACES EN MÈTRES CARRÉS DES SURFACES DE CHAUFFE pouvant être alimentées par les tuyaux des deux premières colonnes, à des distances de la chaudière de :										
de vapeur	de retour d'eau	5 m.	10 m.	20 m.	30 m.	40 m.	50 m.	60 m.	80 m.	100 m.	120 m.	150 m.
1/4	1/4	0,95	0,90	0,80	0,70	0,50						
3/8	3/8	1,55	1,40	1,35	1,30	1,25						
1/2	3/8	2,50	2,40	2,30	2,20	2,10	2	1,90	1,70	1,50	1,30	1
3/4	1/2	5,35	5,25	5,15	5,05	4,95	4,85	4,75	4,50	4,25	4	3,75
1	1/2	10	9,80	9,60	9,40	9,20	9	8,80	8,40	8	7,80	7,20
1 1/8	3/4	16,15	15,95	15,75	15,55	15,35	15,15	14,95	14,65	14,35	14	13,40
1 1/4	3/4	23,75	23,50	23,25	23	22,75	22,50	22,25	21,75	21,25	20,75	20
2	1	37,10	36,80	36,50	36,20	35,90	35,60	35,30	34,70	34,10	33,80	32,90
2 1/2	1 1/4	53,45	53,10	52,75	52,40	52	51,70	51,35	50,65	49	48,25	47,20
3	1 1/2	64,65	64,25	63,85	63,45	63	62,65	62,25	61,55	60,65	59,85	58,65
3 1/2	1 1/2	76,95	76,50	76	75,50	75	74,50	74	73	72	71	69,50
4	2	100	99,50	99	98,50	98	97,50	97	96	95	94	92,50
4 1/2	2	120	119,25	118,50	117,75	117	116,25	115,50	114	112,50	111	108,75
5	2	155	154,20	153,40	152,60	151,80	151	150,20	148,60	147	145,40	143
5 1/2	2 1/2	186	185,10	184,20	183,30	182,40	181,50	180,60	178,80	177,20	175,40	173

Chaque robinet  $r$  est muni d'un double dispositif de réglage. L'un est établi par le constructeur, à la mise en service de l'installation, de manière que, le second réglage étant ouvert en grand, il ne puisse passer dans la surface de chauffe que le volume de vapeur que celle-ci est capable de condenser. On comprend donc que ce premier dispositif n'est pas autre chose qu'un détendeur. La vapeur arrive en avant du robinet avec la pression P, diminuée des pertes de charge dans les tuyauteries. Elle se détend à son passage dans le robinet, et arrive sans pression dans la surface de chauffe. Les tuyauteries étant disposées en pente convenable, l'eau condensée s'écoule par son propre poids, et revient au réservoir R, et de là à la chaudière.

Le second dispositif du robinet est un dispositif de réglage. On peut, et c'est le plus grand avantage du système en cycle ouvert, avoir un robinet muni d'un cadran indicateur, qui gradue depuis le maximum permis par le premier réglage jusqu'à 0 la quantité de vapeur admise, c'est-à-dire la puissance de chauffage de la surface de chauffe.

On remarque, d'après la figure 27, que, sauf dans les colonnes verticales, la vapeur et l'eau de condensation circulent toujours dans le même sens, de légères pentes favorisant cette circulation. Il n'y a donc jamais contact entre la vapeur et l'eau refroidie, et c'est là un second avantage de ce système, qui fonctionne sans bruit, lorsqu'il est bien établi.

La détente de la vapeur produit bien un léger bruissement à son entrée dans la surface de chauffe, mais, avec un bon robinet, à section progressive bien établie, ce bruit est imperceptible. Hétons-nous de dire que la plupart des robinets du commerce sont loin de répondre à ce but, et que les bruits qu'on peut déplorer dans certaines installations établies à bon marché par des constructeurs inexpérimentés doivent leur être imputés.

On peut comprendre facilement aussi que la vapeur, arrivant dans une tuyauterie ou une surface de chauffe, chasse devant elle

## CHAPITRE VIII

### CHAUFFAGE PAR LA VAPEUR À BASSE PRESSION

Nous avons vu dans le chapitre précédent quelles sont les différences de principe entre les chauffages par la vapeur à basse pression :

- 1<sup>o</sup> Chauffage américain en cycle fermé à un seul tuyau;
- 2<sup>o</sup> Chauffage américain en cycle fermé à deux tuyaux;
- 3<sup>o</sup> Chauffage en cycle ouvert à deux tuyaux.

Les deux premiers présentent de tels défauts qu'ils sont à peu près généralement abandonnés en France, et on peut dire que 90 % des chauffages sont exécutés par la troisième méthode.

Les trois systèmes, du reste, comprennent les mêmes organes; de très légères différences de détails dans ces organes seules les différencient.

Quel que soit le système, un chauffage par la vapeur à basse pression comprend :

1<sup>o</sup> Le générateur, dans lequel les calories du charbon sont transmises à l'eau, qui les emmagasine sous forme de chaleur latente contenue dans sa vapeur;

2<sup>o</sup> Les tuyauteries, qui transportent ces calories sous forme de vapeur depuis la chaudière jusqu'aux points où elles sont utiles, et qui ramènent ensuite à la chaudière, pour être vaporisée à nouveau, l'eau provenant de la condensation de cette vapeur, après l'abandon de la chaleur latente, seule utilisée au chauffage;

3<sup>o</sup> Les robinets, qui régissent l'entrée dans les surfaces chauffantes de la vapeur amenée par les tuyauteries;

4<sup>o</sup> Les surfaces chauffantes ou radiateurs, dans lesquelles la vapeur se condense, et qui transmettent aux locaux à chauffer, par radiation et convection, les calories contenues sous forme de chaleur latente, redevenue chaleur sensible.



ULTIMHEAT Des générateurs.

### VIRTUAL MUSEUM

Une étude aussi courte, décrire toutes les chaudières employées au chauffage, elles sont trop nombreuses. Notre intention n'est pas non plus de faire un choix entre elles, et de les ranger dans un ordre de préférence.

Nous conseillons seulement aux industriels de se méfier de celles dont la fabrication ou l'approvisionnement n'est pas organisé en France, de manière à ne pas être à la merci d'un accident qui les obligerait, soit à être privées de chauffage pendant un laps de temps plus ou moins long, soit à être obligés de changer la chaudière entière, d'où résulterait une dépense importante.

Il faut avant tout rechercher le constructeur sérieux, capable de fournir instantanément la pièce de rechange utile.

La sélection ainsi faite, quelles conditions doit remplir une bonne chaudière de chauffage?

Les meilleures, à notre avis, sont les chaudières en tôle, assemblées par rivure, comme les générateurs à haute pression.

Nous restons sur l'expectative en ce qui concerne les chaudières soudées, qu'on peut classer en deux catégories.

Des maisons anglaises vendent en France des chaudières soudées de forge, en tôle très épaisse, et qui semblent à première vue des merveilles de construction. Elles sont en réalité extrêmement mauvaises, car elles ne sont pas réparables. Nous avons l'expérience de chaudières dont la soudure s'est rompue, à la suite d'une gelée, par exemple; il a été impossible de les réparer. A mesure qu'on refaisait le point mauvais avec un poste de soudeuse autogène, le métal se décollait plus loin, sous l'influence de la dilatation que produisait la chaleur de la soudure; il eût fallu ressouder toute la chaudière, dépense extrêmement coûteuse en raison de l'épaisseur des tôles.

Pour les chaudières de construction française, assemblées à la main autogène, nous avons certaines craintes.

Selon l'habileté plus ou moins grande de l'ouvrier, la composition moléculaire du métal au point de soudure n'est pas la même. Nous avons vu des appareils recevant un choc, ou tombant sur le sol, se fendre sur une certaine longueur, absolument comme il se fit agi de fonte. Il est vrai que la soudure autogène est maintenant assez répandue, et que le transport d'un poste de soudeuse est facile; néanmoins, nous n'envisageons encore u'avec un certain scepticisme ces chaudières soudées.

Les chaudières rivées, toujours réparables par un chaudronnier local, sans que l'intervention du constructeur soit nécessaire, oivent certainement être préférées.

Les chaudières en fonte, lancées sur le marché à grand renfort e réclame, ne doivent être employées que dans des cas tout à it particuliers, et quand il serait vraiment trop onéreux de faire s travaux nécessaires à l'introduction d'une chaudière en tôle ans une chaufferie d'accès difficile.

Ces chaudières, composées d'éléments qu'on assemble sûr lace, sont très séduisantes au premier abord. Mais leurs défauts ont multiples.

Tout d'abord, elles contiennent très peu d'eau, et leur surface es condensée, et presque toujours très bien utilisée, donne lieu une vaporisation intense.

Très souvent quelques-unes de leurs sections ne contiennent esque plus d'eau, mais seulement un mélange d'eau et de eur à l'état d'émulsion, et une mauvaise alimentation, un our qui se fait mal, suffit pour produire une rupture, qui met i tout ou en partie la chaudière hors de service.

Si on a dû absolument, par suite de circonstances spéciales, lopter une chaudière en fonte, il faut exiger que les sections muniennent entre elles, en haut et en bas, par des tubulures ; grandes sections; qu'un très gros collecteur à la partie basse, uni d'une grosse tubulure sur chaque élément, et des deux ts de cet élément, ramène l'eau d'alimentation dans chaque

section; enfin qu'un très gros collecteur en haut, branché sur chaque élément, assure individuellement le départ de la vapeur.

Les chaudières à éléments multiples qui ne reçoivent l'eau à la partie basse que par quelques éléments, et qui ne laissent de même partir la vapeur que par quelques éléments, sont dangereuses, et doivent être rejetées. Les sections qui ne sont pas branchées sur le collecteur de retour ne sont pas alimentées que par de l'eau très chaude, souvent déjà émulsionnée, après son passage par d'autres sections: leur alimentation est donc déficiente. Si, de plus, la vapeur qui est produite ne sort pas directement dans un collecteur, et est obligée de traverser d'autres éléments pour s'échapper, l'élément risque de manquer d'eau et de se rompre.

A notre avis, et d'après l'expérience que nous en avons faite à de nombreuses reprises:

1° Les chaudières de chauffage les meilleures sont celles en tôle rivées, de construction analogue aux chaudières à vapeur industrielles;

2° Lorsque les circonstances obligent à faire usage de chaudières en fonte à éléments assemblés, il faut choisir un modèle dans lequel chaque section fonctionne comme une chaudière isolée, c'est-à-dire possède, de chaque côté, une alimentation d'eau à la partie basse, et un départ de vapeur à la partie haute, le tout raccordé, par des tubulures de gros diamètres, avec des collecteurs de sections suffisantes.

Il existe des chaudières répondant à ce programme; les autres doivent être impitoyablement rejetées, elles exposent aux pires ennuis.

Les chaudières à vapeur, en tôle ou en fonte, doivent avoir une production de vapeur régulière; à cet effet, elles doivent être munies d'un magasin de combustible alimentant la grille automatiquement, au fur et à mesure de la combustion, de manière qu'il n'y ait pas d'écarts de pression, qui donneraient lieu à un chauffage irrégulier, puisque, comme nous le montrerons plus loin, les tuyauteries et les robinetteries sont réglées pour une pression donnée.

A ce point de vue, nous n'aimons pas les chaudières dites à grands foyers. Elles peuvent, il est vrai, recevoir à la fois la quantité de charbon qui suffira pendant plusieurs heures.

Mais, quand on vient de faire le chargement, la masse de charbon reste un temps plus ou moins long avant d'entrer en ignition, la pression baisse; quand tout le charbon est rouge, la pression monte brusquement; à une limite que le régulateur est souvent impuissant à modérer; on a vu certaines chaudières se vider par le tube de sûreté, et se rompre quand l'eau revient brusquement après une chute de pression. Un manomètre enregistreur, placé sur une de ces chaudières, enregistre des variations énormes de pression, le chauffage est donc forcément irrégulier.

Ajoutons que la combustion dans ces conditions est loin d'être économique. Lorsque les produits de la combustion traversent une épaisseur de charbon en ignition, il y a manque d'air, et réduction de l'acide carbonique en oxyde de carbone; les chaudières à grands foyers sont donc éminemment des producteurs d'oxyde de carbone.

Or, si on considère que 1 kg. de carbone pur produit 8.080 calories lorsqu'il brûle en acide carbonique, et seulement 2.408 quand sa combustion se fait en oxyde de carbone, on voit quelle énorme perte de calories représente la combustion en oxyde de carbone, et combien il est utile d'examiner avant tout le type de chaudière offert.

Une bonne chaudière, en tôle ou en fonte, doit donc posséder un magasin de combustible tel que l'alimentation de la grille se fasse automatiquement, et que le combustible n'entre en ignition qu'au fur et à mesure de son arrivée sur la grille.

Ce magasin doit être situé en dehors du parcours des gaz chauds, et, si possible, entouré d'eau sur toutes ses faces, pour



éviter que le charbon ne distille, en produisant des gaz dangereux, explosibles, et perdus pour la combustion.

Il doit avoir une fermeture hermétique, de préférence à bain de sable, pour éviter, soit des émanations de gaz dangereux dans la chaufferie, soit des rentrées d'air, qui produiraient, par tirage renversé, une combustion prématurée du charbon dans le magasin.

Ce magasin doit laisser au-dessus de la grille une chambre de combustion de capacité suffisante. On réservera dans cette chambre des entrées d'air directes, qui achèveront la combustion en acide carbonique de la petite quantité d'oxyde de carbone que la marche lente de la chaudière aurait tendance à produire.

Il faut que ces entrées d'air supplémentaires soient elles-mêmes soumises à l'action du régulateur, pour éviter qu'elles ne produisent une marche trop active de la chaudière quand le régulateur l'aura mise à la marche lente.

La capacité du magasin de combustible doit être telle qu'il contienne du charbon pour une marche continue de douze heures, de manière que la chaudière ne nécessite que deux chargements par vingt-quatre heures, et ne s'éteigne pas la nuit.

La surface de la grille doit être très grande, pour que la combustion ne dépasse pas 25 à 30 kg. par mètre carré. La combustion vive, dans les chaudières de chauffage, donne une température élevée, qui fond les cendres et impuretés, et produit sur la grille des galettes de mâchefer, bouchant les passages d'air, et donnant lieu à une combustion irrégulière dont se ressent tout l'ensemble du chauffage.

On obtient de bons résultats avec les grilles à barreaux oscillants, qui permettent un débrassage facile, pourvu que leurs organes mobiles ne soient pas placés en plein feu, de manière à ne pas se détériorer rapidement.

Il est indispensable que le foyer soit placé au centre de la chaudière, et entouré d'une lame d'eau, de manière à profiter de toute la chaleur de rayonnement de la masse incandescente. Les chaudières à foyer extérieur n'utilisent pas cette chaleur du foyer, les gaz partent donc plus chauds à la cheminée, à moins de faire des parours plus longs, de toutes façons le rendement en souffre. Nous préconisons donc les chaudières à foyer intérieur.

Avec ces chaudières, si n'est pas utile de faire circuler les gaz autour du corps extérieur; quand ils ont liché les surfaces intérieures, ou traversé un faisceau de tubes, ils sont suffisamment refroidis pour qu'un retour extérieur n'ait pas un rendement utile. Un bon calorifuge autour de la chaudière aura certainement un résultat au moins équivalent.

Nous croyons utile, toutefois, que ce calorifuge soit appliqué directement sur la paroi même de la chaudière, sans laisser de vide entre lui et cette paroi. Les enveloppes en briques ou autres, placées à quelque distance de la paroi à protéger, sont mauvaises, parce qu'elles favorisent l'action de l'humidité et la production de rouille à l'extérieur, pendant le repos de l'éte.

Ajoutons que toutes les parties mobiles, et en particulier les portes, doivent être extrêmement robustes, car leur position dans le feu et la cendre pendant l'hiver, dans l'humidité et la rouille pendant l'été, les rend particulièrement fragiles.

Il est indispensable que toutes les ouvertures inférieures et les façades soient rigoureusement étanches, rabotées si elles sont en fonte, pour qu'il ne puisse se faire au foyer aucune rentrée d'air autre que celle soumise à l'action du régulateur.

Il faut qu'un dispositif simple, venu de fonte et non démontable, rende solidaires les portes de foyer et de cendrier, pour qu'un chauffeur négligent ne puisse laisser ouverte la porte du cendrier, qui amène une accélération de combustion sans intervention possible du régulateur, sans laisser aussi ouverte la porte du foyer, qui refroidirait et finirait par faire éteindre le feu, si la négligence se continuait.

Ceci est pour nous l'occasion de revenir sur les chaudières en fonte, dont beaucoup sont, à ce point de vue, éminemment insuf-

fisantes. Portes très légères, gonds trop faibles, ouvertures pouvant être laissées ouvertes par négligence, nombre de chaudières, même en tôle, peuvent recevoir ces reproches.

Et nous sommes persuadés que, dans une chaudière en fonte, c'est un chauffeur négligent qui laisse la porte ouverte à son cendrier; une vaporisation intense en résulte, la pression monte, la chaudière se vide par le tube de sûreté, ce qui est rapide en raison du faible volume d'eau, et la chaudière se casse. Inutile de dire que le chauffeur se hâte de refermer sa porte, qu'il nie de toutes ses forces l'avarie laissée ouverte, et qu'on cherche en vain la raison de la rupture.

A qui la faute, sinon au fournisseur de chaudière, qui, par une construction insuffisante, a permis cette négligence.

Tels sont les points sur lesquels nous croyons utile d'appeler l'attention des industriels. Dans un chauffage à vapeur, la chaudière est le seul organe qui consomme le charbon; les radiateurs condensent la vapeur qu'on leur fournit; les tuyauteries, si elles sont enveloppées de calorifuge, ne perdent presque rien. C'est la chaudière seule qui a un rendement, bon ou mauvais.

Répetons donc que, chacun n'ayant un bon ou malin que si l'a payé à sa valeur, il faut savoir choisir sa chaudière et y mettre le prix. Trop d'industriels se sont laissés prendre au bon marché que leur faisaient valoir les maisons à grande publicité, ou les courtiers à la langue déliée : ils ne peuvent s'en prendre qu'à eux. Un prix d'achat ou d'installation se paye une fois pour toutes, tandis qu'un mauvais rendement et un appareil défectueux nécessitent une augmentation journalière de dépense, et une charge fréquemment renouvelée de frais d'entretien, dont la valeur dépasse vite l'économie d'installation qu'on avait fait miroiter à leurs yeux.

Disons un mot encore des puissances de vaporisation. L'allure de marche d'une chaudière doit toujours être modérée, et ne jamais dépasser, en marche accélérée, 15 kg. d'eau vaporisée par mètre carré de surface de chauffe dans les conditions du chauffage, c'est-à-dire avec alimentation en eau revenant aux radiateurs à la température de 70 à 80°. Cette vaporisation doit se tenir à 12 kg. en marche normale.

Ceci revient à dire qu'une chaudière de chauffage doit utiliser de 6.500 à 8.000 calories par mètre carré de surface de chauffe en marche maximum.

Or, il n'est pas rare de voir, dans les catalogues des marchands de chaudières, et principalement de chaudières en fonte, des promesses de rendement de 10.000 à 12.000 calories par mètre carré de surface de chauffe, soit 18,6 à 22 kg. 3 de vapeur.

A ces allures de marche évidemment possibles, et avec les très faibles quantités d'eau contenues dans les chaudières, on observe des entraînements d'eau considérables, dus à l'émulsion intense qui se produit. Il est nécessaire alors d'employer de très gros tuyaux de départ, et des séparateurs d'eau et de vapeur très efficaces, puis de ramener le plus tôt possible à la chaudière l'eau ainsi entraînée.

Si on ne prend pas cette précaution, les canalisations de vapeur s'emplissent d'eau, la vapeur ne circule plus, on entend de violents coups de bélier, et souvent la chaudière se vide brusquement. On remarque surtout ce défaut dans les chaudières à grands foyers, au moment de la pleine intensité du feu, quand tout le combustible destiné à la marche de plusieurs heures est en ignition.

De nombreux cas de rupture de chaudières en fonte n'ont pas d'autre cause, l'expertise ayant montré qu'il n'y avait pas eu réellement manque d'eau, mais que la vaporisation insensée demandée à ces chaudières était telle, jointe à la difficulté de réalimentation des sections, que le mélange de vapeur et d'eau émulsionnée n'était plus suffisant pour refroidir le métal et empêcher une élévation de température, cause de la rupture.

La Société anglaise des Ingénieurs de chauffage a appelé en 1907 l'attention de ses membres sur ce cas, et, dans un rapport très

documentaire, et assez dur pour les fabricants de chaudières, a demandé que les catalogues ne portent plus de ces promesses de vaporisation dangereuses pour les clients mal éclairés.

venue sur la question, à son assemblée générale tenue à Manchester en juillet 1909, et un de ses membres, M. A. H. Barker, a insisté sur ce fait, et proposé une méthode d'expérimentation qui mette fin une fois pour toutes à ces abus.

Il faut donc toujours exiger qu'un constructeur indique, en regard de la puissance de vaporisation qu'il garantit, la surface de chauffe de sa chaudière, toujours vérifiable, de manière à être bien sûr qu'il ne promet pas une vaporisation supérieure à 15 kg. par mètre carré, ou un rendement dépassant 8.000 calories pour la même surface.

Tous les industriels ne sont pas experts en matière de chauffage; il est utile que ceux qui sont incompétents ne soient pas victimes de leur ignorance en cette spécialité.

#### DES ACCESSOIRES DES CHAUDIÈRES.

Les accessoires de sûreté que doivent posséder les chaudières de chauffage ne sont pas obligatoirement les mêmes que ceux des chaudières industrielles à haute pression.

Une circulaire ministérielle du 8 juillet 1903 dispense de la formalité du timbrage et de la surveillance du service des mines les chaudières de chauffage, à la condition qu'elles soient munies d'un dispositif les mettant en communication permanente avec l'atmosphère, par un tuyau d'équilibre à colonne d'eau ne dépassant pas 3 m. de hauteur, c'est-à-dire limitant la pression au maximum de 300 grammes par centimètre carré.

C'est de cette circulaire que part vraiment la possibilité d'installer partout les chaudières de chauffage, sans limitation de volume ni distinction de catégorie, et c'est d'elle aussi que date la prospérité remarquable de l'industrie du chauffage en France.

Les *accessoires de sûreté obligatoires* des chaudières à vapeur à basse pression sont: l'indicateur de niveau d'eau, les robinets de jauge, le manomètre, le tube ou réservoir de sûreté.

Un *accessoire facultatif* aux termes de la loi, mais indispensable en chauffage, est le régulateur de pression.

Le *tube de niveau d'eau*, les *robinets de jauge* sont analogues à ceux des chaudières industrielles; ils peuvent être cependant moins robustes, la pression à supporter étant considérablement moindre.

Le *manomètre* doit être beaucoup plus sensible. Certains constructeurs préconisent les manomètres à mercure, simples siphons en verre à deux branches contenant du mercure, dans lesquels la pression de vapeur arrivant dans une des branches refoule dans l'autre le mercure, qui se déplace sur une échelle graduée indiquant la pression d'une manière très exacte.

Nous ne sommes pas très partisans de ces appareils, bien qu'ils soient très justes, car la plupart sont fragiles, et la rupture du tube de verre entraîne la perte complète de l'appareil et du mercure qu'il contient; en outre, le mercure a l'inconvénient de s'oxyder à la surface, et de nécessiter des visites et remplacements périodiques.

Nous donnons la préférence aux manomètres métalliques, système Bourdon, à grand cadran, avec aiguille excentrée se déplaçant sur un cadran gradué de 100 à 120 mm. de diamètre. Les graduations seront au moins de 5 en 5 cm. jusqu'à 300 grammes. Bien entendu, chaque manomètre devra pouvoir être réglable au moyen d'une clef, de manière à être facilement vérifié chaque année avant la période de chauffage, par comparaison avec un manomètre étalon.

Le dispositif de sûreté prescrit par la circulaire ministérielle du 8 juillet 1903 peut être un simple tuyau branché sur la chau-

dière en un point quelconque, et dont l'extrémité supérieure serait ouverte à l'atmosphère à une hauteur maximum de 3 m. au-dessus du niveau d'eau normal.

Un tel tube pourrait faire craindre qu'un excès de pression momentané ne produisit une émulsion, et que la chaudière ne se vidât instantanément. Aussi les constructeurs ont-ils cherché des dispositifs moins dangereux, tout en restant dans l'esprit de la loi.

La figure 28 représente un de ces dispositifs. Un réservoir de sûreté R est placé au-dessus du niveau d'eau normal  $x-x'$  de la chaudière C, de telle manière que la hauteur P corresponde à la pression maximum de marche que l'on s'est fixée. Un tuyau T fait communiquer ce réservoir avec la partie inférieure de la chaudière, et constitue le *tube de sûreté* prescrit par la loi. Un second tuyau S raccorde le même réservoir à la chaudière, à une faible hauteur au-dessous de son niveau normal  $x-x'$ .

On comprend que si la pression à la chaudière dépasse accidentellement la limite que l'on s'est fixée, l'équilibre hydrostatique établi par la pression normale est rompu, une partie de l'eau de la chaudière est refoulée dans le réservoir R, et le niveau  $x-x'$  s'abaisse; un nouveau niveau  $x'-x''$  s'établit, et se maintient tant que dure l'excès de pression. Aussitôt que la pression redevient normale, l'eau redescend du réservoir d'expansion et le niveau régulier se rétablit. Ce mouvement se produit donc sans perte d'eau.

Si l'augmentation de pression est trop importante, le niveau  $x-x'$  s'abaisse jusqu'à démasquer l'orifice de communication du tuyau S avec la chaudière; la vapeur s'échappe par le tuyau S, se condense d'abord dans le réservoir d'expansion, jusqu'à ce que l'eau qu'il contient soit portée à l'ébullition, puis enfin s'évapore dans l'atmosphère. Cette sortie de vapeur amène rapidement une chute de pression, et l'équilibre se rétablit vite, avec une perte d'eau peu importante.

Certains constructeurs placent sur ce tuyau S un sifflet d'alarme, de manière que le chauffeur soit prévenu de la sortie accidentelle de vapeur, et vienne de suite rétablir l'équilibre.

Le réservoir d'expansion est souvent utilisé comme une bûche, dans laquelle on ramène tous les retours d'eau de condensation, celle-ci rentrant ensuite à la chaudière par l'un des tuyaux S ou T.

On peut encore l'employer pour l'alimentation de la chaudière, quand on ne possède pas de distribution d'eau sous pression permettant un raccordement direct avec les conduites d'eau froide.

#### RÉGULATEURS DE PRESSION ET DE COMBUSTION.

Une chaudière de chauffage doit toujours être complétée par un régulateur de pression très sensible, destiné à proportionner la combustion de charbon à la quantité de vapeur condensée dans les radiateurs.

On comprend qu'il est nécessaire qu'il y ait toujours équilibre entre le poids de vapeur que condensent les radiateurs, étant donné le degré d'ouverture de leurs robinets, et le poids de vapeur vaporisé par la chaudière. Si la vaporisation est trop importante, la pression tend à augmenter; c'est à ce moment que doit intervenir le régulateur pour diminuer la combustion, et par suite la puissance de vaporisation.

En général, on fait agir le régulateur sur l'orifice qui permet l'entrée de l'air sous la grille. Il est bien évident que s'il arrive moins d'air, la combustion diminue.

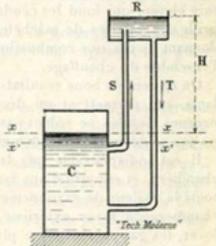


Fig. 28. — Chauffage par la vapeur à basse pression. Théorie du réservoir d'expansion et de sûreté.



Mais l'obturation de la prise d'air n'est pas toujours suffisante. Si le tirage est très bon, l'étranglement ne se faisant qu'en mince paroi, la vitesse augmente au passage, et le volume d'air ne diminue pas.

Il est indispensable que le régulateur agisse en même temps sur le tirage de la cheminée.

Certains constructeurs se bornent à ouvrir une introduction d'air dans la cheminée, en même temps qu'ils réduisent l'entrée d'air sous la grille. Cette introduction d'air dans la cheminée se fait soit directement, au moyen d'une chaîne commandée par le régulateur, qui entraîne un registre, soit indirectement, au moyen d'une mince et légère lame de tôle équilibrée, que la dépression de la cheminée déplace.

Cette méthode n'est pas parfaite, à notre avis, parce qu'elle coupe le tirage de la cheminée, qui peut être ensuite assez longtemps avant de se rétablir, ce qui peut donner lieu à des refoulements de gaz dans la chaudière, ou à des explosions de gaz détonants dans la boîte à fumée de la chaudière.

La meilleure disposition, croyons-nous, consiste à étrangler le passage de fumée de la chaudière à la cheminée, comme on a étranglé l'entrée de l'air sous la grille. Il ne faut pas, du reste, que ces deux opérations soient simultanées, il faut qu'elles soient successives, l'entrée d'air sous la grille étant fermée quelques instants avant la cheminée, de manière à empêcher une production de gaz détonants au pied de la cheminée. Il faut aussi que la cheminée ne soit jamais complètement obstruée, et que de petits crans dans l'obturateur laissent toujours un passage permanent, pour éviter des refoulements de gaz dans la chaudière. Cette méthode laisse toujours une dépression dans la cheminée, elle ne coupe jamais le tirage; nous la considérons comme infiniment supérieure à la précédente.

Les types de régulateurs sont excessivement nombreux, on peut presque dire qu'il y en a autant que de constructeurs; mais on peut les ranger en deux catégories distinctes : les régulateurs à membranes, et les régulateurs à tube manométrique.

La figure 29 montre la disposition schématique d'un régulateur à membrane. La pression de la chaudière agit, par l'intermédiaire d'un siphon d'eau, sur une membrane déformable (en caoutchouc, en métal écroui ou plissé), placée entre deux calottes hémisphériques.

Suivant que la pression est plus ou moins élevée, la membrane se déforme plus ou moins, et ses déformations se transmettent, par l'intermédiaire d'une tige verticale, à un levier horizontal, articulé sur un axe, et sur lequel se déplace un contrepoids. A ce levier sont attachées deux chaînes qui vont agir sur l'entrée d'air et sur la cheminée.

On comprend que l'on peut, en déplaçant le contrepoids sur le levier, déterminer l'effort pour lequel ce levier se lèvera, et par suite la pression pour laquelle la chaudière est réglée.

On fait à ces régulateurs le reproche d'être peu sensibles, et d'avoir des membranes qui se détériorent. En réalité, ces reproches sont peu fondés. Si le caoutchouc est de bonne qualité, si le levier est bien équilibré, avec des articulations se faisant au moyen de couteaux et de coussinets en bronze, pour éviter la rouille, ces régulateurs sont très suffisants, et valent autant que les autres. Ils ont le grand avantage de la simplicité et du bon marché; la membrane peut durer plusieurs années, son prix est modeste, et elle peut être remplacée en quel-

ques minutes par n'importe quel ouvrier, sans aucun outillage.

Les régulateurs à tubes manométriques se font à peu près en deux dispositions variables suivant le liquide employé.

Les dispositions sont innombrables, mais se ramènent toutes au schéma de la figure 30.

On voit que c'est un siphon, dont l'une des branches reçoit la pression de la vapeur, pendant que dans l'autre branche se meut un flotteur qui agit sur un levier équilibré, commandant par des chaînes les clapets de l'entrée d'air et de la cheminée.

Il suffit de faire varier la longueur de la chaîne, ou de déplacer un contrepoids sur le levier, pour régler la pression de marche à laquelle fonctionnera l'appareil.

Les inconvénients de ces régulateurs résident dans les articulations et dans le liquide. On peut, dans une certaine mesure, remédier aux défauts des articulations, comme pour les régulateurs à membranes; il existe même des régulateurs qui fonctionnent sans articulations.

Mais il est impossible de supprimer les défauts du liquide. S'il s'agit d'eau, il faut employer un dispositif maintenant le volume constant, et faire des vérifications fréquentes. Si c'est du mercure, il s'oxyde à la surface, se charge des poussières de la chaudière; il faut le remplacer périodiquement, et c'est une dépense relativement importante.

Les régulateurs de l'un et l'autre type sont nombreux sur le marché français; chaque constructeur a le sien.

Nous conseillons aux industriels de se méfier des régulateurs grossiers livrés avec certains modèles de chaudières étrangères, dont beaucoup donnent de sérieux déboires.

## LES TUYAUTERIES.

Nous dirons peu de chose des tuyauteries, cette question étant familière à tous les industriels. On sait que l'augmentation du cuivre, d'une part, a presque complètement supprimé l'emploi des tuyauteries en cuivre, et que, d'autre part, les perfectionnements apportés à la fabrication des tubes en fer ont généralisé l'emploi de ces derniers.

Il faut néanmoins apporter une attention toute spéciale à la qualité des tubes fournis, ne pas accepter les tubes à gaz que cherchent à employer les constructeurs peu scrupuleux, et exiger des tubes épais, qualité vapeur, soudés par recouvrement, et non par rapprochement.

Ces tuyaux sont assemblés par manchons, coudés, tés, pièces de raccords diverses, au moyen de filetages et de taraudages.

On formait autrefois le joint par addition d'écrous aux extrémités des pièces de raccords. Depuis une quinzaine d'années, on emploie le système des filetages coniques. L'extrémité du tuyau est fileté en forme de cône à génératrice peu inclinée sur l'axe; la pièce de raccord est taraudée suivant la génératrice analogue; il suffit de serrer à bloc le tuyau dans la pièce, après avoir passé dans les filets un peu de cire délayée très clair ou un liquide antirouille, pour obtenir un joint parfait, sans interposition de filasse ni de contre-écrou.

L'introduction relativement récente des pièces de raccord en fonte malléable donne un cachet tout particulier à ces tuyauteries en fer. Malheureusement, la fabrication des raccords de tuyauteries en fonte ou en fonte malléable est à peine organisée en France, et nous sommes sur ce point tributaires des étrangers, Américains, Allemands et Suisses, qui font un gros chiffre

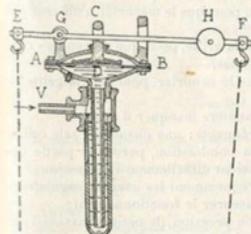


Fig. 29. — Régulateur automatique de pression à membrane.

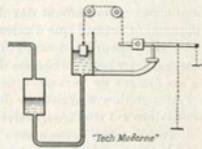


Fig. 30. — Régulateur automatique de pression à siphon d'eau ou de mercure.



d'affaires, certainement plus d'un million de francs par an, avec les maisons françaises.

**VIRTUAL MUSEUM** offrirait certainement une réelle source de profits, si on pense que ces articles en fonte sont grévés d'un droit de douane de 24 francs par 100 kg. au tarif de la nation la plus favorisée.

Certains constructeurs font grand bruit depuis quelque temps de l'emploi de tuyauteries en acier, soudées sur place, bout à bout, par les nouveaux procédés de soudure autogène. Ces tuyauteries ont l'avantage de supprimer les joints, et, par suite, les chances de fuites. Il convient d'être très prudent de ce côté, car les tuyauteries en acier employées, excessivement minces, donneront certainement des déboires dans l'avenir. Il est scientifiquement prouvé que l'acier se comporte mal pour les circulations de vapeur et d'eau, et on a trouvé, en Amérique, des conduites d'acier percées comme des écumoirs, après seulement cinq ou six années de service. Une communication présentée en 1909 à l'Association américaine des Ingénieurs de chauffage et de ventilation est très instructive à ce sujet.

L'avenir nous renseignera sur cette question, mais il nous semble très prudent, pour le moment, de rester sur l'expectative, et de ne pas élargir trop brusquement l'expérience de ces tuyaux en acier.

#### LES SURFACES CHAUFFANTES.

Les surfaces lisses, composées de tuyaux en fer, en acier, en tôle soudée, brasée ou rivée, sont connues depuis longtemps, mais sont relativement coûteuses. La maison Simon, de Saint-Dié, semble avoir été, en France, le précurseur des tuyauteries brasées, en tôle, dont elle et ses successeurs ont fait de nombreuses et fort importantes installations pour les chauffages d'usines, et principalement des filatures. Il convient de laisser ces surfaces coûteuses pour les chauffages à vapeur à haute pression, et d'employer des appareils plus économiques pour les chauffages à basse pression.

La préférence peut être donnée, dans les chauffages industriels, aux *tuyaux à ailettes*, qui existent en fonderies sous les formes et les dimensions les plus variées. Ces surfaces sont suffisamment connues pour n'avoir pas besoin d'être décrites. Disons seulement que, avec les procédés de moulage mécanique, ce sont des merveilles de fonderie, en même temps que de bon marché.

On fabrique en France, depuis une dizaine d'années, mais surtout depuis quatre ou cinq ans, des appareils nommés *radiateurs*, qui sont excessivement commodes et relativement peu coûteux. Ces radiateurs sont en fonte, composés de sections de 0<sup>m</sup>,40 à 1<sup>m</sup>,25 de hauteur, juxtaposées et assemblées en nombre variable, au moyen de bagues biconiques filetés, pour former la surface de chauffe nécessaire à chaque appareil.

Les radiateurs sont unis, ou ornés de moulures venues de fonte; toujours très simples, très faciles à nettoyer, peu encombrants. Leur puissance de condensation correspond à près de 2 kg. de vapeur par mètre carré de surface de chauffe. Leur emploi doit être préconisé partout où la question d'hygiène prime la très faible différence de prix avec les tuyaux à ailettes.

Les tuyaux à ailettes et les radiateurs sont universellement connus; il serait superflu d'en parler davantage.

#### LES ROBINETS DE RÉGLAGE.

Le réglage de la quantité de vapeur qui doit être introduite dans chaque surface à ailettes ou dans chaque radiateur, en proportion juste suffisante pour y être entièrement condensée, est excessivement délicat, et nécessite une précision absolue.

On peut dire sans crainte d'être démenti que les mauvais fonctionnements de tant d'installations, exécutées par des gens incompé-

tents, provient souvent des mauvais robinets dont ils ont fait usage.

Si le réglage n'est pas précis, si l'on passe de la vapeur dans les tuyaux de retour, on voit les radiateurs chauffer, même après la fermeture des robinets, on entend des claquements et des bruits fort désagréables, dus au contact de l'eau refroidie avec la vapeur; enfin, la vapeur s'échappe dans l'atmosphère par le réservoir d'expansion ou les tuyaux d'évents, et ce sont autant de calories perdues, autant de risques de brûler la chaudière, si on ne la réalimente pas souvent, autant de chances d'incrustations, dues à cette addition d'eau fréquente.

Il existe une douzaine d'excellents robinets; les industriels doivent les examiner avant l'emploi, se faire expliquer leur mode de fonctionnement, exiger que le réglage puisse se faire pour des écarts d'ouverture excessivement petits, et non pas de demi-tour en demi-tour, comme avec certains robinets allemands à cadrans.

Avec un bon robinet, on doit pouvoir régler l'admission de la vapeur dans un radiateur, section par section; on doit, quand le robinet est entièrement ouvert, constater qu'on peut tenir la main sur le tuyau de retour d'eau condensée à son départ du radiateur, et la dernière section du radiateur ne doit pas être chaude jusqu'en bas.

Si le tuyau de retour est chaud à ne pouvoir le toucher, c'est que le robinet est mal réglé. Si le réglage ne peut être mieux fait, c'est que le robinet est mauvais, il faut en exiger le changement.

Robinet à pointeau, robinet à orifices jaugés, régleurs à boisseaux cannelés, régleurs à obturateur se déplaçant verticalement devant la lumière rectangulaire d'un boisseau creux, etc., peu importe. L'essentiel est d'exiger que le mouvement de l'organe régleur soit indépendant du mouvement de l'organe de fermeture. Tous les robinets dans lesquels cette condition n'est pas remplie sont mauvais et doivent être rejetés.

#### SOINS À DONNER AUX CHAUDIÈRES.

En hiver, la conduite d'une chaudière est très simple.

Remplir le magasin de combustible, quand c'est nécessaire;

Bien dégrasser la grille, pour que le mâchefer n'obstrue pas les passages de l'air;

— Bien nettoyer le tour de la grille, pour que les cendres et le mâchefer n'adhèrent pas au métal;

— Maintenir de l'eau dans le cendrier, pour que la grille ne fonde pas;

— Ne jamais laisser la chaudière manquer d'eau;

— Faire des ramonages fréquents; une chaudière sale utilise mal la chaleur des gaz de la combustion, perd une partie des calories dans la cheminée, se tient difficilement en pression;

Nettoyer et graisser fréquemment les axes de régulateurs et les robinetteries, pour en assurer le fonctionnement;

— Faire périodiquement, en pression, de petites chasses d'eau pour débarrasser la chaudière des boues, qui finiraient à la longue par devenir incrustantes, sans exagérer toutefois, car il y a intérêt à se servir toujours de la même eau, puisque c'est de l'eau distillée.

C'est pendant la période d'été, dans la poussière et l'humidité des sous-sols, que les chaudières se détériorent le plus; c'est sur leur entretien, pendant cette période de repos, que nous appelons principalement l'attention des industriels.

Une chaudière doit être ramonnée, nettoyée et mise en état aussitôt l'arrêt du chauffage. Il faut ramoner très soigneusement les suies, souvent sulfureuses, et qui pourraient devenir sulfuriques sous l'action de l'humidité, et attaquer le métal. On doit déposer la grille, gratter soigneusement l'intérieur du foyer et du cendrier, principalement les parties en contact avec le sol, enlever l'eau du cendrier, passer à la brosse métallique et à l'écouvillon toutes



les parties intérieures. Le tout sera ensuite, y compris les tubes si la chaudière est tubulaire, revêtu d'une couche de goudron passé à chaud sur toutes les surfaces intérieures du foyer. L'extérieur sera peint, les robinetteries seront graissées, les régulateurs nettoyés et huilés.

La chaudière sera vidée, détamponnée, grattée, lavée et rincée; puis les joints seront refaits, et la chaudière remplie d'eau jusqu'aux soupapes.

Les chaudières, même en tôle mince, traitées de cette manière, feront un long usage. Nous en connaissons qui fonctionnent depuis quinze à dix-huit ans, et qui fonctionneront encore longtemps, car elles ne présentent aucune trace d'usure ni même de fatigue.

## CHAPITRE IX

### CHAUFFAGE DE L'USINE TYPE PAR LA VAPEUR A BASSE PRESSION

Nous avons vu que l'usine considérée représentée, en marche continue, une perte horaire de 753.645 calories par les parois et la ventilation. (Voir p. 10.)

Ce chiffre total de calories représenté, si on veut chauffer par la vapeur à basse pression :

Poids de vapeur à basse pression à condenser par heure :

$$\frac{753.645}{537} = 1.403 \text{ kg.}$$

Surface de chaudière, à raison de 15 kg. de vapeur par mètre carré de surface de chauffe :

$$\frac{1.403}{15} = 93^{\text{m}^2},50.$$

Poids d'antracite à brûler, en comptant un rendement de 4.800 calories transmises par kilogramme d'antracite :

$$\frac{753.645}{4.800} = 157 \text{ kg environ.}$$

Surface de grille, à raison de 30 kg. de charbon par mètre carré et par heure :

$$\frac{157}{30} = 5^{\text{m}^2},25.$$

Section de cheminée, 1/8 de celle de la grille, pour une hauteur de 25 m. :

$$\frac{5,25}{8} = 0^{\text{m}^2},65625$$

Ce qui correspond à un diamètre de 0<sup>m</sup>,915.

On remarquera, avant tout calcul, que la ventilation demandée est très importante :

Atelier	7.234 m <sup>3</sup>
Bâtiment d'Administration :	
4.140 + 3.000 + 2.700 + 2.700	12.540 m <sup>3</sup>
Bâtiment du Réfectoire et Lavabos :	
2.250 + 662 + 3.960.	6.872 m <sup>3</sup>
Soit au total.	26.646 m <sup>3</sup>

Ce volume est excessivement important, et justifierait l'emploi d'une ventilation mécanique, que nous étudierons séparément; nous admettrons ici pour mémoire une ventilation naturelle, bien qu'elle soit assez défectueuse en l'espèce, et probablement insuffisante.

#### Étude des chaudières.

La surface totale des chaudières est donc de 93<sup>m</sup>²,50.

Pour ne pas avoir affaire à de trop grosses unités, nous emploierons plusieurs générateurs.

Nous remarquerons tout d'abord :

1° Que le grand atelier représente 449.900 calories;

2° Que les deux magasins d'exposition représentent ensemble 34.915 + 25.735 = 60.650 calories;

3° Que les bureaux, réfectoire, lavabos, représentent ensemble : 243.095 calories.

Les locaux industriels, atelier et magasins d'exposition, représentent donc les deux tiers du chauffage, tandis que les bureaux ne représentent qu'un tiers.

Il semble logique d'admettre qu'on emploiera trois chaudières égales, groupées sur un même collecteur, de manière à n'en mettre en service qu'une seule, au commencement et à la fin de l'hiver, quand la température extérieure ne sera pas très basse, et que le chauffage des bureaux seul pourra être étendu.

Nous dirons donc que nous emploierons trois chaudières de chacune 32 m<sup>2</sup> de surface de chauffe, dont le total, 96 m<sup>2</sup>, répond largement aux besoins.

Le type de chaudière peut être choisi parmi les nombreux modèles actuellement en usage en France. Pour notre part, nous donnons toujours nettement la préférence aux chaudières en tôle, verticales, tubulaires, à magasin de combustible central pour fonctionnement continu.

La figure 31 représente le type et les proportions du modèle que nous conseillons :

Diamètre extérieur de la chaudière	1 <sup>m</sup> ,75
Hauteur de la chaudière proprement dite	2 <sup>m</sup> ,65
Hauteur totale compris boîte à fumée.	3 m.
Hauteur du niveau d'eau.	2 <sup>m</sup> ,30
Diamètre intérieur du foyer et de la grille.	1 <sup>m</sup> ,60
Hauteur du sol au-dessus de la grille.	0 <sup>m</sup> ,35
Hauteur de la grille au ciel du foyer	0 <sup>m</sup> ,75
Nombre de tubes de 59/65.	120
Longueur des tubes.	1 <sup>m</sup> ,55
Hauteur de la partie mouillée des tubes.	1 <sup>m</sup> ,20
Diamètre du magasin de combustible	0 <sup>m</sup> ,60
Hauteur totale du magasin.	2 <sup>m</sup> ,10
Capacité du magasin	0 <sup>m</sup> ³,600
Surface de chauffe : Foyer.	1 <sup>m</sup> ²,55
— Ciel de foyer	1 <sup>m</sup> ²,40
— Tubes (partie mouillée).	29 <sup>m</sup> ²,40
— Total	32 <sup>m</sup> ²,35

*Observation :* La partie supérieure des tubes et la plaque tubulaire supérieure ne sont pas comptées comme surfaces de chauffe, et servent seulement comme sècheurs de vapeur.

Poids total de la chaudière, y compris grille, portes, boîte à fumée. Environ 3.000 kg.

On remarquera dans la figure 31 les dispositions spéciales de cette chaudière, qui sont indispensables pour assurer la sécurité du fonctionnement automatique, et qu'il faut absolument exiger des constructeurs.

1° La chaudière est en tôle rivée, absolument comme un générateur à haute pression. En cas d'avarie, elle sera donc réparable par n'importe quel chaudronnier, sans qu'il soit nécessaire d'avoir recours au constructeur;

2° Le foyer est entouré d'eau, donc parfaite utilisation de la chaleur de rayonnement;

3° La surface de grille correspond à une combustion de moins de 30 kg. par mètre carré en allure maximum, d'où régularité de marche, et minimum de production de mâchefer, qui empêcherait le passage de l'air et nécessiterait de fréquents décroissages;

4° Le magasin de combustible contient une réserve de charbon pour deux heures de marche à l'allure maximum; il est placé au centre de la chaudière et entouré d'eau, son couvercle est à fermeture étanche à bain de sable, dispositions qui empêchent toute combustion avant l'arrivée sur la grille. Enfin, une couronne de fonte prolonge ce magasin à la partie inférieure, laissant une chambre de combustion ample au-dessus du cône de charbon;





ailettes, et, en raison du volume d'air à évacuer, nous continuerons chaque purge au moyen d'un purgeur automatique genre Heintz, ou équivalent, placé à l'extrémité, en avant de la purge d'eau.

Au contraire, les bureaux, le réfectoire et le lavabo, seront chauffés par le système en cycle ouvert, avec robinets à jauges,

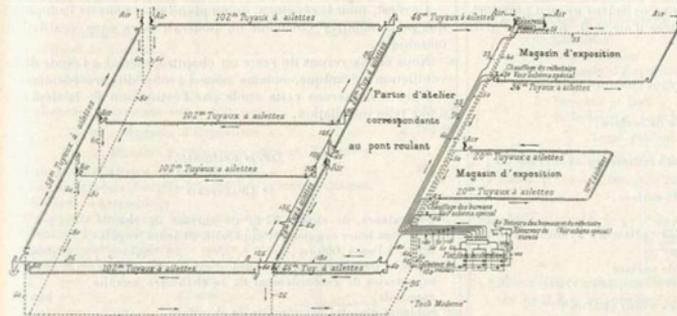


Fig. 32. — Schéma du chauffage par la vapeur à basse pression de l'usine type (Atelier et magasins d'exposition).

ce qui permettra de graduer à volonté, par la manœuvre des robinets, le chauffage de chaque appareil.

On fera partir directement de la chaudière une conduite de vapeur pour chaque groupe de locaux chauffés; il y aura donc cinq prises de vapeur, une pour l'atelier, deux pour les magasins d'exposition, une pour les bureaux, une pour le réfectoire et le lavabo.

Les figures 32 et 33 représentent schématiquement les tuyauteries et appareils de chauffage des divers groupes.

Le schéma (fig. 32) se rapporte spécialement au chauffage des ateliers et des magasins d'exposition.

On voit que le collecteur principal du grand atelier se subdivise en branchements successifs alimentant six lignes de surfaces à ailettes; des coudes de dilatation en cuivre rouge, ou des joints d'expansion à coulisse, sont prévus sur les longues parties droites, aussi bien de tuyauteries que de surfaces à ailettes.

Toutes les tuyauteries sont portées, comme les surfaces à ailettes, par des colliers à rouleaux, soit suspendus sous les fermes, soit à scellements dans les murs, de manière à pouvoir se dilater librement.

L'entrée de vapeur se fait à une extrémité par un robinet, qui permet simplement la mise en service ou l'arrêt. A la sortie, un purgeur automatique, placé verticalement, et ouvert à l'atmosphère, assure l'évacuation de l'air, pendant que le tuyau de retour descend presque au niveau du sol, pour se raccorder au collecteur général des retours, placé au-dessous du plan d'eau de la chaudière.

Les surfaces à ailettes sont calculées avec un coefficient de transmission de 550 calories par mètre carré, ce qui donne une surface totale de :

1° Pour le grand atelier :

$$\frac{449,900}{550} = 818 \text{ m}^2,$$

soit un développement de 614 mètres linéaires de tuyaux à ailettes ;

2° Pour le magasin d'exposition sous les bureaux :

$$\frac{34,915}{550} = 64 \text{ m}^2,$$

soit 50 m. linéaires à ailettes ;

3° Pour le magasin d'exposition sous le réfectoire :

$$\frac{25,735}{550} = 47 \text{ m}^2,$$

soit 36 mètres linéaires à ailettes.

Les tuyauteries seront calculées par la formule du professeur Carpenter (2), conformément à la méthode américaine. On peut admettre qu'avec ces diamètres, et avec les longueurs développées des circuits, la perte de charge maximum sera de 300 à 400 mm. d'eau aux points extrêmes, c'est-à-dire que le niveau de l'eau dans les conduites de retour s'élèvera au maximum à 0<sup>m</sup>.40 au-dessus du plan d'eau de la chaudière, disposition qui donnera toute sécurité, le volume d'eau ainsi refoulé étant peu important par rapport au volume de l'eau contenue dans les chaudières.

Le schéma (fig. 33) se rapporte spécialement au chauffage des bureaux, ainsi qu'à celui du réfectoire et du lavabo. Ce chauffage sera réalisé par la méthode en cycle ouvert, chaque radiateur étant muni à l'entrée d'un robinet à orifice jaugé et à volant de réglage, qui permet d'en proportionner la puissance de transmission en suivant les fluctuations de la température extérieure.

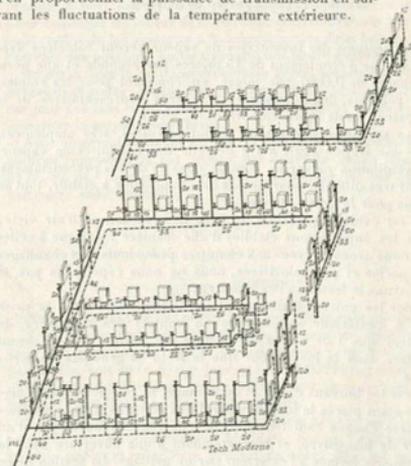


Fig. 33. — Schéma du chauffage par la vapeur à basse pression de l'usine type. (Hall et bureaux.)

La canalisation de distribution de vapeur passera au plafond des magasins d'exposition, avec une pente descendante depuis le point haut, au départ, jusqu'aux points extrêmes, où des siphons collecteront l'eau de condensation, qui sera ramenée dans la conduite des retours.

(1) Le Chauffage des Habitations. p. 232 (Dunod et Pinat, éditeurs).



Le retour suivra le même chemin, avec une pente descendante depuis les points extrêmes jusqu'au réservoir ; et reviendra par les mêmes tuyauteries ; nous disposerons en outre quelques tuyaux d'évents sur le parcours.

Les radiateurs, du type lisse, seront calculés avec un coefficient de transmission de 900 calories par mètre carré. Le calcul théorique permettra d'employer un coefficient un peu plus fort, mais il faut tenir compte de la purge d'air, qui, avec une telle disposition, n'est jamais complète.

Nous aurons ainsi :

1° Pour le hall, 14 radiateurs ayant chacun :

$$\frac{52.850}{14 \times 900} = 4^m,20 \text{ de surface;}$$

2° Pour les bureaux (1<sup>er</sup> étage), 23 radiateurs ayant chacun :

$$\frac{1.805}{900} = 2 \text{ m}^2 \text{ de surface;}$$

3° Pour les bureaux (2<sup>e</sup> étage), 23 radiateurs ayant chacun :

$$\frac{3.482}{900} = 3^m,90 \text{ de surface;}$$

4° Pour le réfectoire, 4 radiateurs ayant chacun :

$$\frac{13.825}{4 \times 900} = 3^m,90 \text{ de surface;}$$

5° Pour les lavabos, 12 radiateurs ayant chacun :

$$\frac{54.895}{12 \times 900} = 5^m,20 \text{ de surface.}$$

Les sections des tuyauteries de vapeur seront calculées avec une vitesse d'écoulement de 15 mètres par seconde et une perte de charge de 0,0007 par mètre, en comptant pour les coudes, téés, robinets, des longueurs en mètres représentatives de la résistance qu'ils représentent.

Les tuyauteries de retour seront calculées, très amplement, avec une section égale à 1/2 de celle des conduites de vapeur. La ventilation naturelle, comme nous le disons précédemment, serait très difficile, pour ne pas dire impossible à établir, tout au moins pour le grand atelier.

Il est évidemment facile de faire des évacuations d'air vicié ; nous les supposons établies d'une manière identique à celles que nous avons prévues aux chapitres précédents des chauffages par poêles et par calorifères, nous ne nous répéterons pas, et renvoyons le lecteur à ces chapitres.

Pour les entrées d'air pur, il est indispensable que la prise faite à l'extérieur soit amenée au contact des radiateurs, de manière que l'air s'échauffe le long des parois chaudes avant d'entrer dans le local, pour que le froid ne gêne pas les occupants.

Pour les bureaux du 1<sup>er</sup> et du 2<sup>e</sup> étage, le réfectoire, les radiateurs étant placés le long des parois extérieures, nous placerons derrière chaque radiateur une bouche réglable au moyen d'un levier de manœuvre, et correspondant à une ouverture dans la maçonnerie fermée à l'extérieur par un grillage. La section de ce conduit sera calculée à raison de 0<sup>m</sup>,50 à 1 mètre de vitesse de passage par seconde.

Pour les radiateurs du hall et des lavabos, qui ne sont pas placés contre les parois extérieures, nous mettrons les bouches réglables au-dessous des appareils, et l'air sera amené par des conduits réservés dans l'épaisseur du plancher ou suspendus en dessous au plafond des salles d'exposition.

Ces dispositions seraient impossibles dans le grand atelier et dans les salles d'exposition, puisque les nécessités de l'instal-

lation nous ont obligés à placer les surfaces de chauffe en élévation. Quoiqu'il nous fassions, la ventilation sera gênante au point de vue des entrées d'air. Le moins mauvais consistera à mettre des vitres perforées dans les parties inférieures des fenêtres. Ces vitres ont pour résultat de diviser les courants d'air entrant en une infinité de petits jets, qui s'épanouissent dans le cône de la perforation et pénètrent sans vitesse dans le local.

Ce n'est, nous le répétons, qu'un pis aller, et nous ne l'adoptons que pour montrer comment on pourrait faire sans ventilation mécanique.

Nous consacrerons du reste un chapitre spécial à l'étude de la ventilation mécanique, comme nous l'avons dit précédemment.

Nous terminerons cette étude par l'estimation de la dépense d'une telle installation.

*Devis estimatif.*

1<sup>o</sup> CHAUFFERIE.

3 générateurs, de chacun 32 m <sup>2</sup> de surface de chauffe, avec tous leurs organes et appareils, et leurs régulateurs, à l'un 4,000 fr. . . . .	12,000 fr.
Réservoir de sûreté, séparateurs d'eau et de vapeur, tuyauteries de raccordement de la chaudière auxdits appareils. . . . .	800 "
6 robinets d'arrêts des circuits de chauffage. . . . .	500 "
Raccordements de fumée des 3 générateurs à la cheminée, avec portes de nettoyage, lesdits en tôle de 3 mm. d'épaisseur. . . . .	400 "
Socle en maçonnerie de la cheminée . . . . .	200 "
Cheminée en tôle noire de 5 et 4 mm. d'épaisseur, diamètre 0 <sup>m</sup> ,95, hauteur 25 mètres . . . . .	2,800 "
Enduit calorifique en composition de Kiesselguhr avec toile métallique sur les chaudières, réservoirs, séparateurs, tuyauteries et départs de fumée, environ 70 m <sup>2</sup> . . . . .	900 "
Outilsage et accessoires divers. . . . .	100 "
Passerelle et escaliers d'accès pour chargement des générateurs . . . . .	300 "
<b>Total : Chaufferie. . . . .</b>	<b>18,000 fr.</b>

2<sup>o</sup> GRAND ATELIER.

307 tuyaux à ailettes de 2 mètres de long, modèle n° 1 à 20 fr. . . . .	6,150 fr.
18 brides et joints d'extrémités, 290 joints intermédiaires, boulons d'assemblage. . . . .	400 "
Supports à rouleau permettant la dilatation : 180 avec consoles et scellements, pour les tuyaux à ailettes placés le long des murs . . . . .	900 "
100 avec colliers de suspension aux fermes . . . . .	600 "
7 robinets d'admission de vapeur de 70 mm. . . . .	350 "
7 purgeurs automatiques servant de purgeurs d'air, avec leurs contrebrides, joints, boulons . . . . .	150 "
Tuyauteries en fer, joints à brides, compris tous cintrages, tubulures et pose : En 180 mm. intérieur. . . . . 70 mètres. — 125 mm. — . . . . . 40 — — 95 mm. — . . . . . 325 — — 80 mm. — . . . . . 60 — — 70 mm. — . . . . . 5 — — 60 mm. — . . . . . 100 —	
Ensemble . . . . .	600 mètres. 8,000 "
250 colliers supports à scellements de tous diamètres. . . . .	400 "
80 colliers de suspension sous les fermes . . . . .	200 "
20 joints d'expansion à coulisse . . . . .	1,500 "
<b>Ventilation :</b> 200 m <sup>2</sup> de vitres perforées pour les entrées d'air pur . . . . .	1,000 "
36 évacuations, comprenant chapeaux galvanisés extérieurs et bouches réglables intérieures . . . . .	1,800 "
<b>Total : Grand Atelier. . . . .</b>	<b>21,430 fr.</b>



**3° MAGASIN D'EXPOSITION SOUS LES BUREAUX.**

25 tuyaux à ailettes de 2 mètres	500 fr.
4 brides et joints d'extrémités, 27 joints intermédiaires, boulons d'assemblage	50 »
30 supports à rouleaux suspendus sous plafond	180 »
1 robinet d'admission de vapeur de 60 mm.	75 »
1 purgeur automatique purgeur d'air.	15 »
Tuyauteries en fer : En 60 mm.	30 mètres.
— 40 mm.	35 —
Ensemble	65 mètres.
20 colliers de support.	40 »
2 joints d'expansion à coulisse	100 »
50 m <sup>2</sup> de vitres perforées pour les entrées d'air frais.	250 »
12 bouches d'évacuation d'air vicié	120 »
12 chapeaux galvanisés sur le toit	180 »
Total : Magasin d'Exposition	2,130 fr.

**4° MAGASIN D'EXPOSITION SOUS LE RÉFÉCTORIAIRE.**

18 tuyaux à ailettes de 2 mètres	360 »
4 brides et joints d'extrémités, 16 joints intermédiaires, boulons d'assemblage.	40 »
20 supports à rouleaux suspendus sous plafond	120 »
1 robinet d'admission de vapeur de 50 mm.	35 »
1 purgeur automatique pour purge d'air.	15 »
Tuyauteries en fer : En 50 mm.	40 mètres.
— 40 mm.	50 —
— 33 mm.	35 —
Ensemble	125 mètres.
70 colliers de support.	140 »
2 joints d'expansion à coulisse	90 »
25 m <sup>2</sup> de vitres perforées pour les entrées d'air frais.	125 »
8 bouches d'évacuation d'air vicié	80 »
8 chapeaux galvanisés sur le toit.	120 »
Total : Magasin d'Exposition.	2,125 fr.

**5° BUREAU ET HALL.**

70 radiateurs, surface totale 195 m <sup>2</sup> .	4,875 fr.
70 robinets à régulateurs de 15 mm.	700 »
Tuyauteries en fer : En 115 mm., intérieur.	15 mètres.
— 90 mm.	15 —
— 80 mm.	20 —
— 70 mm.	20 —
— 60 mm.	40 —
— 50 mm.	70 —
— 40 mm.	75 —
— 33 mm.	75 —
— 26 mm.	125 —
— 20 mm.	235 —
— 15 mm.	250 —
— 12 mm.	75 —
Ensemble	3,015 mètres.
550 colliers de support	440 »
5 joints d'expansion	175 »
70 bouches d'entrée d'air pur, avec grilles extérieures.	1,050 »
60 m. de conduits d'aménage d'air pur pour le Hall.	300 »
70 bouches d'évacuation d'air vicié	700 »
70 chapeaux galvanisés sur le toit	850 »
Total : BUREAUX.	17,210 fr.

**6° RÉFÉCTORIAIRE ET LAVABOS.**

16 radiateurs, surface totale 78 m <sup>2</sup> .	1,950 fr.
16 robinets à régulateurs.	160 »
Tuyauteries en fer : En 70 mm.	60 mètres.
— 60 mm.	25 —
— 50 mm.	25 —
— 40 mm.	55 —
— 33 mm.	25 —
— 26 mm.	35 —
— 20 mm.	85 —
— 15 mm.	20 —
— 12 mm.	30 —
Ensemble	360 mètres.
Total : Réfectoire et Lavabos.	2,520 »

A reporter, . . . 4,630 fr.

**Report.**

200 colliers de support	4,630 fr.
3 joints d'expansion.	100 »
16 bouches d'entrée d'air pur, avec grilles extérieures	1,050 »
20 m. de conduits d'aménage d'air pur pour les	300 »
16 bouches d'évacuation d'air vicié	700 »
16 chapeaux galvanisés sur le toit	240 »
Total : Réfectoire et Lavabos	5,690 fr.

**Le chauffage total coûtera donc :**

1° Chauffage.	18,000 fr.
2° Grand Atelier	21,530 »
3° Magasin d'Exposition.	2,130 »
4° —	2,125 »
5° Bureaux et Hall.	17,210 »
6° Réfectoire et Lavabos	5,690 »
Total général.	66,585 fr.

**Le volume total chauffé étant de :**  
 72,310 + 5,140 + 3,000 + 2,250 + 2,700 + 2,700  
 + 662<sup>m</sup>3,5 + 1,980 = 89,770<sup>m</sup>3

en chiffres ronds, le prix du mètre cube chauffé ressort à :

66,585
89,770 = 0 fr. 741

chiffre relativement peu élevé en raison du grand volume.  
 On peut dire encore que ce chiffre correspond à :

66,585
753,645 = 0 fr. 088 par calorie à transmettre par heure.

La dépense de combustible serait en marche maximum de 157 kg. d'antracite par heure. En admettant les générateurs à fonctionnement continu, mis à un régime de marche très réduite pendant la nuit, la ventilation étant supprimée pendant ce temps, pour empêcher les locaux de se refroidir entièrement, on peut dire qu'il suffira de les remettre à la marche active deux heures avant l'arrivée des ouvriers, quitte à réduire une heure avant leur sortie.

En disant que le tout correspond au grand maximum à quinze heures de chauffage-journalier, on dépensera 157 × 15 = 2.355 kg. par jour pendant la période des grands froids, et 1.375 kg. par jour pour la moyenne de l'hiver.

Avec un prix d'usine de 60 francs par tonne d'antracite, ces chiffres représentent 141 francs par jour de grand froid, et 82 fr. 50 par jour pour la moyenne de l'hiver, ou par jour et par mètre cube chauffé :

$$\frac{82,50}{89,770} = 0 \text{ fr. } 000918$$

ou par calorie-heure utile et par jour :

$$\frac{82,50}{753,645} = 0,000109$$

chiffres vraiment très bas et qui montrent l'économie du système.

Nous aurons toutefois à rapprocher ce prix de chauffage de ceux que nous avons trouvés précédemment pour le chauffage par poêles, soit 46 fr. 87 par jour, et 0 fr. 0005221 par mètre cube chauffé, et, pour le chauffage par calorifères à air chaud, 44 fr. 97 par jour, et 0,0005 par mètre cube chauffé.

Il est vrai que pour le chauffage à vapeur, nous avons fait notre calcul en comptant le combustible idéal, qui est l'antracite, et que nos poêles et calorifères brûlent du coke. Rien ne pourrait empêcher de brûler du coke pour le chauffage à vapeur, il suffirait de prendre une chaudière avec une plus grande surface de grille et avec un magasin de combustible beaucoup plus important. L'économie journalière ne serait pas sensible, parce qu'on brûlerait beaucoup plus de coke que d'antracite.

Il faut noter encore qu'un seul homme suffirait pour le fonctionnement du chauffage à vapeur ; nous avons vu qu'il en faudrait plusieurs par les autres systèmes. Nous rattrapons donc là une partie de la dépense.



Le chauffage direct par la vapeur vierge n'a d'intérêt que lorsque l'usine dispose d'un générateur de vapeur à haute pression un peu plus important qu'il ne serait nécessaire pour produire sa force motrice, et que toute la vapeur d'échappement de son moteur a déjà reçu d'autres destinations (réchauffage de l'eau d'alimentation, chauffage d'eau pour les services de l'industrie, bain-marie, bacs de trempage, marmites à cuire diverses), ou lorsque le moteur marche au condenseur.

Encore examinerons-nous comment, avec un aéro-condenseur, on peut au contraire aider à la condensation, tout en utilisant au chauffage des locaux la chaleur latente contenue dans la vapeur d'échappement.

Il n'y a presque jamais intérêt à prendre un générateur à vapeur à haute pression spécialement destiné au chauffage, sauf quand l'installation est tellement importante qu'elle justifie la présence permanente d'un chauffeur; on doit dans ce cas mettre en balance l'économie qu'on peut réaliser avec les combustibles tout venants industriels, qu'utilisent les générateurs à haute pression, et les anthracites, que demandent les chaudières à basse pression. Si cette économie paie l'augmentation de main-d'œuvre, si elle permet de retrouver les frais d'entretien des générateurs industriels, les réfections fréquentes de joints, presse-étoupes de robinets, etc., on emploie alors le chauffage en pression.

Il est bien rare, toutefois, qu'on ait intérêt à employer la vapeur aux pressions mêmes des générateurs, par exemple aux pressions de 8 à 12 kg., qui sont courantes avec les générateurs multibulaires.

Si on regarde, en effet, combien peu importante est la différence de transmission de la vapeur aux diverses pressions, on verra que les risques courus, dangers de fuites, dangers d'éclatement de tuyauteries ou d'appareils, etc., sont bien loin d'être compensés par la diminution d'encombrement des appareils de chauffage qui correspondent aux pressions élevées.

Les expériences de M. Ser ont établi qu'un tuyau en métal (acier, fer, fonte) contenant de la vapeur ou de l'eau chaude, transmet, par heure et par mètre carré de surface lisse, 11,44 calories par degré de différence entre le fluide qu'il contient et l'air qui vient au contact de sa surface, ceci pour de l'air à très faible vitesse de circulation.

Ce coefficient varie entre les 2/3, soit 7,62, et la moitié, soit 5,72, c'est-à-dire qu'il est de 6,67 en moyenne pour les surfaces à ailettes.

Nous pouvons donc, avec ces éléments, dresser le tableau ci-après:

PRESSION de la vapeur en kg. par cm <sup>2</sup>	TEMPÉRATURE correspondante (en chiffres ronds)	TEMPÉRATURE de l'enceinte chauffée	DIFFÉRENCE de température entre la vapeur et l'air	CALORIES TRANSMISES par m <sup>2</sup> de surface chauffante	
				lisse (11,44 par degré d'écart)	à ailettes (6,67 par degré d'écart)
0 <sup>o</sup> 500	111 <sup>o</sup>	15 <sup>o</sup>	96 <sup>o</sup>	1.098	640
1 kg.	120	15	105	1.204	700
2	133	15	118	1.350	787
3	143	15	128	1.464	854
4	151	15	136	1.556	907
5	158	15	143	1.636	954
6	164	15	149	1.705	994
7	170	15	155	1.773	1.034
8	175	15	160	1.830	1.067
9	179	15	164	1.876	1.094
10	183	15	168	1.922	1.121
11	187	15	172	1.968	1.147
12	191	15	176	2.013	1.174

On voit que, de 1 à 12 kg., la proportion varie pour les surfaces lisses entre 1.201 et 2.013 calories, et pour les surfaces à ailettes entre 700 et 1.174 calories par mètre carré de surface de chauffe, soit dans le rapport de 1 à 1,67.

Dans les pressions moyennes, de 3 à 6 kg., la proportion varie de 1.464 à 1.705 pour les surfaces lisses, et de 854 à 994 pour les surfaces à ailettes, soit dans le rapport de 1 à 1,16.

Si, maintenant, on examine la transmission d'un kilogramme de vapeur pris aux pressions ci-dessus, l'eau de condensation étant évacuée à la pression atmosphérique, soit à 100°, on utilise par kilogramme de vapeur :

$$606,5 + 0,305 T - 100.$$

et on peut établir le tableau ci-après :

PRESSION de la vapeur en kg. par cm <sup>2</sup>	TEMPÉRATURE correspondante (en chiffres ronds)	CONSTANTES 606,5 - 100	VARIABLES 0,305 T	CALORIES totales par kg. de vapeur utilisées au chauffage
0 <sup>o</sup> 500	111 <sup>o</sup>	506,5	33,55	540,05
1 kg.	120	"	36,6	543,1
2	133	"	40,6	547,1
3	143	"	43,6	550,1
4	151	"	46	552,5
5	158	"	48,2	554,7
6	164	"	50	556,5
7	170	"	51,8	558,3
8	175	"	53,4	559,9
9	179	"	54,6	561,1
10	183	"	55,8	562,3
11	187	"	57	563,5
12	191	"	58,2	564,7

La quantité de calories utilisées au chauffage varie donc, par kilogramme de vapeur, de 543,1 à 564,7, pour les pressions de 1 à 12 kg., soit dans le rapport de 1 à 1,04. Pour les pressions moyennes, elle varie entre 3 et 6 kg. de 550,1 à 556,5, soit dans le rapport de 1 à 1,0116, ce qui est absolument appréciable.

Les difficultés d'installation et le peu de sécurité aux hautes pressions font donc choisir le chauffage à moyenne pression, et c'est entre 2 et 4 kg. que fonctionnent les appareils de chauffage par la vapeur vive.

Pour montrer les différentes applications, nous supposons, pour le chauffage de notre usine type, que les nécessités d'installation nous ont amenés à chauffer :

- Le Grand Atelier à 12 kg.
- Les Salles d'Exposition, Réfectoire, Lavabos de 4 à 6 kg.
- Les Bureaux et le Hall de 0,5 à 1 kg.

**Chauffage à haute pression.**

L'installation comprendra essentiellement les robinets :

- 1<sup>o</sup> Un robinet de prise de vapeur et les robinets de branchements;
- 2<sup>o</sup> Les canalisations de distribution de vapeur à haute pression;
- 3<sup>o</sup> Les surfaces de chauffe à haute pression;
- 4<sup>o</sup> Les purgeurs automatiques d'eau condensée;
- 5<sup>o</sup> Les tuyauteries ramenant l'eau de condensation à la chaufferie.

Nous ne nous occuperons pas du générateur; nous avons admis que c'est celui de l'usine; il est donc d'un type quelconque, multibulaire, par exemple.

**Robinet.** La robinetterie peut être en bronze à haute résistance (bronze Volga, bronze Éclair, bronze Hercule, etc.), ou plus simplement en acier. Les robinets (fig. 34) sont construits spécialement, d'une manière très robuste, avec presse-étoupes, et la tige de manœuvre se meut dans un étrier en acier, qui ferme



le chapeau supérieur, assemblé à boulons. Le volant est en fer; on pourra l'admettre recouvert d'une matière isolante. Pour les robinets placés en élévation, le robinet sera commandé par un volant à gorge, au moyen d'une chaînette de tirage.

**Canalisations.** — Les canalisations de distribution de vapeur seront en acier sans soudure, qu'on trouve dans le commerce en toutes dimensions, de 10 à 300 mm. intérieur, et en épaisseurs de 2 à 5 et 6 mm. L'épaisseur en sera calculée d'après la formule employée par la Marine française :

$$e = \frac{(1 \text{ à } 1,5) \times PD}{1.000} + C$$

*e*, épaisseur en millimètres;

1 à 1,5, coefficient variable suivant la pression; pour 12 kg. nous prendrons 1,5.

*P* est la pression, en kilogrammes par cent. carré.

*D*, le diamètre du tuyau, en millimètres.

*C*, un coefficient pour tenir compte de l'usure, variant de 1 à 2 pour des diamètres au-dessous de 50 mm., et allant jusqu'au-dessus de 100 mm.

Ces tuyaux seront assemblés par brides, soit brasées (fig. 35 et 36), soit par brides à collets tombés (fig. 37 et 38), soit par dudgeonnage des tubes dans des brides alésées et cannelées (fig. 39).

On interposera dans les joints de brides des rondelles métalliques, et de préférence des rondelles métaloplastiques (fig. 40), formées d'amiant serré entre deux lames embouties de cuivre très mince écroui.

La dilatation de ces tuyauteries sera l'objet d'une étude sérieuse. Le coefficient de dilatation de l'acier étant 0,00001160, un tuyau ayant une longueur de 1 m. à 0° aura, à 191°, température de la vapeur à 12 kg. :

$$L_1 = L_0(1 + \alpha t) = 1(1 + 0,0000116 \times 191) = 1,0022156,$$

c'est-à-dire qu'il se sera allongé de 2<sup>mm</sup>,2, ce qui est très appréciable.

Il faudra donc employer des joints d'expansion (fig. 41), soit, ce qui donnera plus de sécurité encore, de grands cintres en forme d'S ou de cors de chasse (fig. 42).

Pour les grandes longueurs, on mettra un dispositif d'expansion à chaque extrémité, et on maintiendra le tuyau au milieu par un très fort collier de serrage (fig. 43).

Pour les petites longueurs, on mettra une butée à une extrémité et un dispositif d'expansion à l'autre.

On aura soin d'employer des colliers de serrage **ULTIMHEAT®**

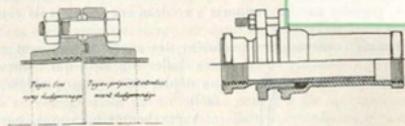


Fig. 39. — Joint à brides dudgeonnées.

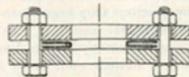


Fig. 40. — Garniture à joint métaloplastique.

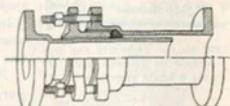


Fig. 41. — Joints d'expansion à coulisse.

port laissant la dilatation se produire librement, par exemple des supports à rouleau (fig. 44).

Les sections de ces tuyauteries seront calculées pour des vitesses d'écoulement de vapeur de 25 à 50 m. par seconde; les faibles vitesses sont préférables, l'expérience ayant démontré que le frottement de la vapeur aux grandes vitesses produit un effet d'usure très appréciable dans les tuyauteries en acier.

**Surfaces de chauffe.** — A ces hautes pressions les surfaces de chauffe ne peuvent être que des surfaces lisses, soit en acier sans soudure, soit en tôle d'acier brasée ou assemblée par rivure.

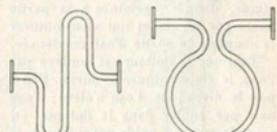


Fig. 42. — Boucles d'expansion.

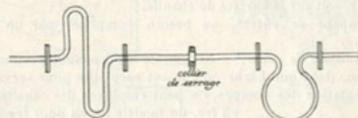


Fig. 43. — Tuyauterie avec boucles d'expansion.

Certaines maisons spécialisées en ce genre de tuyauteries construisent des tuyaux brasés formés par une lame de tôle d'acier enroulée en spirale, et dont, paraît-il, la résistance est excellente.

Les épaisseurs de ces surfaces sont calculées par la même formule que celle des récipients de vapeur :

$$e = 1,8 DN + C$$

dans laquelle :

*e* est l'épaisseur en millimètres;

*D*, le diamètre en mètres.

*N*, la pression intérieure en kilogrammes par centimètre carré;

*C*, un coefficient de sécurité variable suivant le diamètre du tuyau, de 1 à 3;

Les fonds de ces tuyaux seront toujours en acier embouti (fig. 45), avec tubulure excentrée en haut ou en bas, suivant qu'il

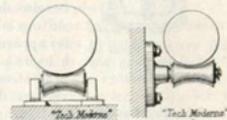


Fig. 44. — Supports de tuyauteries à rouleaux.



agit **ULTIMHEAT** la sortie de vapeur. Les joints sont à bride.

Bien entendu, un dispositif de dilatation sera toujours prévu à chaque extrémité, et les tuyaux auront une dilatation très facile, permise par les supports à rouleau sur lesquels ils reposent.

Certains constructeurs emploient des supports reposant sur des billes (fig. 46), qui assurent un déplacement remarquablement facile.

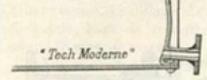


Fig. 45. — Tubulure sur une surface de chauffe pour vapeur à haute pression.

Le purgeur (fig. 47) est un type assez commode. Le corps est en acier coulé et donne toute sécurité.

On comprend, d'après la figure, le fonctionnement de ce purgeur. Le liquide arrivant avec la vapeur se déverse dans le corps cylindrique et soulève la boîte flotteur, dont le fond manœuvre une tige rigide, dirigée, terminée à la partie haute par un clapet qui vient obturer la soupape de sortie d'eau condensée.

Tant que le flotteur est soulevé par l'eau, le clapet obture la sortie. Peu à peu le niveau de l'eau s'élève; l'eau finit par couler dans le flotteur; et, aussitôt que son poids est suffisant, le flotteur s'enfonce, la soupape quitte le siège du clapet, et l'eau remonte pour s'écouler à l'extérieur. Un état d'équilibre finit par s'établir, et l'eau coule d'une manière continue.

Il est utile de placer, soit sur le purgeur, soit sur la surface de chauffe, une soupape de sûreté, au besoin complétée par un sifflet d'alarme.

**Tuyauteries de retour.** Si l'eau de condensation revient sans pression, dans une bêche où elle est recueillie pour servir à la réalimentation des pompes, on peut employer des canalisations en fer, du modèle décrit pour les chauffages à basse pression.

Si on veut faire remonter les eaux de condensation dans une bêche placée en élévation, le purgeur ci-dessus convient encore, mais il est préférable d'employer des tuyauteries plus résistantes, et, au besoin, des tuyauteries en acier.

Nous n'insisterons pas davantage sur les appareils de chauffage par la vapeur à haute pression, qui sont d'un emploi peu recommandable.

Nous donnerons, dans le prochain chapitre, l'estimation de la dépense d'une installation de ce type dans le grand atelier.

**Chauffage par la vapeur à moyenne pression.**

Nous appellerons moyennes pressions des pressions de 3 à 6 kg., pour lesquelles nous ne conseillerions pas l'emploi des radiateurs, dont les faibles épaisseurs de fonte ne donneraient pas sécurité, ni même des tuyaux à ailettes, en fonte, bien que

ceux-ci soient éprouvés en usine à 12 et même 15 kg., si l'on s'en rapporte aux catalogues des fournisseurs.

On réduit la pression, soit à l'origine près de la chaudière, soit en un endroit du bâtiment à chauffer, si celui-ci est éloigné de la chaufferie. Dans ce cas, la canalisation de vapeur à haute pression est en acier, comme nous l'avons dit précédemment.

**Détendeurs.** — On appelle *détendeurs*, ou *détendeurs régulateurs de pression*, les appareils destinés à réduire la pression de la vapeur.

La figure 48 montre une installation complète de détendeur et des appareils de sécurité qui doivent l'accompagner.

A est le tuyau d'arrivée de vapeur à haute pression, entouré de calorifuge, si la conduite d'arrivée ne contribue pas au chauffage de locaux qu'elle traverse.

1 est un *séparateur de vapeur et d'eau*, destiné à arrêter l'eau qui résulte de la condensation dans le parcours, le fonctionnement du détendeur étant généralement meilleur avec de la vapeur sèche;

2 est un *purgeur automatique* de cette eau de condensation, et 3 un *robinet de purge directe*, toujours utile à prévoir, les pur-

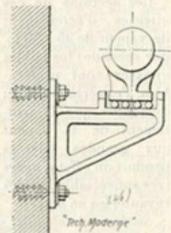


Fig. 46. — Support à billes pour grosses tuyauteries.

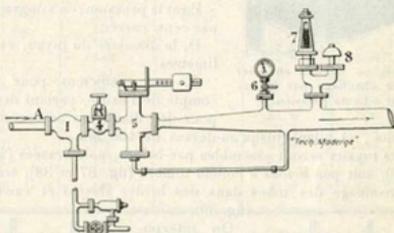


Fig. 48. — Dispositif d'un détendeur et de ses accessoires.

geurs automatiques devant être fréquemment visités et réglés;

4 est le *robinet d'arrêt* du chauffage;

5 est le *détendeur-régulateur de pression*;

6 est un *manomètre*, qui contrôle l'opération du détendeur. Si le détendeur est éloigné de la chaufferie, il est bon de placer sur ce manomètre un contact électrique, actionnant une sonnerie placée près du mécanicien, pour que celui-ci puisse arrêter immédiatement la vapeur en cas de danger;

7 est une *soupape de sûreté*, dont la section doit être suffisante pour laisser échapper toute la vapeur, si le détendeur arrive à se bloquer dans la position d'ouverture; 8 est un *sifflet d'alarme*, qui précéderait en même temps de cet arrêt.

**Détendeurs régulateurs de pression.** Le principe du détendeur est facile à comprendre. Nous savons que le volume d'une vapeur est inversement proportionnel à sa pression. Si donc nous considérons un volume V de vapeur, correspondant à une pression P, si nous augmentons brusquement le volume jusqu'à  $V_1 > V$ , la pression de la vapeur deviendra  $P_1$ , et  $P_1 < P$ .

Un détendeur agit donc comme un robinet, laissant passer un volume N de vapeur, correspondant à sa section de passage, dans une conduite de section plus grande, c'est-à-dire avec une pression moindre que sa pression d'origine.

Si on règle l'ouverture de ce robinet pour un débit déterminé de vapeur, la pression réduite se maintiendra tant qu'il y aura un débit correspondant, mais elle tendra à remonter après le robinet si le débit diminue. Pour atténuer cet inconvénient, qui ne disparaît jamais complètement, même avec les meilleurs détendeurs, on rend l'action de ce robinet solidaire à la fois de la pression réduite et de l'effort constant d'un organe additionnel, contrepoids, ressort, pression d'un liquide ou d'un gaz sous une



membrane, etc., etc. On comprend que, si la pression réduite tend à augmenter, elle détruit l'équilibre produit par l'effort dudit organe, et la section de débit diminue.

Les détendeurs sont fort nombreux, nous n'avons pas la prétention de les décrire tous.

La figure 49 montre un régulateur à piston équilibré; la pression de la vapeur détendue agit sous le piston, un contrepoids agit au-dessus, l'équilibre détermine le degré d'ouverture.

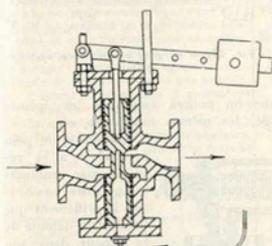


Fig. 49. — Détendeur Deniau à contrepoids.

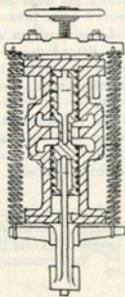


Fig. 50. — Détendeur Deniau à ressorts.

La figure 50 montre un régulateur analogue, dans lequel le contrepoids est remplacé par un ressort.

La figure 51 montre l'action d'une membrane commandant la tige du piston, et dépendant elle-même de l'action d'un contrepoids.

La figure 52 montre une membrane analogue, commandée par un ressort.

On comprend qu'en modifiant la position du contrepoids sur son bras de levier, ou la tension du ressort, on change l'état d'équilibre, et qu'on puisse ainsi à volonté augmenter ou diminuer la pression de la vapeur détendue.

Lorsqu'on a plusieurs bâtiments à chauffer, c'est-à-dire plusieurs détendeurs formant centres de chauffage, il est bon de pouvoir les contrôler depuis la chaufferie.

On place alors des contacts à maxima et à minima sur le manomètre, et on les raccorde à deux tableaux à voyants placés près du mécanicien. Celui-ci lance périodiquement, au moyen d'un rhéostat à plots, un courant électrique d'une batterie de piles successivement dans les lignes correspondantes aux divers détendeurs, et les voyants des tableaux indiquent entre quelles limites est placée l'aiguille du manomètre. La manœuvre de ce rhéostat peut encore être rendue automatique et périodique, au moyen d'un mécanisme d'horlogerie.

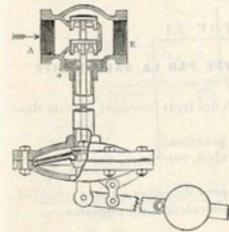


Fig. 51. — Détendeur Belvédère à membrane.

Pour quelques installations soignées, on peut même employer des détendeurs commandés à distance. La figure 53 montre un de ces détendeurs, du système J. Grouvelle et H. Arquembourg. La tige du piston est solidaire d'une membrane flexible, sous laquelle une pression d'air ou d'eau est établie. L'état d'équilibre qui s'établit entre la pression de vapeur au-dessus de la membrane et la pression d'eau ou d'air au-dessous, détermine la position d'ouverture du détendeur. On comprend qu'on peut le modifier à volonté, c'est-à-dire changer la pression de la vapeur dé-

tendue, en faisant varier la pression au-dessous de la membrane. Pour cela on raccorde chaque partie inférieure d'un appareil ainsi asservi avec un servo-régulateur (fig. 54) par de petits tuyaux capillaires.

Le servo-régulateur est un simple corps de pompe, rempli d'eau à la partie inférieure, et dans lequel on fait arriver de la vapeur, dont on gradue la pression par l'ouverture d'un robinet, cette pression étant lue sur un manomètre raccordé à l'appareil.

Si le réglage se fait par l'air comprimé, il suffit de remplacer ce servo-régulateur par une petite pompe à air, qui transmet sa pression par les mêmes tuyaux capillaires, remplis d'air ou d'eau.

Nous n'insisterons pas sur ces appareils, qui ne trouvent leur emploi que dans les installations très soignées, et ne sont pas indispensables en chauffage industriel.

Canalisations. — Les tuyauteries conduisant la vapeur détendue aux surfaces de chauffe doivent être de pré-

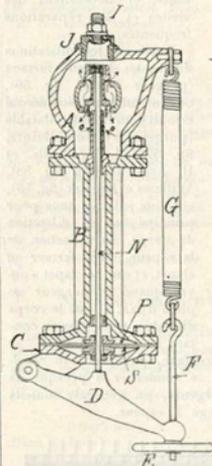


Fig. 52. — Détendeur Grouvelle et Arquembourg à ressorts.

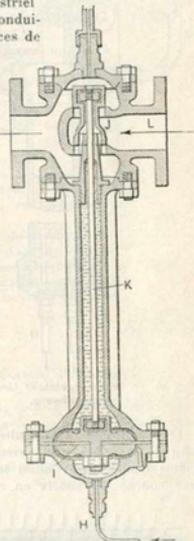


Fig. 53. — Détendeur asservi Grouvelle et Arquembourg.

férence en acier, si on veut atteindre les pressions de 5 à 6 kg. On peut cependant, si on ne dépasse jamais 4 à 5 kg., employer des tubes en fer renforcés, qualité vapeur, comme ceux des chauffages à vapeur à basse pression, à la condition d'avoir des pièces de raccords très solides et bien éprouvées.

Surfaces chauffantes. — Ainsi que nous l'avons dit ci-dessus, il ne serait guère prudent d'employer des radiateurs à ces pressions; on peut cependant, à la rigueur, employer les tuyaux à ailettes en fonte, en s'assurant de la bonne exécution des joints. Mais le plus sûr est d'utiliser des tuyaux en fer ou en acier, sur lesquels des ailettes en tôle ou en fonte ont été rapportées. Ces ailettes sont enfilées à chaud sur le tuyau, et adhèrent en se refroidissant, ou sont rendues adhérentes par un mastic de fonte (fig. 55). De toutes façons, la transmission est beaucoup moindre que lorsque l'ailette est fondue avec le tuyau, et il n'est guère prudent de compter sur plus de la moitié aux deux tiers de la transmission indiquée par notre précédent tableau.

Robinets. — On peut employer de simples robinets valves, mais il est mieux de faire usage de robinets à orifices jaugés,

analogues à ceux décrits précédemment, parce qu'on peut mieux assurer les divers surfaces chauffantes, et régler l'admission de la vapeur dans toutes les positions d'ouverture entre le maxima et le minima, ce que ne permettent pas les robinets ordinaires.

**Purgeurs automatiques.** — Chaque surface chauffante, ou groupe de surfaces, est suivi d'un purgeur automatique.

Les purgeurs sont fort nombreux, ils sont aussi en général fort peu satisfaisants, et nécessitent des visites et des réparations fréquentes.

Basés sur les dilatations différentes de deux métaux (purgéur Geipel, fig. 56), ou d'un tube en métal écroui rempli d'un liquide dilatable (purgéur système Heintz, fig. 57), J. Grouvelle et H. Arquembourg (fig. 58), Willems et Cremer (fig. 59), etc., etc., ils ont tous pour principe que la dilatation du corps, sous l'action de la vapeur, vient fermer un clapet, et que ce clapet s'ouvre quand le purgeur est plein d'eau, et que le corps dilatable n'est plus en contact avec la vapeur.

On comprend la difficulté du réglage, puisque l'eau résultant de la vapeur qui vient de se condenser a presque la même température; aussi les purgeurs, en général, sont-ils une source de soucis en chauffage à vapeur.

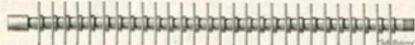


Fig. 55. Tuyau en acier à ailettes embouties.

**Tuyauteries de retour.** Bien entendu, les conduites de retour d'eau condensée sont en tuyaux en fer, identiques à celles décrites au chauffage par la vapeur à basse pression. Il est toujours utile, nous l'avons dit, de ramener ces eaux de condensation à la chaudière pour la réalimentation de la chaudière, puisque c'est de l'eau distillée, c'est-à-dire non incrustante.

Si on dispose d'un détendeur assez précis, ou mieux si on place à la suite l'un de l'autre deux détendeurs, dont l'action

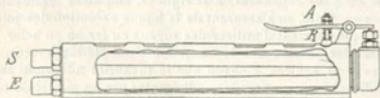


Fig. 56. — Purgéur automatique Geipel.

viennent se combiner pour faire passer la vapeur de la haute pression à la moyenne pression, et de celle-ci à la basse pression (0 kg. 500 et au-dessous), on peut exécuter un chauffage ayant une disposition identique à celle que nous avons vue pour les chauffages avec générateurs à basse pression.

La disposition du ou des détendeurs sera la même que celle décrite précédemment, les tuyauteries de vapeur et d'eau condensée seront celles du chauffage à vapeur à basse pression; on pourra employer les mêmes robinets à double réglage, les mêmes radiateurs, etc.

Toutefois, on peut reprocher à ce réglage par robinets jaugés de favoriser le sifflement que produit la détente de la vapeur dans son passage par l'orifice jaugé, sifflement qui s'amplifie dans les radiateurs en fonte mince jusqu'à devenir insupportable.

De nombreux constructeurs préfèrent employer des robinets moins précis, par exemple des robinets à pointeau ou des robinets à boisseau, qui permettent dans une certaine mesure de graduer l'ouverture; et, comme il passerait trop de vapeur dans les radiateurs, ils ajoutent un petit purgeur automatique à la sortie de chacun d'eux.

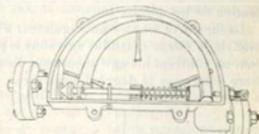


Fig. 57. — Purgéur automatique, système Heintz.

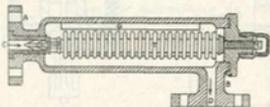


Fig. 58. — Purgéur automatique Grouvelle et Arquembourg.

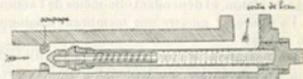


Fig. 59. — Purgéur automatique Willems et Cremer.

## CHAPITRE XI

### CHAUFFAGE DE L'USINE TYPE PAR LA VAPEUR VIVE

Nous supposons l'application des trois procédés décrits dans le chapitre précédent, savoir :

L'atelier par la vapeur à haute pression;  
Les magasins d'exposition, lavabos, réfectoire, par la vapeur à moyenne pression;

Les bureaux et le hall par la vapeur détendue à basse pression. Le tableau de la page 45 résume les calculs préliminaires.

#### GRAND ATÉLIER : VAPEUR A HAUTE PRESSION.

La surface de chauffe totale sera de 289 m<sup>2</sup>. Le croquis (fig. 60) montre la disposition; nous avons quatre rangées de chacune 85 m. de surface lisse disposées au-dessus du sol, et une rangée de 75 m. disposée en élévation sous les fermes, au milieu de l'atelier.

D'autre part, la canalisation de distribution de vapeur correspondra à environ 6 m<sup>2</sup> de surface radiante; nous aurons à la déduire des 289 m<sup>2</sup>, il restera pour les surfaces proprement

TABLEAU DE CALCULS.

	GRAND ATELIER	MAGASINS D'EXPO- SITION, LAVABOS, RÉFEC- TOIRE	BUREAUX HALL
Calories à fournir par heure en marche normale continue.	449.900	129.280	174.465
Calories pendant les 2 premières heures de mise en route chaque matin.	581.496	167.091	225.596
Pression de la vapeur.	12 kg.	5 kg.	0 <sup>e</sup> . 500
Calories transmises par kg. de vapeur.	564,7	554,7	540,05
Poids de vapeur à fournir par heure :			
Pendant chacune des 2 premières heures	1.029 kg.	304 kg.	417 kg.
En marche continue	797 kg.	233 kg.	323 kg.
Surface de la chaudière multitubulaire, à raison de 15 kg. par m <sup>2</sup> en marche continue.	$\frac{1.353}{15} = 90\text{m}^2,20$		
Vaporisation par m <sup>2</sup> en marche accélérée pendant les 2 premières heures	$\frac{1.747}{90,20} = 19^e,30$		
Surfaces de radiation à employer dans les locaux :			
Tuyaux lisses, 2.043 calories par m <sup>2</sup> .	289 m <sup>2</sup>	"	"
Tuyaux à ailettes, 954 cal. par m <sup>2</sup> .	"	175 m <sup>2</sup>	"
Radiateurs, 1.098 calories par m <sup>2</sup> .	"	"	205 m <sup>2</sup>
Volume d'un kg. de vapeur	0m <sup>3</sup> ,167	0m <sup>3</sup> ,338	1m <sup>3</sup> ,2
Volume de vapeur par heure en marche maxima	172m <sup>3</sup>	101m <sup>3</sup> ,75	500m <sup>3</sup> ,4
Volume de vapeur par seconde	0m <sup>3</sup> ,048	0m <sup>3</sup> ,0283	0m <sup>3</sup> ,1350
Vitesse d'écoulement par seconde dans la conduite principale.	50 m.	25 m.	15 m.
Section de la conduite principale.	0,000960	0,00113	0,00927
Diamètre correspondant.	0,0350	0,038	0,110
Diamètre à choisir par précaution	0,046	0,050	0,110

dites 283 m<sup>2</sup>, ce qui représentera une tuyauterie lisse de 220 mm.

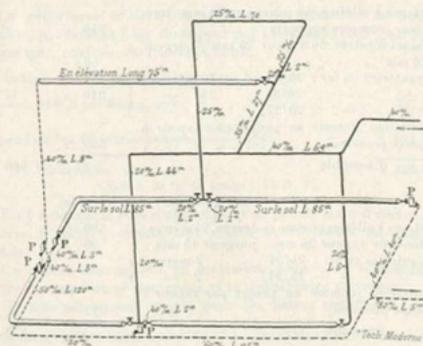


FIG. 60. — Schéma du chauffage par la vapeur à haute pression de l'usine type. (Grand Atelier.)

de diamètre. Nous emploierons du tube en acier sans soudure, par longueurs d'environ 6 m.

Le devis s'établira comme suit :

1 <sup>o</sup> Au départ, 1 robinet valve en bronze Volga, haute pression, de 40 mm	80 fr.
2 <sup>o</sup> Aux surfaces, 5 robinets valve en bronze Volga, haute pression, de 20 mm.	250 "
A reporter.	330 fr.

3<sup>o</sup> Tuyauteries de distribution en acier :

De 40 mm.	
35 mm.	
30 mm.	
25 mm.	
20 mm.	

Report. **ULTIMHEAT**  
**VIRTUAL MUSEUM**

4<sup>o</sup> Brides brasées, joints métallo-plastiques, boulons formant 51 joints à chacun 2 brides.

5<sup>o</sup> Supports à rouleaux, 1 tous les 3 mètres soit 74

6<sup>o</sup> Joints d'expansion : 1 de 40 mm.

— 1 — 35 mm.

— 1 — 30 mm.

— 1 — 25 mm.

— 11 — 20 mm.

7<sup>o</sup> Surfaces de chauffe 415 m. de tube d'acier de 220 mm.

8<sup>o</sup> Brides brasées, joints, etc. 90 joints de chacun 2 brides.

9<sup>o</sup> Supports à rouleaux, 140.

10<sup>o</sup> 5 purgeurs automatiques d'eau condensée, type à flotteur, corps en acier

11<sup>o</sup> Tuyauterie de retour d'eau de condensation, en tubes de fer, qualité vapeur :

De 40 mm.

50 mm.

60 mm.

80 mm.

60 mètres.

98 —

95 —

5 —

12<sup>o</sup> Raccords en fonte taraudés, coudes, tés.

13<sup>o</sup> Colliers de support à scelllements 130

14<sup>o</sup> Appareils de sûreté, soupapes, etc., sur les 5 groupes de surfaces de chauffe

15<sup>o</sup> Ventilation. Derrière les surfaces chauffantes posées au niveau du sol, 50 bouches d'entrée d'air pur, avec système de réglage, et grilles de ventouse à l'extérieur.

16<sup>o</sup> Evacuations. 36 cheminées d'évacuation, comprenant chapeaux galvanisés extérieurs, et bouches réglables intérieures

Total : Grand Atelier

1.800 »  
19.500 fr.

#### MAGASINS D'EXPOSITION. LAVABOS. RÉFECTOIRE.

La surface de chauffe totale sera, comme l'indique le tableau de calculs, de 175 m<sup>2</sup>, que nous répartirons proportionnellement aux calories à transmettre, savoir :

Dans le Magasin d'Exposition du Bâtiment d'Administration.	47 m <sup>2</sup> .
— des Lavabos.	35 m <sup>2</sup> .
— Réfectoire	19 m <sup>2</sup> .
Dans les Lavabos	75 m <sup>2</sup> .

La section des tuyauteries de vapeur sera, d'autre part, en admettant la vapeur détendue à 5 kg. :

	THÉORIQUEMENT	DIAMÈTRE PRATIQUE
Pour l'ensemble.	0m <sup>3</sup> ,00113	50 mm.
— le Magasin du Bâtiment d'Administration.	0m <sup>3</sup> ,000303	26 mm.
— des Lavabos.	0m <sup>3</sup> ,000226	26 mm.
— le Réfectoire.	0m <sup>3</sup> ,000123	20 mm.
— les Lavabos	0m <sup>3</sup> ,000484	33 mm.

Nous choisirons des tuyaux en fer, à ailettes en tôle rapportées, savoir :

1<sup>o</sup> Pour le magasin d'exposition du bâtiment d'administration : 42 m. de tuyau de 33 mm. intérieur, ailettes de 165 mm., espacées de 40 en 40 mm., surface de chauffe au mètre linéaire 1<sup>m</sup>,10.

Ces surfaces seront suspendues sous plafond, au milieu de la pièce, comme l'indique le schéma (fig. 61). Un robinet de vapeur à l'entrée, de 26 mm., et un purgeur automatique à dilatation de 20 mm. à la sortie, des raccords en tuyaux fer de 26 mm., représenteront toute l'installation.



La ventilation sera faite comme pour la vapeur à basse pression. Les tuyaux à ailettes pour les entrées d'air, bouches et conduits d'évacuation d'air vicié.

2° Pour le magasin d'exposition du bâtiment des lavabos (fig. 61) : 24 m. de tuyaux de 33 mm. intérieur, ailettes de 165 mm. espacées de 40 en 40 mm., surface de chauffe au mètre linéaire 1<sup>m</sup> 10.

Ces surfaces seront suspendues sous plafond du côté des vitres perforées d'entrées d'air pur, avec un robinet de 26 mm. à l'entrée, et un purgeur automatique de 15 mm. à la sortie.

3° Pour le réfectoire : 18 m. de tuyau de 33 mm. intérieur comme ci-dessus, posé en plinthe le long de la façade, avec un robinet d'admission de vapeur de 20 mm., un purgeur de sortie de 15 mm. (fig. 61).

L'air pur entrera par des bouches derrière les surfaces à ailettes, et l'évacuation d'air vicié se fera comme dans le projet par la vapeur à basse pression.

4° Pour les lavabos, 40 m. de tuyau de 80 mm. intérieur à ailettes de 200 mm. espacées de 30 en 30 mm., représentant

Nous pourrions évidemment mettre des tuyauteries plus petites, étant donné que la vapeur était à une pression moindre, et aussi que les conduites étaient calculées par une vitesse d'écoulement de 15 m. par seconde, alors que le fonctionnement serait encore suffisant avec des vitesses de 20 à 25 m. Nous n'entrerons pas à nouveau dans le détail de ces tuyauteries, et nous escomptons, sur le total de 6.090 francs pour lequel elles étaient prévues au précédent devis, une économie globale de 4 à 500 francs, qui sera un gros maximum.

D'autre part, les robinetteries et radiateurs seront identiquement les mêmes. On remarquera que, puisque nous décidons de placer un robinet à régler en avant de chaque radiateur, la pression ne sera plus 0 kg. 500 dans ces appareils, et nous devons ajouter un certain pourcentage aux 175 m<sup>2</sup> de radiateurs calculés pour la transmission à 500 grammes. En fait, nous mettrons 195 m<sup>2</sup>, comme nous l'avions prévu pour l'installation de chauffage par la vapeur à basse pression.

Le devis pourra se résumer comme suit :

Chauffage à 5 kg : 1 détendeur de 12 à 5 kg., pour 718 kg. de vapeur maximum, avec robinet d'admission, manomètre, soupape de sûreté, sifflet d'alarme, purgeur automatique et robinet de purge directe.	500 fr.
Conduites de distribution de vapeur en fer, avec tous détails comme il a été dit pour le projet par la vapeur à basse pression :	
En 50/60. . . . . 35 mètres.	
40/50. . . . . 55 "	
33/42. . . . . 5 "	} 770 "
26/34. . . . . 5 "	
20/27. . . . . 5 "	
15/21. . . . . 5 "	
Prise de vapeur en acier, de 30 mm.	50 "
Joint d'expansion : 2	80 "
<b>Ensemble</b>	<b>1.400 fr.</b>

MAGASIN D'EXPOSITION (BÂTIMENT D'ADMINISTRATION).

Surfaces à ailettes, 42 mètres en 33 mm. intérieur, compris supports	840 "
Robinet d'entrée de vapeur 26 mm., purgeur 20 mm.	60 "
Tuyauteries en fer : 33/42. . . . . 10 mètres.	} 210 "
— 26/34. . . . . 15 "	
— 20/27. . . . . 10 "	
Ventilation (comme au projet par vapeur à basse pression).	550 "
<b>Ensemble</b>	<b>1.660 fr.</b>

MAGASIN D'EXPOSITION (BÂTIMENT DES LAVABOS).

Surfaces à ailettes comme ci-dessus, 24 mètres.	480 fr.
Robinet de vapeur 26 mm., purgeur 15 mm.	50 "
Tuyauteries en fer : 26/34. . . . . 2 mètres.	} 20 "
— 15/21. . . . . 2 "	
Ventilation (comme au projet par vapeur à basse pression)	325 "
<b>Ensemble</b>	<b>875 fr.</b>

RÉFECTOIRE ET LAVABOS.

Surfaces à ailettes comme ci-dessus : 18 mètres et 40 mètres.	1.360 fr.
Robinet de vapeur 33 et 20 mm., purgeurs 20 et 15 mm.	145 "
Tuyauteries en fer : 33/42. . . . . 7 mètres.	} 90 "
— 20/27. . . . . 4 "	
— 15/21. . . . . 4 "	
Ventilation (comme au projet par vapeur à basse pression).	820 "
<b>Ensemble</b>	<b>2.185 fr.</b>

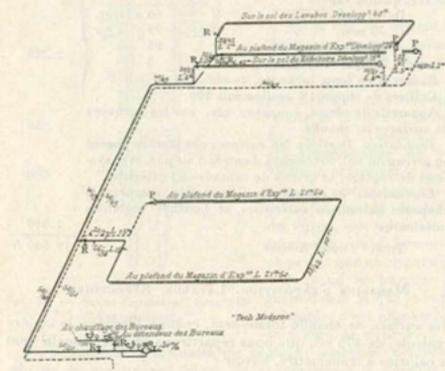


Fig. 61. — Schéma du chauffage par la vapeur à haute pression de l'usine type. (Magasins d'exposition, lavabos, réfectoire.)

1<sup>m</sup> 90 par mètre linéaire, avec un robinet de 80 mm. à l'entrée, et un purgeur automatique de 30 mm. à la sortie (fig. 61).

Ces tuyaux à ailettes seront placés en plinthe, le long de la cloison séparative du réfectoire, et les entrées d'air pur et évacuations d'air vicié se feront comme dans le projet par la vapeur à basse pression.

Le détendeur général sera placé à la chaudière. Il servira à la fois de détendeur général pour ce chauffage à 5 kg., et de premier détendeur pour le chauffage à basse pression des bureaux.

Le schéma (fig. 61) représente la tuyauterie de vapeur et de retour d'eau condensée, qui pourra être en fer, qualité vapeur.

Le détendeur recevra 301 + 417 kg. de vapeur à 12 kg., par un tuyau en acier de 30 mm. ; il distribuera 301 kg. de vapeur à 5 kg. par un tuyau de 50/60, pour aller au chauffage ci-dessus, et 417 kg. de vapeur à 5 kg. allant au détendeur du chauffage des bureaux, qui ramènera la pression à 0 kg. 500; ce second tuyau aura aussi 50 mm.

Quant au chauffage des bureaux, il aura une disposition identique à celui que nous avons prévu pour le chauffage par la vapeur à basse pression.

Au départ à la chaudière nous mettrons un détendeur recevant la vapeur à 5 kg. du précédent détendeur, par un tuyau de 50 mm., et distribuant la vapeur à 0 kg. 500, par un tuyau de 110 mm.

## BUREAUX ET HALL (BATIMENT D'ADMINISTRATION).

1 détendeur de 5 à 0 <sup>e</sup> ,500, avec ses accessoires.	450 fr.	
Le reste comme au projet par la vapeur à basse pression, moins 500 fr. d'économie sur les diamètres de tuyauteries :		
17,210 — 500	16,710 =	
Ensemble . . . . .		17 160 fr.
Total général		23 280 fr.
Soit, par mètre cube chauffé $\frac{23,280}{89,770} = 0$ fr. 26.		
Et par calorie-heure à transmettre : $\frac{23,280}{753,645} = 0$ fr. 0308.		

Il est vrai que ce prix ne comporte pas la chaudière et ses accessoires, tuyauteries, robinetterie, pompe alimentaire, bâche de retour, pompe, etc.

Si on remarque qu'il s'agit de :

$$1,029 + 301 + 447 = 1,747 \text{ kg. de vapeur à la mise en route}$$

$$\text{et } 797 + 233 + 323 = 1,353 \text{ kg. en marche normale,}$$

Soit d'une chaudière de 100 m<sup>3</sup> de surface de chauffe, on comprend qu'il faut une batterie de générateurs puissants pour disposer d'un excès de surface aussi important.

En réalité, il faudrait augmenter d'autant les prévisions de chaudière à l'origine, et on peut bien admettre que la dépense de première installation en sera accrue de 6 à 7.000 francs.

Disons donc qu'en réalité le chauffage coûtera 30.000 francs en chiffres ronds, soit :

$$\frac{30,000}{89,770} = 0 \text{ fr. } 334$$

par mètre cube chauffé et :

$$\frac{30,000}{753,645} = 0 \text{ fr. } 0398$$

par calorie heure utile.

Le générateur brûlera du tout venant industriel de bonne qualité, produisant 8 kg. de vapeur par kilogrammes de charbon, et coûtant, environ, 30 francs la tonne.

On brûlera pendant les deux premières heures :

$$\frac{1,747}{8} = 218,5 \text{ par heure, soit } 437 \text{ kg.}$$

$$\text{et pendant les 10 autres heures: } \frac{1,353}{8} \times 10 = 1,692 \text{ kg.}$$

$$\text{Ensemble } 218,5 + 1,692 = 2,139 \text{ kg.}$$

Soit à 30 fr. la tonne : 64 fr. 17.

En y ajoutant le bois d'allumage et un peu de main-d'œuvre, on trouve le prix excessivement réduit de 70 francs en chiffres ronds.

Ce chiffre correspond au maximum d'écart de température entre la température demandée et la température extérieure.

Si nous admettons, comme pour les autres chauffages que la moyenne variera entre la moitié, soit  $\frac{70}{2} = 35$  francs, et les 2/3, soit

$$\frac{70 \times 2}{3} = 46 \text{ fr. } 66, \text{ on peut dire que la dépense journalière d'un}$$

hiver sera environ de 41 francs, soit :

$$\frac{41}{89,770} = 0 \text{ fr. } 000457$$

par mètre cube chauffé et :

$$\frac{41}{753,645} = 0 \text{ fr. } 0000544$$

par calorie, heure utile.

## CHAPITRE XII

## CHAUFFAGE PAR LA VAPEUR D'ÉCHAPPEMENT

La vapeur d'échappement se comporte dans un chauffage absolument comme la vapeur vierge à pression équivalente.

Lorsqu'on dispose d'un moteur à vapeur de puissance suffisante pour que la quantité de vapeur d'échappement soit au moins égale à celle nécessaire au chauffage, il est évidemment intéressant de l'utiliser à cet usage.

En effet, supposons une machine à vapeur de bonne construction, sans condenseur, consommant 10 kg. de vapeur par cheval, à 6 kg., avec un échappement à 50 grammes de contrepression.

La température de la vapeur à 50 grammes étant de 101<sup>e</sup>,5 environ, la chaleur latente mise en liberté par kilogramme est de :

$$606,5 + 0,305 T - 100 = 537,46 \text{ calories,}$$

soit, par cheval :

$$10 \times 537,46 = 5.374,6 \text{ calories.}$$

D'autre part, supposons qu'on utilise déjà la vapeur d'échappement à réchauffer l'eau d'alimentation du générateur, en admettant même que cette eau prise à 12° soit élevée jusqu'à 100° avant son introduction audit générateur, on n'aura utilisé que :

$$(100 - 12) \times 10 = 880 \text{ calories par cheval,}$$

et il restera  $5.374,6 - 880 = 4.494,6$  calories qui pourront être employées au chauffage.

D'un autre côté, admettons que la pression de 50 grammes ne soit pas suffisante pour le réseau de canalisations à alimenter, on mieux que cette pression oblige à employer des tuyauteries de trop gros diamètres, et rendant l'installation coûteuse. Il suffira de produire une contrepression légère au cylindre, et nous pouvons pour fixer les idées admettre que cette compression sera de 500 grammes.

La vapeur à ce moment aura une température de 111°, et la chaleur latente comparable sera de :

$$606,5 - 0,305 \times 111 - 100 = 540,36 \text{ calories.}$$

Soit une augmentation par kg. de vapeur de :

$$540,36 - 537,46 = 2,9 \text{ calories}$$

ou par cheval :

$$2,9 \times 10 = 29 \text{ calories.}$$

Puisqu'un kilogramme de charbon au générateur produit 8 kg. de vapeur à 6 kg. :

$$8(606,5 + 0,305 \times 164 - 100) = 5.156 \text{ calories,}$$

nous aurons augmenté, en portant la pression de l'échappement à 500 gr., la consommation du moteur de :

$$\frac{29}{5,156} = 0^e,0056 \text{ de charbon par cheval utilisé.}$$

C'est ce chiffre, pratiquement inappréciable, qui représentera par cheval utilisé la dépense de fonctionnement d'un chauffage par la vapeur d'échappement à 500 gr.

Pour envoyer la vapeur d'échappement d'un moteur dans le réseau de canalisations d'un chauffage, on emploie le dispositif de figures 62 ou 63. On intercale simplement, sur le tuyau allant au toit, un clapet équilibré à l'extérieur par un contrepoids mobile sur un levier, et on fait en avant de ce clapet un branchement, muni d'un robinet allant au chauffage.

En hiver, la position du contrepoids est réglée pour la contrepression, et le clapet se lève pour laisser passer à l'extérieur la vapeur d'échappement, si le robinet est fermé en hiver.

En été, on ferme le robinet du chauffage, et on dispose le levier en sens inverse, pour que le clapet soit ouvert, et que tout l'échappement aille à l'extérieur. Si on n'a pas assez de vapeur d'échappement, on peut, du reste, ajouter de la vapeur vive; on intercale alors après le robinet de prise un ajutage formant éjecteur, par exemple celui représenté par la figure 64.

Le dispositif ci-dessus n'est pas sans inconvénients. Tout d'abord le clapet n'est jamais étanche, et laisse perdre une certaine quantité de vapeur, surtout si on ajoute de la vapeur vierge. Puis, il peut se caler, et le contraire se produit: en cas de cessation d'emploi au chauffage par la fermeture des robinets, la vapeur ne trouve plus son issue à l'extérieur,

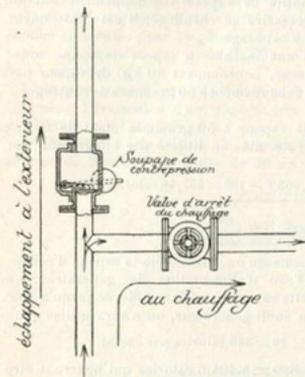


Fig. 62. — Dispositif de chauffage par la vapeur d'échappement, par soupape de contrepression.

ce qui donne lieu à une contrepression au cylindre.

Beaucoup de constructeurs préfèrent le système de la figure 65. Un robinet à trois voies envoie la vapeur, à volonté, à l'extérieur ou au chauffage, ou partie à l'un et partie à l'autre.

Un dispositif de soupape de sûreté, formant by-pass de l'autre côté du robinet trois voies, met en communication le circuit du chauffage avec l'extérieur, si une contrepression tend à se produire.

Comme ce robinet à trois voies du type à boisseau est souvent d'une manœuvre pénible, ou difficile à rendre étanche, on le remplace pour les gros diamètres par le robinet à trois voies à sou-

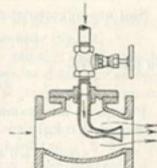


Fig. 64. — Dispositif pour addition de vapeur vierge à la vapeur d'échappement.

pape de la figure 66, qui ne peut jamais fermer l'échappement, quelle que soit la position de son clapet.

Enfin, dans les installations un peu importantes, on a parfois intérêt à faire arriver la vapeur dans un gros ballon, qui forme à la fois collecteur régulateur de débit, purgeur d'eau condensée et purgeur d'huile, et amortit d'une manière heureuse les coups de piston du moteur, qui se transmettent souvent d'une manière désagréable avec les simples installations précédemment décrites (fig. 67).

On retrouve sur ce ballon tous les appareils des figures précédentes, le robinet à trois voies à soupape envoyant l'échappe-

ment au chauffage ou à l'atmosphère, le manomètre indicateur de contrepression, la soupape de sûreté avec dispositif de by-pass, l'addition de vapeur vierge, etc.

Il est utile, avant d'envoyer la vapeur d'échappement au chauffage, de la débarrasser des huiles et graisses dont elle s'est chargée à son passage dans le moteur, et qui ont de multiples inconvénients.

Les corps gras bouchent les orifices des robinets de jauge

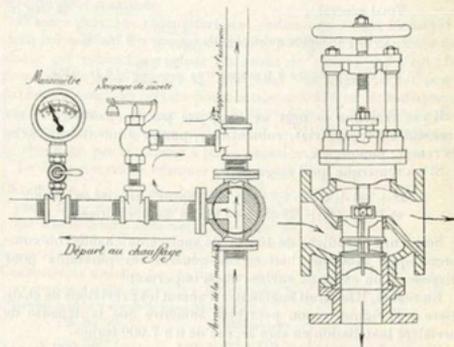


Fig. 65. — Dispositif de chauffage par la vapeur d'échappement, par robinet à trois voies.

ou des purgeurs; ils passent par les presse-étoupe des robinets ou les joints de tuyauteries, et coulent en gouttelettes, en tachant les murs et planchers; enfin, ils finissent par se coller dans l'intérieur des appareils, radiateurs, tuyauteries, et forment un magma saponifié, un véritable cambouis, qui diminue la transmission et souvent obstrue les passages.

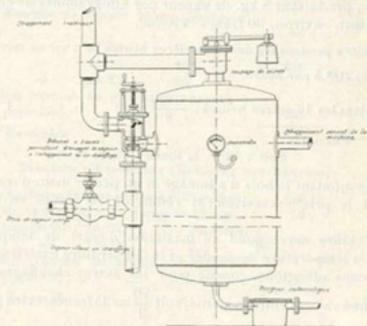


Fig. 67. — Dispositif de chauffage par la vapeur d'échappement, pour grande installation.

Plusieurs méthodes sont employées pour se débarrasser de cette graisse, qui est contenue dans la vapeur d'échappement sous forme de petits vésicules, microscopiques souvent.

Certains modèles sont de véritables filtres; on oblige la vapeur à traverser une étoffe, un corps spongieux, etc. Ces filtres ne sont pas très efficaces; les corps spongieux s'imbibe d'huile, et finit par n'avoir aucun effet utile si on ne le remplace pas fréquemment; de plus, ils présentent une résistance assez



considérable au passage de la vapeur, ce qui correspond à une chute de pression obligeant à augmenter les diamètres de tuyauteries.

Les meilleurs filtres sont ceux qui tiennent compte de la vitesse d'écoulement de la vapeur, et l'obligent à changer brusquement de direction en arrivant sur une paroi rugueuse, ou nerveuse, ou encore perforée de trous faits avec des poinçons, de manière à laisser des bavures du côté où la vapeur vient frapper la surface. Les vésicules de graisse s'écrasent et coulent à la partie basse du séparateur, où on les recueille.

Les séparateurs d'huile sont malheureusement peu efficaces; ils demandent à être démontés et nettoyés très fréquemment, ce qui est une sujétion à laquelle peu d'industriels s'astreignent, et, en réalité, les huiles et graisses rendent souvent très incommode l'utilisation, pourtant si intéressante, de la vapeur d'échappement au chauffage.

Les tuyauteries, robinetteries, purgeurs, radiateurs, surfaces à ailettes, sont identiquement les mêmes que ceux employés par la vapeur à basse pression, ou à pression réduite par un détendeur.

Dans les longues lignes de surfaces à ailettes, on emploie le dispositif avec robinet valve à l'entrée et purgeur automatique à la sortie.

Avec les radiateurs et les chauffages de bureaux, il est préférable d'employer les robinets à réglage des chauffages à basse pression, sans purgeurs à la sortie.

Dans tous les cas, il est toujours utile de ramener à la bache d'alimentation les eaux de condensation, mais il faut avoir grand soin de bien les débarrasser de l'huile, qui aurait de graves inconvénients pour les générateurs.

On arrive à un bon résultat en employant une bache à plusieurs compartiments cloisonnés, communiquant par la partie inférieure. L'huile surnage, et un niveau d'eau sur chaque compartiment indique le moment propice pour la recueillir.

Certains industriels préfèrent même la saponifier, quand sa nature le permet, en la soumettant à l'action de la vapeur, dans un épurateur Chevalet ou analogue.

Si on suppose l'échappement à la pression de 500 gr. par cm<sup>2</sup>, 1 kg. de vapeur contient 540,36 calories dans l'eau étant évacuée à 100°, et sa température de 133°.

Il faudrait donc :

$$\frac{753,615}{540,36} = 1,394 \text{ kg.}$$

soit 1,400 kg. de vapeur en chiffres ronds.

Si on suppose un bon moteur à échappement libre, consommant 10 kg. de vapeur par cheval, cela correspondrait donc à un moteur de 140 chevaux, ce qui n'a rien d'anormal pour une usine de cette importance.

Nous admettons donc que nous n'aurons pas besoin d'ajouter de vapeur vierge. Nous préviendrons néanmoins un raccordement pour la mise en route le matin, et nous enverrons à ce moment de la vapeur à une pression plus élevée, par exemple à 2 kg. pour mettre plus vite en régime, et pour ne pas augmenter outre mesure l'importance de nos appareils.

La vapeur à 2 kg. a une température de 133°.

Le tableau ci-dessous montre dans quelle proportion le rendement des radiateurs est augmenté :

TRANSMISSION par mètre carré	RADIATEURS lisses	TUYAUX à ailettes
Vapeur à 0 kg. 500	1,098 calories.	640 calories.
Vapeur à 2 kg.	1,350	787
Augmentation proportionnelle:	22,95 %	22,97 %

Ce qui correspond à peu près à l'augmentation de calories à produire pendant les deux heures de mise en route, qui est de 29,25 %. Un chauffage pendant deux heures et demie, ou mieux une pression de 2 kg. 5, amènerait une concordance parfaite des proportions.

Nous ne nous occuperons donc pas de la période de mise en régime autrement que pour prévoir l'addition de vapeur vive au ballon à la mise en route.

Le tableau ci-après résumera les calculs

GRAND ATELIER	MAGASINS D'EXPOSITION		RÉFECTOIRE	LAVABOS	HALL BUREAUX	
	Bâtiment d'Administra- tion	Bâtiment des Lavabos				
Calories à fournir par heure en marche normale	459,900	34,915	25,735	13,825	54,805	174,465
Pression de la vapeur d'échappement	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
Calories transmises par kg. de vapeur.	540,36	540,36	540,36	540,36	540,36	540,36
Poids de vapeur correspondant	832 <sup>m</sup> ,5	64 <sup>m</sup> ,6	47 <sup>m</sup> ,6	25 <sup>m</sup> ,6	101 <sup>m</sup> ,5	322 <sup>m</sup> ,9
Volume d'un kg. de vapeur	1 <sup>m</sup> 3,2	1 <sup>m</sup> 3,2	1 <sup>m</sup> 3,2	1 <sup>m</sup> 3,2	1 <sup>m</sup> 3,2	1 <sup>m</sup> 3,2
Volume de vapeur par heure	999 m <sup>3</sup>	77 <sup>m</sup> 3,6	57 <sup>m</sup> 3,1	30 <sup>m</sup> 7,7	121 <sup>m</sup> 7	387 <sup>m</sup> 5
— par seconde	0 <sup>m</sup> 3,2775	0,2155	0,1586	0,08,53	0,3338	0,10764
Vitesse d'écoulement par seconde à prévoir dans la conduite principale	15 m.	15 m.	15 m.	15 m.	15 m.	15 m.
Section correspondante	0,0185	0,001537	0,00106	0,00057	0,00226	0,007176
Diamètre correspondant théorique	135 mm.	43 mm.	37 mm.	27 mm.	54 mm.	96 mm.
— pratique	155 mm.	50/59	50/59	33/52	50/60	100/110
Calories transmises par mètre carré de surface de radiation :						
A ailettes	650	650	650	650	650	650
Lisses	"	"	"	"	"	1,098
Surface totale de radiation à prévoir :						
A ailettes	703 m <sup>2</sup>	54 <sup>m</sup> 2,5	50 <sup>m</sup> 2,2	21 <sup>m</sup> 8,6	85 <sup>m</sup> 8,6	96 m <sup>2</sup>
Lisses	"	"	"	"	"	158,9

### Chauffage de l'usine type par la vapeur d'échappement.

La quantité de calories que nécessite notre usine pour son chauffage en marche normale est relativement importante :

$$459,900 + 129,280 + 174,465 = 753,615 \text{ par heure.}$$

En réalité, nous mettrons davantage de surfaces de chauffe dans les Bureaux, car nous réaliserons le chauffage par robinets à réglage, sans pression dans les radiateurs, comme dans le projet précédent; la température sera moindre, la transmission par mètre carré de radiateurs diminuera dans la même proportion.

Nous savons qu'elle est de 900 calories pour la vapeur à basse



pression de 5 kg. de radiateur; nous mettrons donc :  
 100<sup>m</sup>,85, au lieu de 158<sup>m</sup>,90.

Nous pourrions ne mettre que 158<sup>m</sup>,90, en renonçant à la faculté de pouvoir régler, et en plaçant à l'entrée de chaque radiateur un robinet valve, et à la sortie un purgeur automatique d'eau condensée, ou encore un clapet de retenue et un purgeur d'air à chaque radiateur, et un purgeur d'eau général.

GRAND ATÉLIER.

Le croquis (fig. 68) montre la disposition, identique à celle que nous avons adoptée pour le chauffage à haute pression.

La surface des canalisations de vapeur étant relativement importante, nous en tiendrons compte dans le rendement. Elle

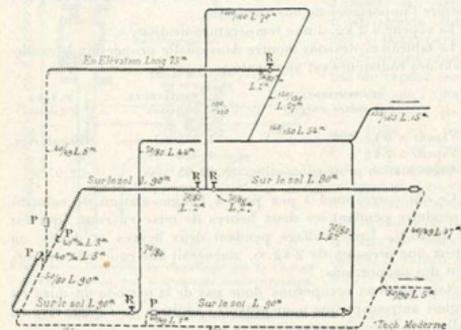


FIG. 68. — Schéma de chauffage de l'usine type par la vapeur d'échappement. (Grand Atelier.)

représente en réalité 80 m<sup>2</sup> de parois lisses, produisant une transmission de :

$$80 \times 1,098 = 87,840 \text{ calories.}$$

Les surfaces à ailettes auront donc à transmettre :

$$149,900 - 87,840 = 362,060 \text{ calories.}$$

En se reportant au rendement de 640 calories par mètre carré à ailettes, nous aurons :

$$\frac{362,060}{640} = 565^{\text{m}},70,$$

soit  $\frac{565}{1,30} = 435$  m. linéaires de tuyau de 70 mm. intérieur et 1<sup>m</sup>,30 de surface par mètre linéaire.

Nous placerons une rangée de 75 m. en élévation sous les fermes, et 4 rangées de chacune 90 m. autour de la salle, à hauteur du sol. A l'entrée de chaque groupe sera placé 1 robinet, et à la sortie 1 purgeur automatique.

Le devis s'établira comme suit :

1° Au départ : 1 robinet valve de 155 mm. . . . .	200 fr.
2° Sur les surfaces : 5 robinets valves de 70 mm. . . . .	500 »
3° Tuyauteries de distribution, en acier à joints de brides :	
En 155/165 mm. . . . .	15 mètres.
150/150 — . . . . .	54 —
120/130 — . . . . .	27 —
4° En fer, à joints vissés : . . . . .	4,000 »
En 100/110 mm. . . . .	70 mètres.
70/80 — . . . . .	56 —
5° Supports à rouleaux, etc. . . . .	
<i>A reporter.</i>	4,600 fr.

6° Joints d'expansion : 1 de 150	<i>Repart.</i>	4,600 fr.
1 de 120		
1 de 100		1,000 »
2 de 70		
5 de 40		
7° 435 mètres-de tuyaux à ailettes, n° 1, par longueurs de 1 <sup>m</sup> ,50.		
8° Supports et colliers à rouleaux.		10,170 »
9° Joints, boulons, coudes		
10° 5 Purgeurs automatiques d'eau condensée		350 »
11° Tuyauterie de retour d'eau condensée en tuyaux de fer, raccords fonte taraudés, coudes, tés, colliers de support à scellements et à rouleaux :		
En 10/19 mm. . . . .	60 mètres.	2,180 »
50/60 — . . . . .	90 —	
60/70 — . . . . .	85 —	
80/90 — . . . . .	5 —	
12° Ventilation, entrées d'air pur et évacuations comme au projet pour la vapeur à haute pression.		2,300 »
Total : Grand Atelier. . . . .		20,600 fr.

MAGASINS D'EXPOSITION. LAVABOS. RÉFECTOIRE.

La disposition sera absolument identique à celle prévue pour le chauffage sous pression de 5 kg.

Les surfaces de tuyaux à ailettes trouvées représentent, en tuyaux semblables à ceux employés au grand atelier :

Magasin d'Exposition du Bâtiment d'Administration.	54,5	= 42 mètres.
"                                  "                                  "	4,3	
"                                  "                                  "	37	= 28 —
"                                  "                                  "	1,3	
Réfectoire	21,6	= 17 —
"                                  "                                  "	1,3	
Lavabos. . . . .	85,6	= 66 —
"                                  "                                  "	1,3	

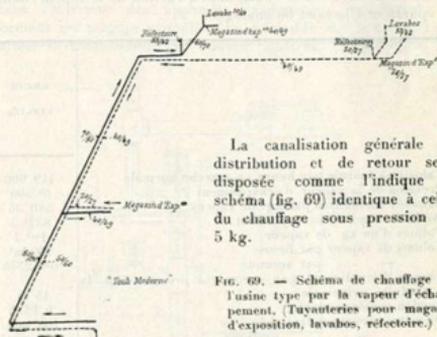


FIG. 69. — Schéma de chauffage de l'usine type par la vapeur d'échappement. (Tuyauteries pour magasin d'exposition, lavabos, réfectoire.)

Devis de Canalisation Générale.

1° 1 robinet de prise de vapeur de 80 mm. . . . .	100 fr.
2° Conduits de vapeur et de retour en fer, savoir :	
En 80/90 mm. . . . .	15 mètres.
70/80 — . . . . .	20 —
50/60 — . . . . .	20 —
40/50 — . . . . .	50 —
33/32 — . . . . .	5 —
20/27 — . . . . .	10 —
3° Joints d'expansion . . . . .	110 »
Ensemble . . . . .	1,200 fr.
<i>A reporter.</i>	1,200 fr.



MAGASIN D'EXPOSITION (BATIMENT D'ADMINISTRATION).		
	<i>Report.</i>	1.200 fr.
Surfaces à ailettes 42 mètres, compris joints et supports.	825 fr.	
Robinet d'entrée de vapeur 40 mm., purgeur 20 mm.	75 "	
Tuyauteries en fer :		
40/49 mm. . . . . 15 mètres.	} 300 "	
33/42 — . . . . . 15 —		
20/27 — . . . . . 10 —		
Ventilation, comme au projet par vapeur haute pression.	550 "	
Ensemble . . . . .		1.750 fr.

MAGASIN D'EXPOSITION (BATIMENT DES LAVABOS).		
Surfaces à ailettes, comme ci-dessus, longeur 28 mètres . . . . .	75 "	
Robinet de vapeur de 40 mm., purgeur 20 mm.	75 "	
Tuyauteries en fer :		
40/49 mm. . . . . 2 mètres.	} 30 "	
20/27 — . . . . . 2 —		
Ventilation, comme au projet par vapeur haute pression.	325 "	
Ensemble . . . . .		980 fr.

REFECTORIO ET LAVABOS.		
Surfaces à ailettes, comme ci-dessus, longeur 17 m. 66 mètres . . . . .	1.650 fr.	
Robinets de vapeur de 50 et 33 mm., purgeurs 30 et 20 mm. . . . .	150 "	
Tuyauteries en fer :		
50/60 mm. . . . . 7 mètres.	} 120 "	
33/42 — . . . . . 4 —		
20/27 — . . . . . 4 —		
Ventilation, comme au projet par vapeur haute pression.	820 "	
Ensemble . . . . .		2.740 fr.

BATIMENT D'ADMINISTRATION, BUREAUX ET HALL.		
1 robinet de prise de vapeur de 100 mm. . . . .	150 fr.	
Le reste comme au projet par la vapeur vierge.	16.740 "	
Ensemble . . . . .	16.860 "	
Total général. . . . .		23.530 fr.

Reste à ajouter l'installation de prise de vapeur, que nous supposons identique à celle représentée (fig. 67) avec ballon collecteur de vapeur, et précédée d'un séparateur d'huile.

On peut l'estimer à 1.500 francs.  
La dépense totale sera donc :

Prise de vapeur . . . . .	1.500 fr.
Grand Atelier . . . . .	20.600 "
Autres bâtiments . . . . .	23.550 "
Ensemble. . . . .	45.630 fr.

Soit par mètre cube chauffé :  
 $\frac{45.630}{89.770} = 0 \text{ fr. } 509$

et par calorie-heure à transmettre :  
 $\frac{45.630}{753.645} = 0 \text{ fr. } 0605.$

La dépense sera :

Pendant les 2 premières heures de mise en route, comme au projet par vapeur à haute pression, en charbon. 437 kg.

Pendant chacune des 10 autres heures, l'augmentation de consommation 0,0056 de charbon par cheval-heure, soit pour 150 chevaux et 10 heures 0,0056  $\times$  150  $\times$  10 = 7,84.

Admettons que ce chiffre soit déguéplé 78 kg.

Au total. . . . . 515 kg.

30 francs la tonne = 15 fr. 15.

Soit, par mètre cube chauffé :  
 $\frac{15,45}{89,770} = 0 \text{ fr. } 000172$

et par calorie heure utile :  
 $\frac{15,45}{753,645} = 0 \text{ fr. } 0000205$

CHAPITRE XIII

CHAUFFAGE PAR LA VAPEUR A UNE PRESSION EGALE OU INFÉRIEURE A LA PRESSION ATMOSPHÉRIQUE

Dans tous les systèmes de chauffage par la vapeur que nous avons précédemment examinés, la vapeur est toujours à une pression supérieure à la pression atmosphérique, même dans les chauffages par la vapeur à basse pression et par la vapeur d'échappement.

En Amérique et en Angleterre, on emploie beaucoup, depuis quelques années, sous le nom de « Vacuum systems », des systèmes qui fonctionnent à une pression inférieure à la pression atmosphérique.

Les avantages préconisés sont :

1° *Utilisation plus parfaite des surfaces de chauffe*, le vide préalable ayant enlevé de ces surfaces la plus grande partie de l'air, qui est un obstacle à la condensation de la vapeur. Par suite, les surfaces peuvent être moins importantes, puisque leur puissance de condensation augmente.

2° *Rapidité de circulation plus grande*. — La vapeur n'ayant plus à chasser devant elle l'air qui s'oppose à son passage, et étant au contraire aspirée par la succion que tend à produire le vide, on peut envisager des vitesses de circulation plus considérables, 70 et 80 m. par seconde, par exemple. Par suite, les tuyauteries peuvent être de diamètres beaucoup plus petits.

3° *Facilité de faire varier la température*, et par suite la puissance de transmission des appareils. En effet, plus le vide devient important, et plus la température de la vapeur diminue. Il suffit donc d'augmenter le degré de vide pour diminuer la température de la vapeur. A la pression de l'atmosphère, la vapeur est à 100°; à 1/2 atmosphère, cette température descend à 81° environ, et ainsi de suite.

Le vide peut être produit de différentes manières :

Soit par un condenseur à mélange ou à surface, mais cette méthode a l'inconvénient de nécessiter une dépense d'eau.

Soit par une pompe à vide, procédé le plus généralement employé, et qui ne nécessite aucune dépense, l'échappement étant renvoyé au chauffage.

Le système comprend donc schématiquement une tuyauterie d'alimentation de vapeur raccordée à des radiateurs ou à des surfaces chauffantes quelconques, une canalisation de retour d'eau condensée, se terminant à une pompe, qui refoule à une bâche.

Chaque radiateur ou surface étant muni d'un robinet d'arrêt de vapeur, on commence par faire marcher la pompe sans ouvrir les robinets, de manière à aspirer l'air et à produire le vide correspondant à la température que l'on désire, puis on ouvre les robinets de vapeur, et la pompe fonctionne comme pompe à eau.

Une installation schématique comme celle-ci fonctionnerait, du reste, d'une manière déféctueuse :

1° La vapeur passerait dans les tuyaux de retour et nuirait à la marche; il est nécessaire de l'arrêter à la sortie de chaque appareil par un système purgeur quelconque;

2° Le vide ne serait pas égal en tous points; il diminuerait au fur et à mesure de l'éloignement de la pompe, et le chauffage serait irrégulier. Il faut donc des régulateurs du vide;