

Détendeur Grouvelle et Arquembourg. — Tous les appareils détenteurs de MM. Grouvelle et Arquembourg sont basés sur le déplacement d'une membrane en caoutchouc, soutenue par des secteurs en acier, qui évitent sa déformation, tout en lui laissant une grande mobilité d'action. Ces membranes sont toujours placées dans une position telle qu'elles soient recouvertes d'eau, et l'appareil est muni d'ailettes qui contribuent, autant que possible, à refroidir cette eau. En réalité, et c'est là le point critique de tous les appareils à membrane en caoutchouc, le contact continu de la vapeur avec le métal des appareils et avec l'eau donne toujours à cette eau une température élevée, et on peut craindre que les membranes n'aient qu'une durée limitée.

La vapeur à haute pression arrive par une tubulure en bronze L, traverse les sièges d'une soupape double équilibrée M, en bronze, se détend dans son passage par ses orifices réduits, et sort, à une pression réduite, par la tubulure en fonte A

(fig. 399 et 400).

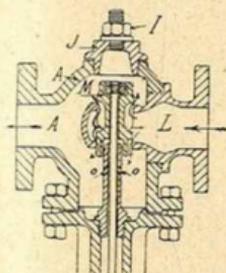


FIG. 399.

Tout le système de soupape et siège de la soupape est à dilatation libre, de manière à éviter les coincements.

La soupape M est raccordée par la tige N à la membrane P, et cette membrane

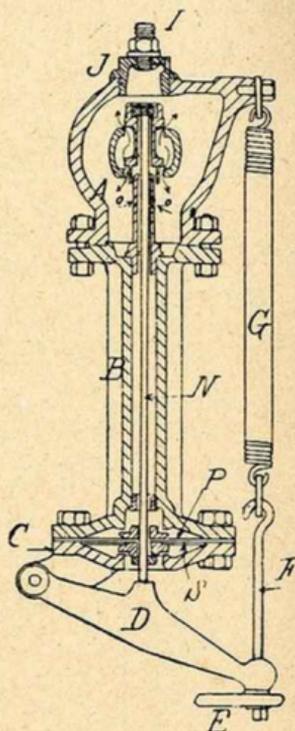


FIG. 400.

reçoit elle-même la pression de la vapeur détendue par les orifices *o, o*, réservés sur la tige de guidage creuse de la tige N. Cette tige N est prolongée à l'extérieur jusqu'à un levier D, articulé en C, et soumis à l'action d'un ressort G, dont la tension est réglée par le volant E.

Quand le détendeur est en fonctionnement, la pression de la vapeur détendue est indiquée par un manomètre branché sur le bouchon I; on règle la tension du ressort G, au moyen du volant de manœuvre, jusqu'à ce que la pression soit celle demandée, et toute variation de cette pression se transmettrait à la membrane, qui s'abaisserait ou s'élèverait, en augmentant ou diminuant les orifices de débit de la soupape M, pour rétablir la pression normale.

Pour avoir une pression absolument constante, il faut annuler les efforts dus aux variations de tension du ressort au moment des changements de débit. Le levier a une forme telle qu'à une augmentation de tension de ce ressort correspond une diminution du bras de levier sur lequel il agit.

On dispose un ou plusieurs ressorts G conjugués, suivant la valeur de la réduction de pression demandée.

Pour une réduction de 3 kilogrammes, 1 seul suffit. On emploie deux ressorts pour une réduction de 6 kilogrammes, trois ressorts pour 9 kilogrammes, etc.

Cet appareil permet donc à lui seul une chute de pression très importante, et ne nécessite pas l'emploi de plusieurs détendeurs successifs, comme nous l'avons vu pour certains des appareils précédemment décrits.

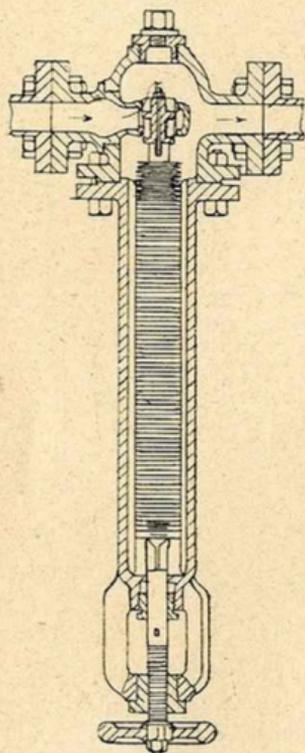


FIG. 401.

Thermo-détendeur Grouvelle et Arquembourg. — Nous avons vu, dans le chapitre des *Noies techniques* (p. 48 et suiv.), qu'à chaque pression de vapeur correspond une température rigoureusement constante.

MM. Grouvelle et Arquembourg ont appliqué cette propriété à la construction d'un thermo-détendeur, c'est-à-dire d'un appareil produisant automatiquement la détente par l'action de la température de la vapeur détendue.

La figure 401 représente cet appareil. La vapeur à haute pression arrive par la tubulure en bronze, passe par les sièges de la soupape équilibrée, et sort à pression réduite par la chambre et la tubulure en fonte qui fait suite à cette chambre.

La soupape est solidaire d'une tige, réglable par un volant de manœuvre, et montée sur un tube plissé, dilatable.

Ce tube plissé a une très grande surface de contact avec le milieu dans lequel il est plongé, ce qui lui permet de se mettre rapidement en équilibre de température et lui donne une grande sensibilité. Il est placé dans une chambre, munie de nervures de guidage intérieures, et qui fait corps avec la chambre de vapeur détendue.

On règle l'appareil à l'origine, en plaçant un manomètre sur le bouchon de la chambre, du côté de la vapeur à pression réduite, et en manœuvrant le volant jusqu'à ce qu'on ait établi les orifices convenables pour le débit de la soupape.

Si la pression tend à augmenter, la température augmente en même temps, le tube se dilate, et son allongement produit la fermeture des orifices de la soupape.

Ce détendeur n'est pas aussi sensible et aussi rapide dans son action que le détendeur précédent ; il n'est pas non plus aussi précis, car, l'enveloppe étant refroidie par l'air extérieur, la température de la vapeur qu'elle contient, et qui agit sur le tube dilatable, n'est pas rigoureusement celle de la vapeur détendue. Aussi cet appareil ne semble-t-il pas devoir convenir pour les très basses pressions, ou pour les chutes de pression très importantes. Il paraît applicable surtout aux appareils à moyenne pression.

Détendeur Kaeflerle (*fig. 402*). — Ce détendeur allemand est un appareil de précision, au point de vue théorique, mais on peut craindre que les dilatations des organes métalliques placés dans la chambre de vapeur ne viennent nuire à la régularité de son fonctionnement.

Une disposition identique comme principe avait, du reste, été imaginée par MM. Geneste et Herscher, en France, il y a une trentaine d'années.

La vapeur à haute pression entre par H, passe dans la boîte en bronze D, se détend dans les orifices de passage K de la soupape double équilibrée *d*, et sort à pression réduite par la tubulure H. La soupape *d* est commandée par le système de bielle *h* et de tige Z, avec un flotteur P, qui plonge dans le mercure X de la boîte Q. Ce mercure arrive de la boîte Q₁ par les tubes plongeurs concentriques R₁, S, et le tuyau de communication R.

Le tube R₁ est mobile dans le tube S, et son déplacement, qui se fait au moyen du petit volant *m*, règle la hauteur de la boîte Q₁.

La pression réduite correspond à la différence des niveaux du mercure dans les récipients Q et Q₁, et cette différence peut être déterminée d'une manière très précise par la manœuvre du volant *m*.

Le flotteur P est assez lourd pour entraîner facilement la bielle *h*, et son oscillation la plus minime se transmet à la soupape *d*, en réglant les orifices *k*.

Si la vapeur arrive en quantité insuffisante, la pression réduite diminue en N, une certaine quantité de mercure revient du récipient Q₁ dans le récipient Q, dans lequel le niveau s'élève ; le flotteur N se soulève et ouvre davantage la soupape *d*, jusqu'à ce que la vapeur, passant en plus grande quantité, rétablisse la pression réduite normale.

A ce moment, le mercure est refoulé de Q vers Q_1 , et le mouvement de descente du flotteur réduit l'ouverture de la soupape d .

Pour éviter les projections de mercure que produiraient des oscillations trop brusques, deux petites billes x et x_1 en acier, formant soupapes

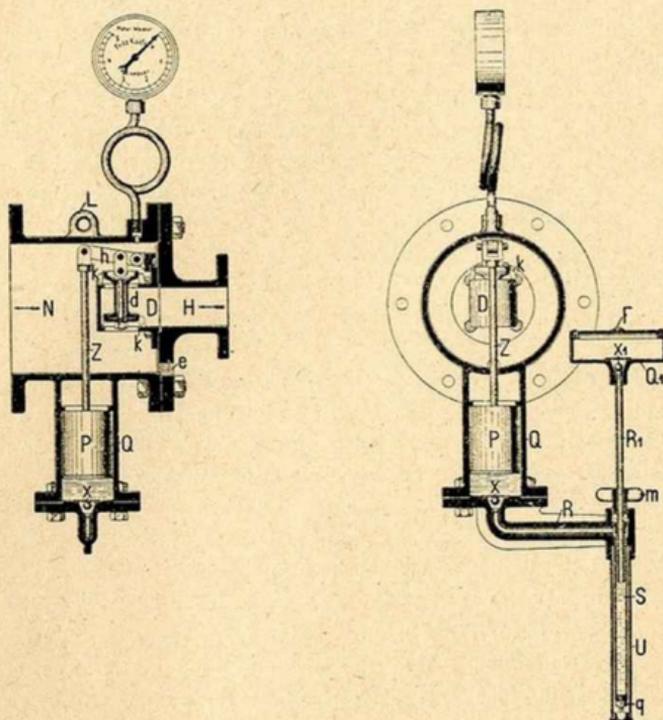


FIG. 402.

de sûreté, sont placées aux orifices d'arrivée du mercure dans les récipients. Elles plongent dans le mercure, et laissent ouvertes les tubulures, en marche normale. Mais, si elles viennent à être découvertes, soit en Q par la trop grande pression, soit en Q_1 par la trop faible pression, elles retombent sur leurs sièges pendant le temps très court nécessaire au rétablissement de l'équilibre, et évitent les projections au moment où le mouvement de mercure commence ensuite. Le mercure ne peut jamais être refoulé à l'extérieur, le flotteur P fermant la boîte Q quand il s'élève trop, la boîte Q_1 étant complètement fermée, et un tube U enveloppant le tube S , comme mesure de précaution, pour le cas où une fuite viendrait à se produire.

On introduit le mercure par le bouchon à vis F , sur le récipient Q_1 . On

vide, au contraire, le mercure en dévissant d'abord le tube-enveloppe U, puis le bouchon *q* du tube S.

Les détendeurs Kaerferle sont construits en trois types différents, correspondant chacun à dix diamètres d'orifices, et permettant de réduire d'une pression quelconque à la pression la plus basse demandée.

RÉGLAGE A DISTANCE DE LA PRESSION DE VAPEUR

Tous les détendeurs dont nous avons parlé jusqu'ici doivent être manœuvrés à la main et ne peuvent pas être réglés à distance.

Dans les chauffages à vapeur de grands édifices, par exemple lorsqu'il s'agit d'un certain nombre de bâtiments chauffés par une usine centrale comme des pavillons d'hôpitaux, il est excessivement intéressant de pouvoir distribuer la vapeur à haute pression jusqu'en un point central de chaque pavillon, et de régler la pression de la vapeur détendue, en tous ces points centraux, au moyen d'un seul appareil, placé dans la chambre de chauffe, et sans que le mécanicien ait à se déranger.

Avec de tels appareils, réglables à distance, munis de manomètres à contacts électriques maxima et minima, qui indiquent au mécanicien, par une sonnerie et un tableau indicateur, si la pression monte ou descend au-dessous des limites fixées, on pourrait avoir toute sécurité, et réduire le personnel chargé de la surveillance à un seul homme placé dans la chaufferie.

MM. Grouvelle et Arquembourg ont résolu ce problème par leurs appareils servo-régulateurs et régulateurs asservis, fonctionnant soit par l'eau, soit par l'air comprimé.

Servo-régulateurs et régulateurs asservis fonctionnant par l'eau. — Le mode de réglage par l'eau est le premier qui ait été établi par MM. Grouvelle et Arquembourg, et a reçu de nombreuses applications, notamment dans la marine française, qui l'imposait pour le chauffage des cuirassés jusque vers 1904-1905.

Le principe en est des plus simples.

Le servo-régulateur (*fig.* 403) est placé dans la chaufferie, sous le contrôle du mécanicien, qui le règle et le fait varier à volonté.

La vapeur à haute pression, prise sur le collecteur des générateurs par le tuyau A, pénètre, par un orifice de tout petit diamètre D, dans une chambre G, dont la partie inférieure est remplie d'eau. Elle sort de cette chambre, ainsi que l'eau en excès, par un tube et un orifice B, de plus petit diamètre, de telle manière qu'il puisse exister dans cette chambre,

à la surface de l'eau, une certaine pression, inférieure cependant à la pression de la chaudière, puisque l'orifice B est plus petit que l'orifice D, et que l'excès de vapeur s'écoule par un tube C.

D'autre part, la vapeur peut encore s'échapper de la chambre G par un clapet E, maintenu en position par un ressort, dont la tension est réglée par un volant F.

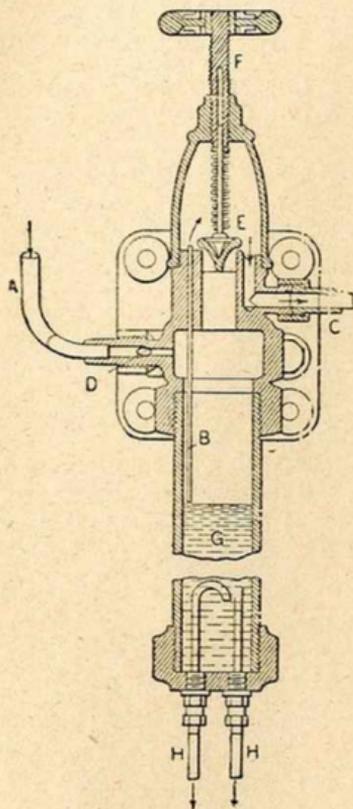


FIG. 403.

En réglant convenablement la tension de ce ressort, la chauffeur peut donc maintenir en G la pression qu'il désire, et cette pression lui est indiquée par un manomètre. Au besoin, ce manomètre peut être muni lui-même de deux contacts à sonneries électriques, maxima et minima, permettant au chauffeur de ne pas le surveiller d'une manière constante.

Du fond de la chambre G partent des petits tuyaux capillaires H, H, en nombre égal à celui des régulateurs asservis correspondant aux divers bâtiments, et transmettant hydrauliquement à ceux-ci la pression qui existe dans cette chambre G. Cette transmission est absolument intégrale, puisque l'eau n'est pas compressible.

Les régulateurs asservis (fig. 404) sont de construction identique à celle des détendeurs Grouvelle et Arquembourg précédemment décrits (fig. 399 et 400), à l'exception des ressorts et du levier de commande.

La chambre existant au-dessous de la membrane I est remplie d'eau, et raccordée au tube capillaire H, qui transmet la pression de la chambre G du servo-régulateur précédemment décrit. On comprend facilement que chaque changement de pression dans la chambre G du servo-régulateur se transmet, par l'intermédiaire de l'eau, sous cette membrane, qui s'élève ou s'abaisse, en entraînant dans son mouvement la tige K et la soupape J. Ainsi, la position de cette soupape, c'est-à-dire la section de passage de la vapeur entre la tubulure d'arrivée L à haute pression et la tubulure de sortie M à pression réduite, est réglée automatiquement par la pression que per-

met le mécanicien au servo-régulateur placé dans la chaudière.

Cet ensemble d'un servo-régulateur et d'un nombre quelconque de régulateurs asservis est évidemment très difficile et très délicat à régler à la mise en route ; il ne peut bien fonctionner que si toutes les membranes sont en parfait état, mais, quand tout est en ordre normal de marche, les régulateurs asservis sont très sensibles, et les constructeurs assurent qu'ils règlent sans secousse et sans à-coup, depuis les plus hautes pressions jusqu'aux plus basses, à $1/10^e$ d'atmosphère près.

L'eau contenue dans les tubes capillaires est mélangée avec de la glycérine pour éviter la gelée ; on a soin, du reste, de placer ces tuyaux capillaires tout près des tuyaux de distribution de vapeur.

On a toutefois compris déjà que le fonctionnement du servo-régulateur ne se fait qu'aux dépens d'une certaine perte de vapeur, puisqu'il est nécessaire qu'il y ait un écoulement constant pour que la pression dans la chambre G de ce servo-régulateur soit toujours inférieure à la pression à la chaudière.

On peut, évidemment, ne pas perdre les calories que contient cette vapeur, et la condenser dans un serpentin contenu dans la bêche d'alimentation du générateur. Mais c'est là une complication, et MM. Grouvelle et Arquembourg ont tenté de la supprimer en réglant les détendeurs asservis au moyen d'air comprimé.

Régulateurs asservis fonctionnant par l'air comprimé (fig. 405). — Les régulateurs asservis sont construits identiquement comme ceux qui fonctionnent par l'action de l'eau, mais le réservoir inférieur est rempli d'air, et c'est aussi de l'air qui arrive par les tubes capillaires.

L'air comprimé peut être obtenu dans un réservoir R, soit par une canalisation de ville ou d'usine, s'il existe une distribution d'air comprimé, soit tout simplement par une pompe à main.

La capacité du réservoir à air comprimé peut être très faible, $1/2$

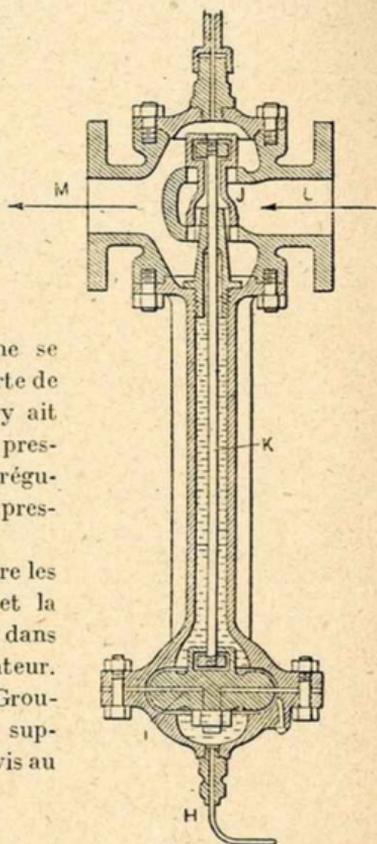


FIG. 404.

environ, et les tubes capillaires n'ont que 2 à 3 millimètres. La pression dans le réservoir R est réglée à volonté par deux robinets r et r' , dont l'un communique avec la pompe ou avec la source d'air comprimé, et l'autre avec l'atmosphère, pour augmenter ou diminuer à volonté cette pression.

Toutefois, nous pensons que ce système est moins bon que le précédent, car, l'air étant très compressible et très dilatable sous l'influence de

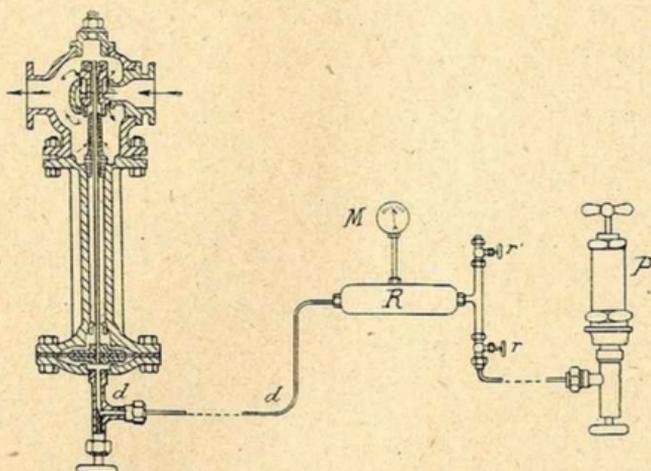


FIG. 405.

la chaleur, la pression sous les membranes des régulateurs asservis peut être influencée par la température du milieu dans lequel ils sont placés. Il se peut donc très bien, qu'alimentés par un même réservoir d'air, mais par des tuyaux qui traversent des milieux à températures différentes, tous les régulateurs asservis ne soient pas réglés d'une manière identique, ni rigoureusement constante.

A notre avis, le réglage par l'air comprimé est moins recommandable que l'ancien système de réglage par l'eau.

RADIATEURS. — POÊLES ET SURFACES A AILETTES

Les radiateurs, poêles et surfaces à ailettes ont été entièrement décrits et expliqués dans le chapitre relatif aux *Chauffages par la vapeur à basse pression* ; nous ne les décrirons pas à nouveau ici.

Nous signalerons, toutefois, que la pression de vapeur dont on dispose permet de faire remonter les eaux de condensation, et qu'on peut se servir de cette faculté pour simplifier certaines distributions parfois difficiles,

et qu'il serait impossible d'employer avec de la vapeur à basse pression.

La figure 406 montre une disposition de radiateur et tuyau de purge qui a été autrefois employée par M. d'Anthonay, et qui a donné de bons résultats, sauf des claquements inévitables à la mise en route, au moment du contact de la vapeur à 2 kilogrammes avec l'eau refroidie restant dans le fond du poêle.

Le poêle était du type à ailettes, assemblé sur un socle et surmonté d'un chapiteau en fonte.

Le robinet en bronze, du type à boisseau, et dont la tige de manœuvre était prolongée jusqu'à l'extérieur du chapiteau, portait deux tubulures séparées, raccordées à deux conduites extérieures différentes. L'une correspondait à l'admission de vapeur, qui se faisait à la partie haute, l'autre était prolongée à l'intérieur du poêle, de manière à plonger jusqu'au fond, et à vider, par suite de la pression de vapeur, presque toute l'eau qui se condensait dans l'appareil. En fermant le robinet, on fermait à la fois l'arrivée de vapeur et l'évacuation d'eau condensée. L'appareil était complété par un purgeur d'air automatique, qui laissait de suite rentrer l'air dans le

poêle, pour éviter la formation du vide, et il ne restait à l'intérieur que la quantité d'eau résultant de la condensation de la vapeur qui le remplissait au moment de la fermeture du robinet.

Cette disposition de robinet double, qui date de 1890 et peut-être même est plus ancienne, est assez curieuse à rapprocher des appareils analogues, cités dans notre description des organes spéciaux employés dans les chauffages par la vapeur à basse pression, et notamment de ceux employés par M. Lebœuf sous la direction de M. Hallé, ingénieur des Magasins du Louvre à l'hôtel Terminus de la gare Saint-Lazare et à l'hôtel Crillon.

Les dispositions diverses des poêles et surfaces chauffantes à ailettes employées dans les chauffages à vapeur à haute et à moyenne pressions n'ont aucun intérêt ici ; nous renvoyons à ceux décrits dans le chapitre

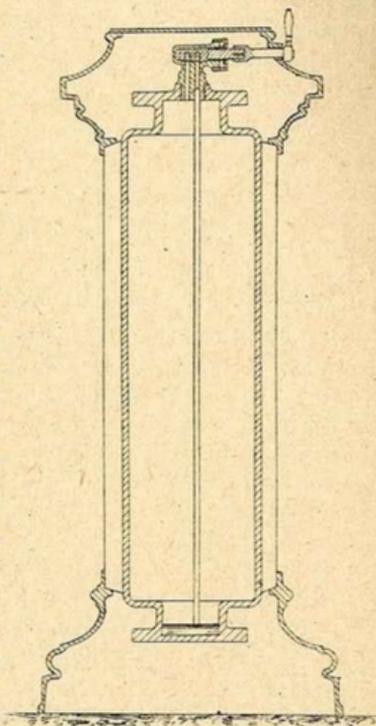


FIG. 406.

précèdent des *Chauffages par la vapeur à basse pression*. Disons, toutefois, que ces appareils demandent des joints plus sérieux, et que c'est là un des principaux défauts de ce système, qui est maintenant presque uniquement employé pour les chauffages d'usines, dans lesquels les fuites ont moins d'importance, et peuvent être réparées presque de suite par les mécaniciens de ces usines.

ROBINETTERIE

Les robinets employés dans les installations de chauffage par la vapeur à haute et moyenne pressions sont presque toujours des types à clapets, et rarement des types à boisseaux.

Ils doivent être de construction beaucoup plus robuste que les robinets employés dans les chauffages par la vapeur à basse pression, munis de

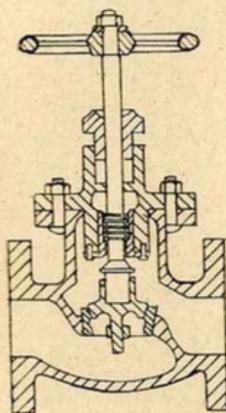


FIG. 407.

presse-étoupes très soigneusement établis, et presque toujours à joints à brides (fig. 407 et 408).

Certains constructeurs se fiant sur la détente à basse pression de leurs détendeurs, emploient des robinets munis de régleurs analogues à ceux décrits au *Chauffage à basse pression*.

Cette disposition, excellente pour régulariser la distribution de vapeur dans l'ensemble des ap-

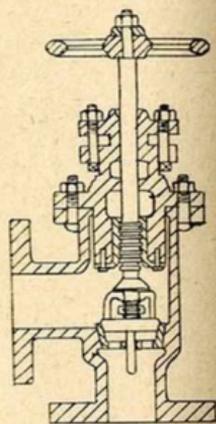


FIG. 408.

pareils, et empêcher que la vapeur n'aille plus facilement dans les appareils plus rapprochés, ou dans ceux alimentés par les conduites qui présentent moins de résistances, a cependant un défaut.

Elle crée, en effet, une grande différence de pression entre la vapeur dans la conduite et dans le radiateur, qui se traduit par une détente brusque, accompagnée d'un bruit fort désagréable, à l'entrée de la vapeur dans le poêle, bruit analogue à celui d'une soupape de sûreté qui s'ouvre, ou d'un joint qui fuit sur une conduite à haute pression.

PURGEURS AUTOMATIQUES DE VAPEUR ET D'EAU CONDENSÉE

A la sortie d'une surface de chauffe de ce type, on dispose un purgeur automatique, comme nous le verrons plus loin ; si, par raison d'économie, on n'emploie qu'un seul purgeur pour plusieurs appareils, il faut avoir soin de munir chacun d'eux d'un clapet de retenue à la sortie, pour éviter qu'il ne chauffe par le tuyau de retour après la fermeture du robinet, par suite de l'excès de vapeur venant des autres poêles. Dans ce cas, il est indispensable de munir chaque appareil d'un purgeur d'air automatique, pour éviter la formation du vide après la fermeture du robinet.

Tout compte fait, si on y considère que les purgeurs automatiques laissent évacuer l'air et l'eau, et suppriment la nécessité du purgeur d'air, on verra qu'il n'y a presque pas d'économie à mettre un clapet et un purgeur d'air sur un poêle à vapeur, plutôt qu'un petit purgeur automatique de vapeur et d'eau, dont il existe d'assez bons modèles, peu encombrants et peu coûteux.

Purgeurs à flotteur. — Les purgeurs à flotteur sont les plus anciens de ces appareils, et on peut encore les considérer comme les meilleurs et les plus sûrs ; malheureusement ils sont très encombrants, et trouvent difficilement leur place dans les installations de chauffage.

Un purgeur à flotteur se compose essentiellement d'une caisse en fonte (*fig. 409*), dans laquelle la vapeur et l'eau de condensation arrivent ensemble, à la partie supérieure, par une tubulure C. Dans l'intérieur est placée une boule flotteur en cuivre A, qui commande, au moyen d'un levier, la soupape S d'une tubulure de sortie D. Lorsque le réservoir est vide, ou contient très peu d'eau, la boule flotteur repose sur le fond, la soupape S est fermée, et la vapeur ne peut s'échapper.

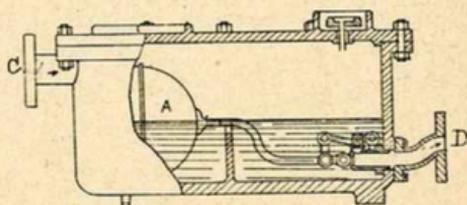


FIG. 409

L'eau condensée, arrivant en même temps que la vapeur, emplit peu à peu la caisse, et finit par soulever le clapet S, qui, étant à ce moment complètement levé, laisse échapper l'eau, sans que la vapeur puisse passer. Il s'établit un état de régime, la soupape S étant soulevée juste de la quantité nécessaire pour laisser passer l'eau au fur et à mesure de son arrivée.

L'air s'échappe par un clapet placé à la partie supérieure de la caisse.

Il existe de fort nombreux modèles de purgeurs à flotteur, basés tous sur un principe similaire, et qu'il serait oiseux de décrire ici.

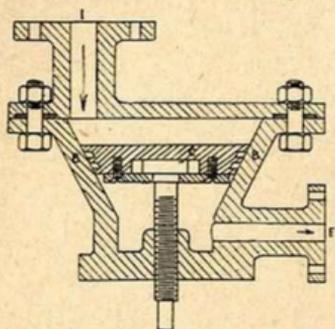


FIG. 410.

Dans la caisse se trouve un disque en bronze C, tronconique, dans lequel sont creusées des cannelures circulaires formant joint d'eau, et maintenu dans une position de réglage déterminée, au moyen d'une vis qui traverse la base de la caisse.

On comprend qu'un réglage est possible, pour que l'intervalle circulaire entre ce disque et la boîte laisse juste passer la quantité d'eau qui se condense, et pour que, aussitôt que l'eau est évacuée, la température de la vapeur soit suffisante pour dilater le disque, qui ferme l'intervalle libre, et arrête la vapeur.

Le réglage de ce purgeur est un peu délicat, mais, avec un appareil bien réglé pour un débit constant, le fonctionnement est très suffisant.

Purgeur Cleuet. — Ce purgeur (fig. 411), qui est antérieur à 1889, est composé d'un levier en fer F, et d'un tube dilatable en laiton A, fixé en b, sur la barre F, et libre à l'extrémité opposée, où se trouve placé un robinet R, dont la soupape C ferme l'orifice de sortie. Cette soupape est appliquée sur son siège par un ressort puissant, tendu au moyen de l'écrou E, et elle est commandée par le levier L, appuyé sur l'extrémité de la barre F. L'eau arrive par la tubulure V, et s'écoule par la tubulure D.

Tant que le tube A contient de la vapeur, la soupape C est fermée sur son siège. L'eau de condensation, en s'accumulant, détermine le refroi-

Purgeur système Richard. — Ce purgeur (fig. 410) est très ancien, et basé plutôt sur le principe de la dilatation. Il se compose d'une caisse en bronze B, dans laquelle le mélange de vapeur et d'eau condensée arrive à la partie supérieure par une tubulure I. Cette boîte a une forme tronconique, dont la petite base est tournée vers le bas, du côté de la tubulure de sortie E.

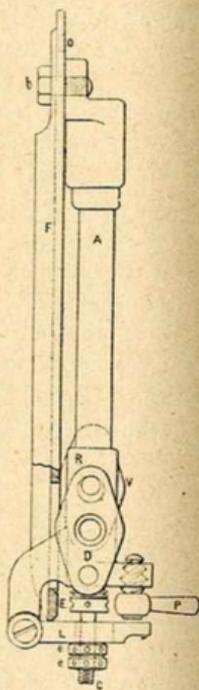


FIG. 411.

dissement du tube, qui se contracte, en tirant sur le levier. La soupape s'ouvre alors, et l'eau s'écoule d'une manière continue.

Le réglage se fait en vissant les écrous *e*, *e'*, quand le tube A est très chaud, pour amener le levier L au contact de la barre F.

Purgeur Geipel. — Ce purgeur (*fig. 412*) est basé sur la dilatation inégale de deux tubes : l'un en fer E, par lequel arrivent la vapeur et l'eau



FIG. 412.

de condensation ; l'autre S, par lequel l'eau est évacuée. Ces deux tubes sont raccordés à leur extrémité avec une boîte, dans laquelle se trouve placée une soupape, commandée par la dilatation du tube S. Quand la vapeur arrive, ce tube se dilate et ferme la soupape. Il se contracte au contact de l'eau, et permet un état de régime laissant écouler l'eau et arrêtant la vapeur.

Le réglage se fait au moyen d'un petit levier, commandé par un écrou A, et ramené à sa position par un ressort R.

Ce purgeur est assez régulier, mais il présente l'inconvénient d'être encombrant, la différence de dilatation ne pouvant être sensible que si les deux tubes ont une certaine longueur. L'encombrement varie de 30 centimètres, pour un purgeur débitant 250 litres par heure, à 85 centimètres, pour un débit de plus de 2.000 litres.

Purgeur Heintz. — Ce purgeur (*fig. 413*) est basé sur la dilatation et la déformation d'un arc formé par un tube en métal écroui, rempli d'un liquide très dilatable. Ce tube, maintenu en position à une extrémité sur une tige, au moyen d'un ressort à boudin, a son autre extrémité libre guidée sur la même tige, et portant un petit pointeau, qui vient obturer plus ou moins la tubulure par laquelle arrive le mélange de vapeur et d'eau de condensation.

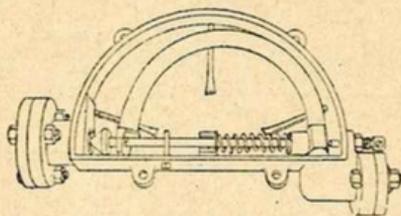


FIG. 413.

Le réglage se fait par une vis extérieure, et le tout est placé dans une

boîte plate, demi-circulaire, fermée par un couvercle, et portant les tubulures d'entrée et de sortie.

Tant que la boîte est remplie d'eau, le tube est contracté et laisse passer l'eau, mais, aussitôt que la vapeur arrive, le tube se dilate, et le pointeau vient obturer l'ouverture d'entrée.

Le purgeur Heintz a obtenu un très grand et très légitime succès. Aussi a-t-il été imité par de nombreux constructeurs, dès la chute du brevet qui le couvrait, et, aujourd'hui, on vend une quantité d'imitations, sous le nom de purgeurs « genre Heintz ». Ces copies, du reste, sont loin d'avoir la même valeur que leur modèle, et on doit prendre certaines précautions lorsque la raison d'économie les fait choisir de préférence.

Purgeur Grouvelle et Arquembourg (fig. 414). — Le fonctionnement de ce purgeur est basé sur l'obturation de l'orifice C d'arrivée d'eau condensée, par une soupape,

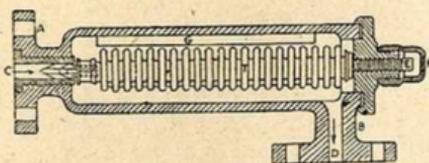


FIG. 414.

solidaire d'un tube plissé T, rempli d'un liquide dilatable.

Lorsque l'enveloppe ne contient que de l'eau froide, le tube est contracté, et la soupape C est ouverte, permettant l'écoulement de l'eau par la

tubulure D. Aussitôt que la vapeur arrive, le tube se dilate, et ferme l'orifice C. On règle l'appareil au moyen d'une vis E, de manière à assurer un écoulement permanent d'eau, sans permettre à la vapeur de passer.

Purgeur Willems et Cremer. — Ce purgeur (fig. 415) est de construction belge, et peut être considéré comme un des meilleurs : simple, peu coûteux, et excessivement peu encombrant, il convient parfaitement pour les installations de chauffage. Il se compose d'un tube extérieur, avec une entrée portant un

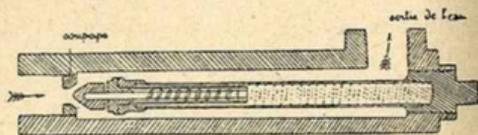


FIG. 415.

siège de clapet vissé, et dont la position est réglable dans l'enveloppe. Dans l'intérieur se trouve un tube, contenant un liquide excessivement dilatable, qui pousse devant lui un piston, terminé par un pointeau, qui ferme plus ou moins l'ouverture d'arrivée ¹.

1. On trouve dans les catalogues allemands, sous le nom de purgeur Samson, une disposition identique. Nous avons connu ce purgeur en Belgique, de là le nom de purgeur belge que nous lui donnons. Est-il allemand ?

Tant que le tube extérieur est rempli d'eau, le liquide est contracté, laisse ouverte la tubulure d'arrivée. Aussitôt que la vapeur arrive, le liquide se dilate, pousse devant lui le piston, et la tubulure d'entrée se ferme.

La position de ce tube, contenant le liquide dilatable, est réglée par une vis, manœuvrable de l'extérieur.

Il nous serait impossible, du reste, de citer tous les modèles de purgeurs basés sur le principe de la dilatation d'un liquide dans un tube écroui. Il en existe des quantités de modèles, imitations plus ou moins heureuses comme principe et comme forme de ceux des figures 414 et 415.

En terminant, disons que les purgeurs automatiques sont tous, plus ou moins, des appareils défectueux, qu'il faut régler fréquemment, et qui ne donnent pas sécurité. C'est certainement à eux qu'est dû le fonctionnement irrégulier des anciens chauffages par la vapeur.

CHAPITRE XVI

CHAUFFAGE PAR LA VAPEUR D'ÉCHAPPEMENT

On peut songer à utiliser la vapeur d'échappement pour le chauffage quand on ne dispose que de moteurs à puissance réduite, ne dépassant pas 25 à 30 chevaux, et pour lesquels la complication de la marche au condenseur ne serait pas compensée par l'économie de vapeur, ou encore lorsqu'on ne dispose pas facilement de l'eau nécessaire au fonctionnement à condensation de moteurs plus puissants.

En réalité, dans les usines disposant de force motrice importante, il est indiscutable qu'on a économie à employer des moteurs à condensation, et à chauffer par la vapeur vierge, à haute ou à moyenne pression, suivant les méthodes décrites au chapitre xv précédent.

Au contraire, dans le cas des petits moteurs, il est extrêmement intéressant d'utiliser la vapeur d'échappement, puisque celle-ci contient encore 530 à 540 calories par kilogramme, et qu'un cheval nécessite une consommation de 12, 15 et même 20 kilogrammes de vapeur, suivant que le moteur est d'un type plus ou moins parfait.

Nous verrons plus loin, au chapitre xvii, comment, à l'étranger, on a résolu le problème d'éviter la contre-pression au cylindre du moteur, en aspirant sur une canalisation de chauffage par la vapeur d'échappement, au moyen de pompes spéciales (*vacuum system*).

En France, ces systèmes un peu compliqués ne sont pas, ou presque pas employés, et on se contente de traiter les chauffages par la vapeur d'échappement comme des chauffages par la vapeur à pression réduite, ou comme des chauffages par la vapeur à très basse pression.

On admet au moteur une contre-pression variant de 200 à 500 grammes, suffisante pour vaincre les résistances des canalisations de distribution, et on dispose les conduites, les robinetteries et les appareils absolument comme dans le cas d'un chauffage à vapeur ordinaire.

Encore aurait-on réellement avantage, si on étudiait bien la question

et si la réduction de la dépense d'installation ne primait pas toutes les autres, à condenser la vapeur dans un serpentin qui chaufferait de l'eau, et, au moyen d'un accumulateur de chaleur, à conserver les calories ainsi récupérées dans une masse d'eau, qu'on ferait circuler avec une pompe, ou comme un chauffage ordinaire par l'eau chaude.

La prise de vapeur peut se faire de plusieurs manières différentes.

La manière la plus simple consiste à placer, sur le parcours du tuyau d'échappement allant de la machine à l'extérieur, un robinet à boisseau à trois voies, qui ouvre entièrement l'échappement sur le chauffage en hiver, ou sur l'évacuation à l'extérieur pour le service d'été (fig. 416).

Dans ce cas, on ajoute, par mesure de sécurité, un manomètre indiquant la contre-pression, et une soupape de sûreté, réglée pour la contre-pression de marche maximum, et dont la tubulure de sortie est raccordée avec l'évacuation à l'extérieur, au-dessus du robinet à trois voies.

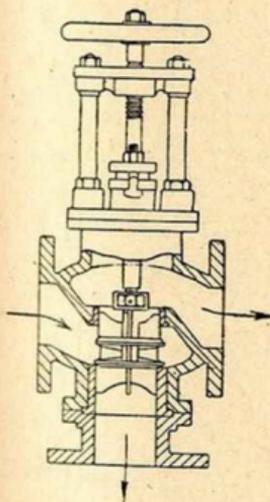


Fig. 417.

On trouve, chez tous les marchands de robinets, une soupape à trois voies (fig. 417), qui offre l'avantage de ne pouvoir jamais être complètement fermée. Elle permet, soit d'ouvrir entièrement l'échappement vers l'extérieur, soit de le diriger complètement vers le chauffage, soit de le diriger en partie sur l'un, et en partie sur l'autre.

L'examen de la figure montre que ce robinet est toujours ouvert vers l'une des deux tubulures, et qu'il est impossible de fermer l'une sans ouvrir l'autre.

Néanmoins, il est prudent, même avec ce robinet, d'employer le dispositif de soupape de sûreté sur la canalisation allant au chauffage, car, si toute l'ouverture du robinet était réglée de ce côté, et qu'on vienne à fermer les

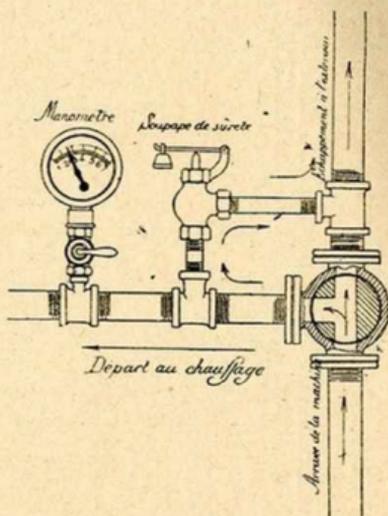


Fig. 416.

Robinet existants sur tous les appareils de chauffage, il pourrait se produire un accident au moteur.

En Angleterre et en Amérique, on emploie une disposition plus simple

(fig. 418), qui consiste à intercaler sur la conduite d'échappement, au-dessus de la prise du chauffage, un clapet spécial, qu'on appelle clapet de contre-pression (back-pressure valve) (fig. 419).

Ce clapet est commandé

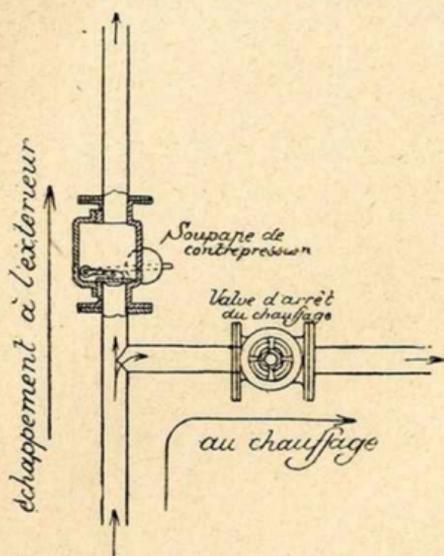


FIG. 418.

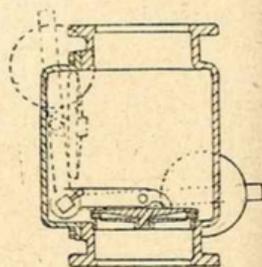


FIG. 419.

extérieurement par un levier, monté sur sa tige d'oscillation, et sur lequel peut se déplacer un contrepoids.

En été, on retire le contrepoids, ou on dispose le levier en sens inverse, de manière qu'il tienne le clapet ouvert, permettant ainsi à la vapeur de s'échapper librement à l'extérieur ; on ferme aussi un robinet d'admission de vapeur à la conduite principale du chauffage.

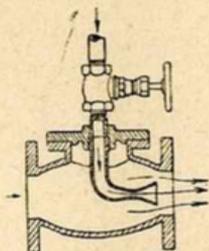


FIG. 420.

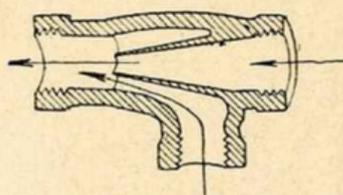


FIG. 421.

En hiver, ce dernier robinet étant ouvert, on place le contrepoids sur le levier, dans une position telle qu'il oblige la vapeur d'échappement à aller sur le chauffage, jusqu'à une limite de contre-pression, qu'on se

donne en plaçant le contrepoids dans une certaine position sur son levier. Cette disposition, très simple, donne entièrement sécurité, puisque ce clapet de contre-pression est une véritable soupape de sûreté. Il suffit de vérifier assez fréquemment que l'appareil fonctionne toujours bien, et que le clapet n'est pas collé sur son siège.

Quelquefois on n'a pas assez de vapeur d'échappement pour le chauffage. On peut parfaitement y ajouter la quantité de vapeur vierge nécessaire, après l'avoir détendue à une pression équivalente à celle de l'échappement, ou, plus simplement, en l'introduisant dans la conduite principale du chauffage au moyen d'un petit tuyau, et d'une pièce spéciale formant injecteur (fig. 420 et 421). Cette disposition, bien entendu, doit toujours être complétée par une soupape de sûreté, pour la raison précédemment indiquée.

Le départ d'une installation importante de chauffage par la vapeur d'échappement peut être exécuté comme l'indique la figure 422.

La vapeur d'échappement arrive de la machine dans un ballon, qui porté à sa partie supérieure une soupape de sûreté, sur sa virole un manomètre, et sur le fond un purgeur automatique d'eau de condensation.

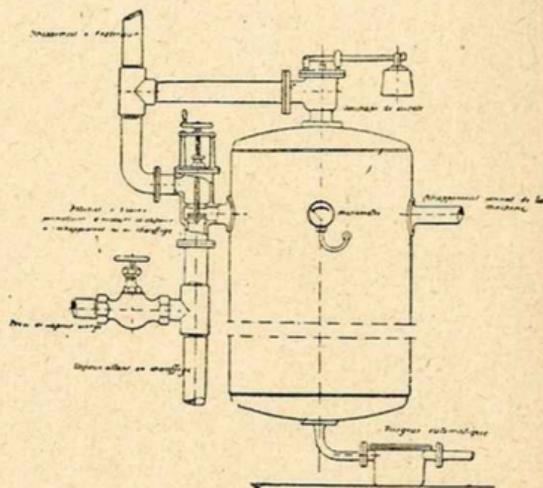


FIG. 422.

De ce ballon part une conduite, qui, au moyen d'une soupape à trois voies, envoie l'échappement soit au chauffage, soit à l'extérieur. Enfin, une prise de vapeur vierge, munie d'un robinet d'arrêt, amène dans la conduite allant au chauffage, au moyen du té injecteur ci-dessus, le complément de vapeur vierge nécessaire.

SÉPARATEURS D'HUILE

La vapeur d'échappement sortant du cylindre d'un moteur contient toujours une certaine quantité d'huile et de graisse, dont il est utile de la séparer.

L'huile, en effet, se saponifie au contact de l'eau, et forme cambouis dans les conduites, les appareils de chauffage, dont elle diminue peu à peu le rendement, et dans les robinetteries et appareils de purge, qu'elle finit par obstruer. Elle passe, en outre, par les joints les mieux faits, et coule sur les parquets, qu'elle tache.

Les séparateurs d'huile sont, en général, des appareils imparfaits, qui ne retiennent qu'une certaine partie de la graisse entraînée, dans la plupart des cas ; néanmoins, ils rendent de grands services, et on peut les considérer comme le complément indispensable d'une installation de chauffage par la vapeur d'échappement.

Ces appareils ressemblent beaucoup aux séparateurs d'eau et de vapeur, dont nous avons parlé dans le chapitre du *Chauffage par la vapeur à basse pression*.

L'huile est contenue dans la vapeur sous forme de gouttelettes extrêmement fines, et se dépose assez facilement, lorsque la circulation fait un changement brusque de direction, et que la vapeur vient frapper une surface plate ou cannelée, ou est obligée de passer à travers un réseau de plaques perforées ou tubulaires.

Le séparateur (fig. 423) est du type tubulaire. La vapeur est obligée de traverser un faisceau de tubes ; les gouttelettes d'huile et d'eau se déposent au contact des tubes et coulent à la partie basse de l'appareil.

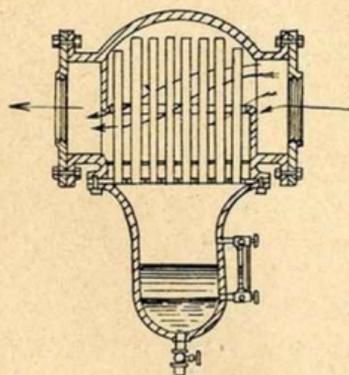


FIG. 423.

L'eau descend au fond, l'huile surnage, et, comme le niveau est indiqué par un tube de verre, il est facile, au moyen d'un robinet ouvert avec précaution, d'extraire l'eau d'abord, et l'huile ensuite.

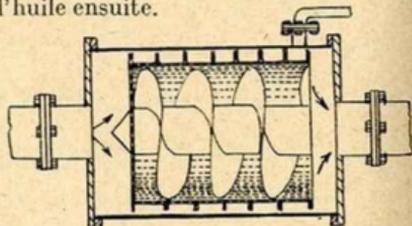


FIG. 424.

Séparateur Frédéric Fouché (fig. 424). — M. Fouché construit un séparateur composé d'une série de chicanes placées à l'extérieur d'un tube perforé, lui-même disposé concentriquement dans un tube formant réservoir, et dans lequel la vapeur suit une hélice intérieure, et vient traverser successivement les perforations du tube intérieur.

Séparateurs Sweet (fig. 425). — Ces appareils, beaucoup plus importants, sont construits en Amérique. La vapeur et l'huile, ainsi que l'eau d'entraînement, arrivent par une tubulure, rencontrent un cône composé de deux parois, l'une B, en cuivre rouge perforé, l'autre pleine, en fonte.

L'eau et l'huile passent par les orifices, et, emprisonnées entre deux parois, coulent à la partie basse, d'où on les extrait. La vapeur passe ensuite dans l'espace annulaire E, garni sur ses deux faces de plaques perforées, qui achèvent de la sécher. Le diaphragme F empêche tout retour d'eau et d'huile.

Ce modèle se construit toujours verticalement, mais ses tubulures peuvent être disposées pour des tuyauteries horizontales, aussi bien que pour des tuyauteries verticales.

Au surplus, tous les dispositifs de dégoudroneurs et déshuileurs, si connus et si employés maintenant dans les installations de gazogènes, conviendraient très bien pour déshuiler la vapeur.

Pour les robinetteries, appareils radiateurs, purgeurs, etc., il suffit de se reporter aux appareils décrits dans le *Chauffage par la vapeur à basse pression*.

Au surplus, nous ne nous étendrons pas davantage sur le chauffage par la vapeur d'échappement, qui est plutôt du domaine industriel, et ne rentre guère dans le cadre de notre étude.

A part quelques immeubles, les grands bâtiments pourvus d'une station centrale d'éclairage électrique, ou les bureaux et maisons d'habitation attenant aux usines, le chauffage par la vapeur d'échappement est un chauffage industriel, plutôt qu'un chauffage d'habitations.

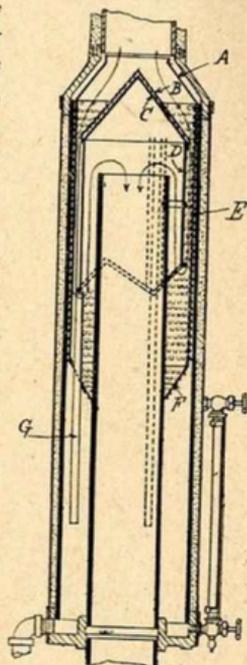


FIG. 425.



CHAPITRE XVII

CHAUFFAGES PAR LA VAPEUR A UNE PRESSION ÉGALE OU INFÉRIEURE A LA PRESSION ATMOSPHÉRIQUE

(Vacuum systems)

Ces systèmes, employés depuis près de vingt-cinq ans en Amérique, sous le nom de *vacuum systems*, et importés en Angleterre, sont excessivement intéressants, en particulier pour les raisons suivantes :

1° Parce que tout l'air étant préalablement aspiré et extrait des radiateurs et des tuyauteries, résultat qu'il est impossible d'atteindre complètement dans les chauffages à vapeur ordinaires, les surfaces de chauffe ne contiennent plus que de la vapeur, et leur puissance de condensation, et par suite de transmission, est considérablement augmentée.

2° Parce qu'ils facilitent la circulation de la vapeur et les retours d'eau de condensation, les tuyauteries n'ayant plus besoin de pentes, et pouvant même avoir des contre-pentes, et les appareils de chauffage pouvant être placés à un niveau quelconque, même au-dessous de la chaudière ;

3° Parce qu'ils permettent d'employer des diamètres de conduites beaucoup plus petits que ceux des chauffages à vapeur ordinaires ;

4° Enfin, parce qu'ils donnent la possibilité, dans une certaine mesure, de faire varier la température de la vapeur en circulation, de 60 à 100° par exemple, en graduant le vide dans les radiateurs, suivant les variations de la température extérieure. Ils ont donc, à ce point de vue, les avantages du chauffage par l'eau chaude, sans en avoir acquis les défauts.

Ces systèmes recevront des perfectionnements qui leur assurent certainement un avenir brillant. Pour le moment, malheureusement, ils ne sont pas applicables aux petites installations, parce qu'ils exigent un organe mécanique, et une pression de vapeur supérieure à nos pressions normales de chauffage, qui est nécessitée par le fonctionnement même de cet organe mécanique.

Le premier brevet américain basé sur ce principe fut pris par Williams en 1882, à Philadelphie, pour faire circuler la vapeur d'échappement par réduction mécanique de la pression.

En 1891, Hall, de Altoona, fit breveter l'application d'une valve thermostatique au système Williams. De 1891 à 1900, aucun appareil intéressant n'est à signaler ; mais, de 1900 à 1904, on peut citer vingt-quatre brevets intéressants, et les dispositions inventées depuis 1904 sont innombrables. Nous n'avons donc pas la prétention de les décrire toutes. Nous nous réservons de faire une étude très étendue sur ce sujet dans un ouvrage spécialement réservé aux chauffages de ce genre.

Parmi les systèmes les plus anciennement employés en Amérique, nous citerons tout d'abord le système Paul et le système Webster, qui, partant de deux principes tout à fait différents, arrivent à un résultat analogue, et résumant, l'un et l'autre, les caractéristiques de tous les systèmes, maintenant assez nombreux aux États-Unis.

Ces méthodes sont, du reste, principalement employées pour utiliser la vapeur d'échappement des moteurs, à laquelle on peut, sans inconvénient, ajouter de la vapeur vive, si le poids de vapeur d'échappement dont on dispose est insuffisant.

Système Paul. — La figure 426 représente le schéma d'une installation du système Paul, qui peut être employé avec la distribution à un seul tuyau, comme le montrent les deux radiateurs de droite, ou à deux tuyaux, comme au radiateur de gauche.

La tuyauterie de vapeur est analogue à celle des chauffages américains ordinaires, mais cependant son diamètre est un peu plus petit. La tuyauterie de retour d'eau condensée est nettement d'une dimension au-dessous de celle des chauffages ordinaires.

Sur chaque radiateur est placé, à peu près à mi-hauteur, un petit robinet d'air automatique, analogue à ceux précédemment décrits, et tous les robinets d'air sont réunis par une tuyauterie de 8/13, dont le dia-

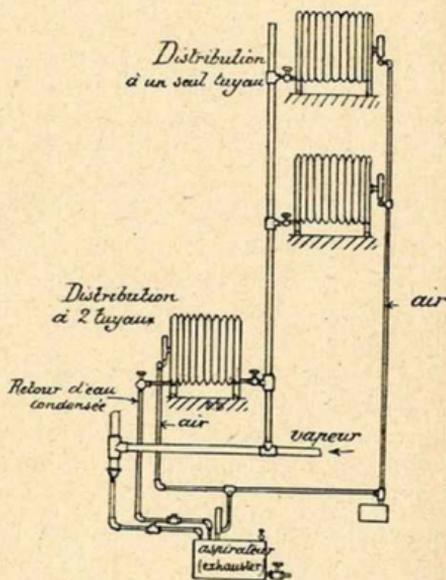


FIG. 426.

rière s'augmente à 12/17 et à 15/21, au fur et à mesure des branchements successifs, pour se raccorder finalement à un appareil spécial nommé *exhauster* (aspirateur), placé en sous-sol près du générateur.

Cet aspirateur fonctionne comme un éjecteur, ou plutôt comme une trompe à vide, sous une pression de vapeur d'environ 1^{kg},500.

Quand on met le système en route, on commence par faire fonctionner l'aspirateur avant d'ouvrir les robinets de vapeur, de manière à créer dans les radiateurs un vide partiel. Puis, lorsqu'on ouvre les robinets de vapeur, l'air continue à être aspiré jusqu'à ce que la vapeur arrive aux robinets purgeurs d'air ; à ce moment, ces robinets se ferment automatiquement. Le radiateur est alors rempli uniquement de vapeur, résultat qui n'est jamais complètement obtenu avec les systèmes ordinaires de chauffage par la vapeur, dans lesquels il reste toujours une certaine quantité d'air.

L'eau de condensation peut, du reste, être remontée par l'aspirateur dans un réservoir placé assez haut pour qu'elle rentre ensuite à la chaudière par gravité.

L'avantage d'un tel système n'est pas douteux, car, d'une part, en créant un vide partiel, on facilite l'arrivée, sans aucune résistance, de la quantité de vapeur nécessaire pour que le radiateur en soit toujours complètement rempli, et, d'autre part, en éliminant absolument l'air, on assure une plus grande puissance de condensation au radiateur.

En outre, en séparant complètement l'air et l'eau de retour dans des conduites différentes, on facilite certainement les retours d'eau condensée, on évite les poches d'air, et, la canalisation fût-elle en contre-pente, qu'on aurait encore une circulation assurée, en raison de l'aspiration de l'exhauster.

Le système Paul a eu, en Amérique, un très grand succès, justifié en ce sens qu'il ne nécessite aucun organe spécial, sauf l'aspirateur, et que les robinets de vapeur et d'air, les clapets de retenue, etc., sont des types commerciaux absolument normaux.

Toutefois, il rend nécessaire, comme nous l'avons dit, une pression assez importante, environ 1^{kg},50 par centimètre carré (20 livres par pouce carré), pour le fonctionnement de l'aspirateur. Aussi doit-il être complété par un détendeur de pression, et son emploi est-il réservé aux usines ou aux grands chauffages, pour lesquels la présence permanente d'un chauffeur s'impose.

Ceci n'est certes pas pour effrayer les Américains et les Anglais, leurs grands établissements ayant, dans les sous-sols, de véritables usines, pour le chauffage des locaux, pour les circulations d'eau chaude, pour l'éclairage électrique, les ascenseurs, les ventilateurs, et quelquefois

sur le principe des purgeurs d'air automatiques à dilatation, dans lesquels un siège de soupape est laissé libre tant que la pompe n'aspire que de l'air ou de l'eau, mais est hermétiquement clos par la dilatation d'un corps convenablement choisi, aussitôt que la vapeur commence à arriver.

On voit donc, en examinant de près ce système, que ce sont tout à fait nos anciennes méthodes de chauffage à vapeur, qui comprenaient un robinet à l'entrée et un purgeur automatique à la sortie, avec cette seule différence que la circulation n'est plus produite par une *pulsion* due à la pression de la vapeur, qui chasse l'air devant elle, mais par une *succion*, ou une aspiration de l'air ou de l'eau, au moyen d'un exhauster ou d'un éjecteur; ou encore d'une pompe.

Le principal avantage, et celui que nous devons surtout retenir, est que cette aspiration enlève vraiment tout l'air contenu dans les radiateurs, tandis que la pulsion ne les en débarrassait que partiellement. La vapeur pouvant se mélanger dans une certaine proportion avec l'air, ou encore laisser subsister des poches d'air en certains points, ce qui non seulement est un obstacle à la circulation, mais encore diminue la puissance de condensation des appareils, il y a donc un avantage très important à purger complètement d'air tous les radiateurs.

Le gros défaut de ces systèmes est aussi celui que nous avons trouvé en France pour nos chauffages: c'est l'organe qui reste ouvert pour l'évacuation de l'air et de l'eau de condensation, c'est-à-dire le purgeur automatique.

M. James A. Donnelly, dans une communication qu'il faisait, le 4 octobre 1904, au Club scientifique moderne (The Modern Science Club), à Brooklyn, New York, insiste sur cette difficulté, et, rappelant tous les brevets américains (Williams en 1882, Hall en 1891, Ball en 1899 et 1902, Wade en 1899 et 1901, Davis en 1899 et 1900, Serrell en 1900 et 1901, Crowder en 1900, Atkins en 1901 et 1902, Webster en 1900, Donnelly en 1900, Serrell en 1900, Nestle en 1901, Hamilton, en 1902, Piratt en 1902, Hale en 1903, Stewart, Sharp, Barnes, en 1904), il montre que chacun d'eux ne diffère des autres que par une disposition spéciale de ce purgeur automatique.

Et, de même que nous avons expliqué qu'en France on tendait à remplacer les purgeurs par des clapets ou des flotteurs, de même MM. J. et W. Donnelly proposent un système dans lequel ils remplacent le purgeur automatique à dilatation par un clapet battant, ou un clapet à boule. Leur seule préoccupation semble avoir été de laisser dans le clapet un petit orifice pour le passage de l'air, et nous rappellerons que tous les purgeurs que nous avons décrits, page 281 et suivantes, 411 et suivantes, sont munis d'un semblable orifice.

Il est tout naturel de remarquer que les mêmes difficultés ont produit

les mêmes solutions, aux États-Unis comme en France, et que les appareils de chauffage des Américains ne diffèrent des nôtres que par l'addition d'appareils mécaniques, les détendeurs et les pompes, tandis que nous faisons tous nos efforts, au contraire, pour supprimer tous ces organes, qui nécessitent des chauffeurs mécaniciens en permanence, et que nous les remplaçons par des organes simples, à la portée des domestiques, des concierges ou même des servantes, qui sont chargés de conduire nos chauffages.

Le clapet équilibré (*fig. 429*), avec une petite ouverture dans le siège

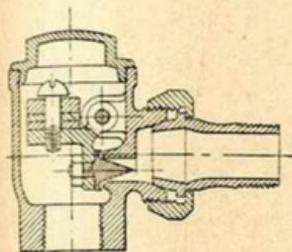


FIG. 429.

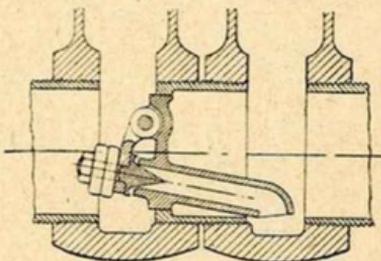


FIG. 430.

pour la sortie permanente de l'air, est le type de ces clapets de MM. Donnelly.

Quelquefois ils le placent dans l'intérieur d'un radiateur (*fig. 430*), laissant en arrière un ou deux éléments, qui servent de radiateurs auxiliaires, pour condenser la petite quantité de vapeur qui pourrait s'échap-

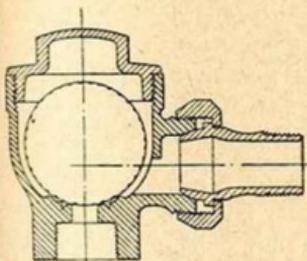


FIG. 431.

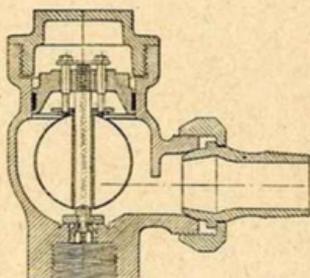


FIG. 432.

per, de même que, dans nos chauffages à vapeur en cycle ouvert, nous mettons un ou deux éléments en plus à chaque radiateur, pour être assurés qu'il ne passera pas de vapeur dans les tuyaux de retour.

Le clapet à boule (*fig. 431*) est un autre dispositif de MM. Donnelly. La boule est libre, de manière à présenter successivement toutes ses faces sur le siège, pour s'user régulièrement et se nettoyer automatiquement.

La surface de cette boule n'est pas lisse, mais est volontairement inégale, de manière à ne pas fermer hermétiquement le siège, et à laisser le passage de l'air.

Enfin, le clapet à boule flotteur guidée (fig. 432), brevet Donnelly de 1905, rappelle absolument nos purgeurs à flotteur, qu'on trouvera décrits au chapitre spécial des *Purgeurs employés en France*.

Système Atkinson. — M. Rob.-E. Atkinson a fait breveter en Angleterre, en 1904 et 1905, et en France, en 1906, un système auquel il a

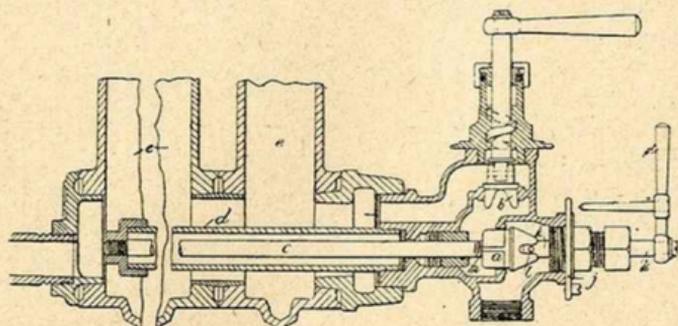


FIG. 433.

donné le nom de *Nuvacuumelle*, et dont une installation a été faite à Paris, par MM. Leroy et C^{ie}, à l'hôtel Sainte-Anne, en 1908.

L'organe principal de ce système est la valve spéciale (fig. 433), munie d'un double système de réglage.

La vapeur, arrivant par-dessous, est obligée de passer par un premier siège de clapet *a*, avant d'arriver au siège du clapet *b*, commandé par une manette de manœuvre, à la disposition de la personne qui occupe le local, qui peut ainsi faire varier à son gré la puissance de chauffage du radiateur.

Le siège du clapet *a* est ouvert automatiquement, dans la proportion convenable pour qu'il ne sorte pas de vapeur par la tubulure de retour, au moyen d'un appareil à dilatation, composé d'un tube extérieur *d*, en cuivre rouge, et d'une tige intérieure *c* en fer.

Le tube extérieur *d*, placé à la partie basse du radiateur, se dilate plus ou moins, suivant que le chauffage est normal, et que le bas du radiateur est rempli d'eau, ou qu'il y a excès de vapeur. Dans ce cas, le tube de cuivre se dilate dans une proportion telle qu'il tire sur la tige en fer, moins dilatable, et ferme au degré convenable la valve *a*.

Le réglage préalable et la limite d'ouverture sont obtenus au moyen de la tige *K*, munie d'un taquet *l*, qui arrête le siège, et d'un levier

de manœuvre f_1 , muni d'un index qui se déplace sur un dran.

Quelquefois, pour éviter qu'une personne non autorisée manœuvre la manette f_1 , et déränge le réglage, on la remplace par une clef à carré, ou par une aiguille placée derrière un cadran en verre, fermé à clef.

La valve Nuvacuumette peut être complétée par un dispositif automatique, qui permet de commander automatiquement le clapet supérieur par le vide produit à la pompe.

Dans ce cas, la tige de la valve 3 (fig. 434), au lieu d'être raccordée directement à la manette de manœuvre à la disposition des occupants de la pièce chauffée, est solidaire d'une membrane flexible 4, qui ferme une chambre en communication avec la tuyauterie d'aspiration m de la pompe à vide.

On comprend facilement que, plus le vide est grand, et plus la membrane est attirée vers le haut, ce qui augmente automatiquement l'ouverture du clapet d'entrée de vapeur, qui se lève, en suivant le mouvement de la membrane.

Une petite manette de manœuvre permet néanmoins aux occupants de fermer la vanne davantage, en appuyant sur le diaphragme au moyen de la tige 6.

Il est donc possible, depuis la chaufferie, de régler le vide de la pompe, pour permettre l'ouverture plus ou moins importante des admissions de vapeur aux radiateurs, ce qui donne la facilité la plus grande pour proportionner le chauffage général d'un immeuble, en suivant les fluctuations de la température extérieure.

On peut encore, avec la plus grande facilité, réaliser le réglage automatique de la température de la pièce chauffée, au moyen d'un thermostat, qui complète l'installation.

Dans ce cas, la tubulure m , au lieu d'être raccordée directement à la tuyauterie de la pompe, est raccordée à un thermostat par un tuyau capillaire.

La canalisation de la pompe à vide est elle-même raccordée au thermostat par un second tuyau capillaire.

Le thermostat, qui est d'un type analogue à ceux décrits au chapitre xxvi du *Réglage automatique de la température*, laisse en communi-

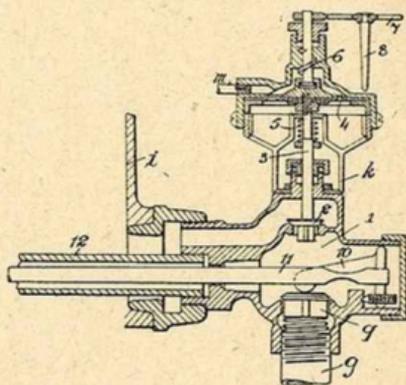


FIG. 434.

cation les deux tuyauteries capillaires, c'est-à-dire permet l'aspiration de la pompe à vide sur la membrane du robinet Nuvacuumette, tant que la température dans la pièce n'est pas atteinte. Aussitôt que cette température maximum permise est obtenue, le thermostat ferme automatiquement la communication entre les deux tuyaux, et ouvre dans l'atmosphère le tuyau capillaire qui débouche au-dessus de la membrane de la valve Nuvacuumette. Celle-ci, n'étant plus attirée par le vide, retombe,

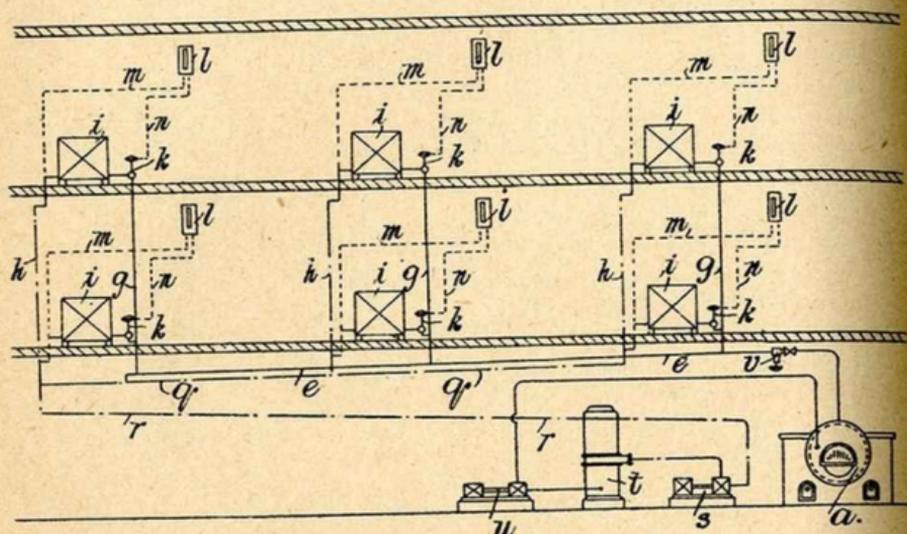


FIG. 435.

et l'arrivée de vapeur au radiateur se ferme plus ou moins. De nombreuses installations de ce type fonctionnent en Angleterre, et celle installée à Paris a fonctionné à partir de l'hiver 1907-1908.

La figure 435 en montre le schéma.

La vapeur, à la pression de 700 grammes, est produite par la chaudière *a*; elle est détendue à moins de 100 grammes par le détendeur *v*, et distribuée par la conduite *ee*, et les colonnes *K, K*, aux valves Nuvacuumette des radiateurs *i, i...* Les eaux de condensation reviennent par les colonnes *h, h...*, et les conduites *q, q, r, r*, à la pompe à vide *s*, qui les refoule dans le réservoir alimentaire *l*, d'où elles sont reprises par une pompe alimentaire *u*, qui les refoule à la chaudière.

Dans l'installation de l'hôtel Sainte-Anne, le réservoir *l* est placé à 7 mètres au-dessus du niveau d'eau de la chaudière, ce qui permet l'alimentation automatique de cette chaudière par gravité, et supprime la pompe alimentaire *u*.

La vapeur d'échappement de la pompe est, du reste, renvoyée au chauffage, comme nous l'avons expliqué pour le chauffage Webster (*fig. 418*).

Les canalisations de retour *h, h*, sont raccordées, par les tuyaux capillaires *m, m*, avec les thermostats *l, l*, qui règlent automatiquement le fonctionnement des valves Nuvacuumette par les tuyaux capillaires *n, n*, et réalisent vraiment le réglage automatique de la température des pièces chauffées.

Nous avons vu, en Angleterre, plusieurs installations excessivement importantes de ce système, dont certaines ont chacune plus de 4.000 mètres carrés de radiateurs à alimenter, ce qui correspond à plus de 150.000 mètres cubes chauffés, dans des hôpitaux, asiles d'aliénés, hôtels à voyageurs, etc., etc.

C'est le système le plus automatique que nous ayons jamais vu en fonctionnement. Un mécanicien et un chauffeur sont en permanence, mais cela n'a rien d'anormal, et nos installations par les systèmes français, même à fonctionnement continu, nécessiteraient un personnel plus nombreux pour un volume de locaux chauffés aussi important.

Nous ne développerons pas plus loin cette description des chauffages par la vapeur au-dessous de la pression atmosphérique, sur lesquels nous nous proposons de nous étendre, dans une étude spéciale des *chauffages d'édifices*¹.

1. Depuis la 1^{re} édition de cet ouvrage, en 1908, ces systèmes de chauffage par la vapeur à une pression inférieure à la pression atmosphérique n'ont pas fait de progrès en France, où les applications sont toujours très rares, ni, croyons-nous, en Angleterre. En Amérique, les brevets qui ont été nombreux, ne montrent aucun principe nouveau.

CHAPITRE XVIII

THÉORIE DU CHAUFFAGE PAR L'EAU CHAUDE¹

M. William Baldwin, ingénieur américain, dans son livre *Hot Water Heating and Fitting*, publié en 1889 à New-York, donne une très originale théorie du chauffage par l'eau chaude, s'appuyant sur les données fondamentales de l'Anglais Trégold, qui fait autorité en Angleterre. Cette théorie est la plus complète que nous connaissons, et nous pensons qu'elle peut être généralement admise.



Fig. 436.

Lorsqu'un certain volume d'eau, à une température plus élevée que celle de l'atmosphère environnante, est placé dans un récipient (fig. 436), la chaleur de l'eau se transmet à l'air, par suite du phénomène de transmission de la chaleur à travers les parois du récipient.

Chaque particule d'eau qui perd ainsi une partie de sa chaleur devient plus pesante que les particules voisines, et tombe à la partie basse du récipient, en laissant sa place aux particules plus chaudes, qui s'élèvent. Le mouvement ainsi produit dans la masse d'eau s'appelle une *circulation*. La pesanteur est donc un agent de la circulation des liquides.

Cette circulation se produit dans un récipient de n'importe quelle forme, et avec n'importe quel liquide, et dure aussi longtemps que le liquide est à une température supérieure à celle de l'atmosphère environnante.

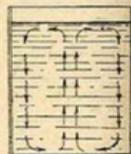


Fig. 437.

Si, maintenant, nous plaçons au-dessous du récipient, et à son centre, une source de chaleur quelconque (fig. 437), le même mouvement se continue et s'accélère. Les particules d'eau en contact avec la source de chaleur deviennent plus légères et s'élèvent ; les particules refroidies au contact des parois extérieures deviennent plus denses,

1. En raison de l'importance de cette question, nous la résumerons seulement ici, et nous la traiterons avec les développements qu'elle mérite dans un ouvrage spécial : *Les chauffages par l'eau chaude*, en ce moment à l'impression chez les mêmes éditeurs.

et descendent, et la circulation se continue ainsi. Dans ce cas, la principale qui produit la circulation est la chaleur, qui rend plus légères les particules internes de la masse liquide.

En réalité, la chaleur et la pesanteur sont les deux agents dont les efforts, dirigés dans le même sens, s'unissent et s'ajoutent, pour produire une circulation dans une masse liquide.

La rapidité d'une telle circulation interne s'accélère de plus en plus, à mesure que la température s'élève. Peu à peu, le volume de la masse liquide augmente, c'est-à-dire que le liquide se dilate. A un certain moment, des globules de vapeur commencent à s'élever, diminuant la densité de la colonne ascendante intérieure, et augmentant la vitesse de circulation. Puis les globules de vapeur deviennent plus gros, montent plus rapidement sans se condenser en route, et viennent crever à la surface la masse liquide à l'état d'ébullition.

Si on considère que la densité maximum de l'eau est de 1 à 4°, et seulement 0,958634 à 100°, on voit que le volume de l'eau devient à 100° :

$$\frac{1}{0,958634} = 1,04315.$$

Le foisonnement maximum de l'eau est donc 4,315 0/0, soit 1/23. C'est un facteur dont il faudra tenir compte dans les chauffages.

On ne pousse jamais, du reste, le chauffage jusqu'à l'ébullition de l'eau, pour éviter des projections d'eau par le réservoir d'expansion, des bruits dans les conduites, dus à la rapidité de circulation des globules de vapeur, et enfin un échappement de vapeur, qui se traduirait, en réalité, par des calories perdues.

Considérons maintenant un circuit (*fig. 438*), comprenant un récipient A, chauffé en dessous et en son centre, une colonne ascendante verticale BC, partant du récipient, une conduite horizontale CD, une colonne descendante verticale DE, et une conduite horizontale EF, revenant au récipient.

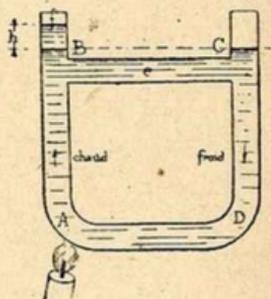


FIG. 438.

Dans chacune des parties A, BC, CD, DE, EF, d'un tel circuit, nous aurons un régime de circulations internes ascendantes, et externes descendantes, analogues à celles précédemment décrites, mais on peut remarquer, en représentant par des flèches droites les courants ascendants et par des flèches ondulées les courants descendants, que, dans la seule colonne verticale descendante DE, ces courants s'ajoutent pour accé-

lérer la circulation ; tandis que, dans le récipient A, la colonne verticale ascendante BC, et les conduites horizontales CD, EF, les courants descendants parasites, dus à l'action de la pesanteur, par suite de refroidissement par les parois, contrarient et rendent moins effectifs ou moins rapides les courants ascendants dus à l'action de la chaleur.

Cette réaction des courants descendants contre les parois externes présente donc une résistance à la circulation, très analogue à la résistance de frottement, et donne de suite une première indication, dont nous tiendrons compte dans l'étude des chauffages par l'eau chaude.

Nous établirons, par exemple, une seule colonne verticale ascendante, de la chaudière à la partie haute du bâtiment, en ayant soin de lui donner un gros diamètre, et de l'envelopper, ainsi que la chaudière, d'un revêtement calorifuge, destiné à diminuer les résistances à la circulation dues aux courants descendants ; puis nous constituerons toutes les colonnes de chauffage par des conduites verticales descendantes.

Les ingénieurs anglais Thomas Tregold (*Principles of Warming and ventilation*, publié à Londres en 1836), T. Bramah, Thos. Hood (*Treatise on Warming Buildings*), ont longuement étudié ces questions, et discuté sur les causes et les principes de cette circulation, mais leurs théories se résument toutes dans la formule suivante :

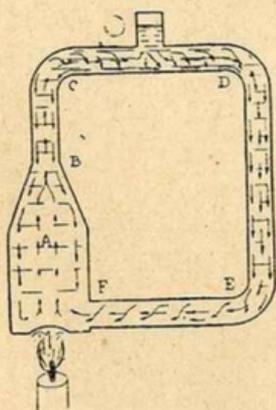


FIG. 439.

« La circulation de l'eau chaude, employée pour transporter et distribuer la chaleur dans les tuyauteries et surfaces chauffantes, est due à la densité inégale du liquide, qui s'élève par suite de la différence de température entre la colonne ascendante et les colonnes descendantes, réunies à la chaudière, et la vitesse est fonction de la hauteur de ces colonnes. »

La figure 439 montre la forme la plus simple d'un système de circulation d'eau chaude. Une légère élévation se produit jusqu'en *f* dans la colonne chauffée, même si les communications *e* et AD sont de gros diamètres. Toutefois, cette élévation de niveau est d'autant plus grande que le diamètre des tuyaux *e* et AD est plus petit, et la différence de niveau *h* est, dans ce cas, la mesure de la résultante des résistances dans les tuyauteries.

radiateur, une différence de densité $d_1 - d_0$ entre la densité d_1 au retour et la densité d_0 au départ, rapportée à la densité moyenne $\frac{d_0 + d_1}{2}$.

L'expression de la charge $E = \frac{H(d_1 - d_0)}{\frac{d_1 + d_0}{2}}$, proposée par Rietschel,

est absolument inexacte, et ne doit jamais être employée dans un calcul sérieux.

D'autre part, la force hydromotrice capable de faire circuler un poids d'eau Q , de masse $\frac{Q}{g} = m$, avec une vitesse v , a pour expression :

$$\bar{c}(F) = \frac{mv^2}{2} = \frac{Q}{g} \cdot \frac{v^2}{2} = Q \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (3)$$

Si la circulation de l'eau ne rencontrait aucune résistance dans son parcours, on pourrait donc déduire facilement la vitesse de v , en égalant les formules (2) et (3) :

$$QE = Q \frac{v^2}{2g} \quad (4)$$

d'où on tirerait :

$$v = \sqrt{2gE}. \quad (5)$$

Mais cette circulation rencontre un certain nombre de résistances, que la force hydromotrice doit vaincre pour pouvoir créer une circulation.

Ces résistances sont :

1° *Résistance de frottement sur les parois des tuyaux*, qui, pour un tuyau de diamètre D et de longueur L , s'écrit :

$$R_f = \frac{v^2}{2g} \cdot \frac{K}{D} \cdot L \quad (6)$$

K étant un coefficient qui varie avec la surface frottante, c'est-à-dire avec le diamètre du tuyau.

2° *Résistances dues aux changements de direction, de sections, aux robinets, etc.*, et qu'on appelle du nom assez peu compréhensible de *résistances locales* ¹.

Elles s'écrivent :

$$R_l = \frac{v^2}{2g} \rho \quad (7)$$

1. *Résistance locale*, essai de traduction du mot allemand « Einzelwiderstände », intraduisible, littéralement résistance en un point, résistance qui ne se produit qu'une fois.

ρ étant un coefficient qui varie avec le type de la résistance, coudé, robinet, etc.

On peut, pour chaque diamètre, représenter la valeur de ρ par celle d'une résistance de frottement d'une longueur fictive L_r de tuyau de ce diamètre, en posant $\rho = L_r$, de sorte que l'équation (7) devient :

$$R_l = \frac{v^2}{2g} L_r \quad (8)$$

3° Résistance due à la perte de vitesse à l'entrée, et à la création nouvelle de la vitesse à la sortie de chaque appareil de grande section, chaudière, radiateur, réservoir, etc.

Elle s'écrit :

$$R_v = \frac{v^2}{2g} \quad (9)$$

On peut également l'exprimer en valeur de résistance de frottement d'une longueur L_v de tuyau :

$$R_v = \frac{v^2}{2g} \cdot L_v \quad (10)$$

De telle sorte que la résistance totale d'une tuyauterie de diamètre D , de longueur effective L , et de longueurs fictives $L_r + L_v$, représentant les résistances locales et les créations de vitesse peut s'écrire :

$$\Sigma R = \frac{v^2}{2g} \cdot \frac{K}{D} (L + L_r + L_v) = \frac{v^2}{2g} \frac{K}{D} \Sigma L \quad (11)$$

On comprend que, pour qu'il y ait circulation, il faut, et il suffit, que la charge soit très légèrement supérieure aux pertes de charges dues aux résistances, c'est-à-dire que :

$$\tau (F) = QE \cong Q \cdot \frac{v^2}{2g} \cdot \frac{K}{D} \Sigma L \cong Q \cdot \frac{v^2}{2g} \Sigma \frac{K}{D} L \quad (12)$$

qui est la formule fondamentale de la circulation dans un circuit simple, desservant un seul radiateur.

2° CIRCUITS DESSERVANT PLUSIEURS RADIATEURS.

Considérons maintenant un circuit de deux radiateurs (*fig. 441*).

Le radiateur I créera une charge :

$$E_1 = h_a (d_3 - d_4) + h_b (d_5 - d_6) + h_c (d_1 - d_2) + (h_d + h_e) (d_8 - d_9) + h_f (d_7 - d_8) + h_g (d_6 - d_5) \quad (13)$$

Le radiateur II créera une charge :

$$E_2 = h_a (d_3 - d_4) + h_b (d_3 - d_5) + (h_c + h_d) (d_{10} - d_5) + h_e (d_2 - d_5) + h_f (d_7 - d_5) + h_g (d_6 - d_5) \quad (14)$$

de telle sorte que l'équation (12) du circuit simple deviendra ici :

$$\bar{e} (F_1) = Q_1 E_1 \cong Q_1 \frac{v^2}{2g} \cdot \Sigma \frac{K}{D} L_1 \quad (15)$$

$$\bar{e} (F_2) = Q_2 E_2 \cong Q_2 \frac{v^2}{2f} \Sigma \frac{K}{D} L_2. \quad (16)$$

On remarquera, en comparant les deux équations (13) et (14) qu'elles ont de nombreux éléments communs :

$$h_a (d_3 - d_4), h_b (d_3 - d_5), h_f (d_7 - d_5), h_g (d_6 - d_5)$$

et qu'elles ne diffèrent que par les tronçons 9, II, 10 et 8, I, 2, des radiateurs placés à des niveaux différents.

Cette considération permettra immédiatement de faire comprendre qu'il peut exister trois méthodes de calcul absolument différentes par les tuyauteries :

1° Théorie de l'école allemande, dite du circuit le moins favorisé, ou de moindre charge ;

2° Théorie d'une résultante des charges partielles, créant une vitesse uniforme dans les tronçons communs et dans ceux de charge équivalente, quise rattache à la précédente.

3° Théorie de la résultante des charges dans tout le circuit.

Avant de comparer l'une à l'autre ces trois méthodes, nous allons donner quelques explications sur les formules de pertes de charges, et expliquer ensuite la théorie de la *résultante des charges*.

Formules de pertes de charges.

Résistances de frottement. — En réalité, il n'a jamais été fait, en France, d'expériences officielles publiées permettant d'établir des coefficients de

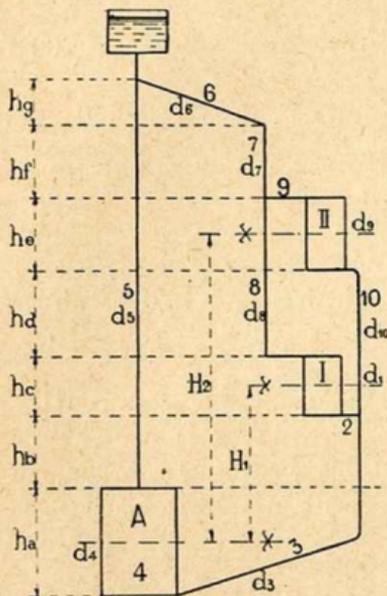


FIG. 441.



pertes de charges dans les tuyauteries de chauffage. Les Ingénieurs qui appliquent nos théories françaises se servent de quatre formules, celle de Prony (1804), celle de Darcy (1862), celle de Lévy (1868), celle de Flamant (1892).

Ni l'une ni l'autre ne peuvent donner pleine sécurité, parce qu'elles ont été établies pour des circulations d'eau froide, dans lesquelles les charges sont, en général, plus importantes, les diamètres plus grands, les incrustations fréquentes, le métal différent.

Si on appelle J la perte de charge par mètre, la formule de Prony s'écrit :

$$J = \frac{4L}{D} (0,0000173 V + 0,000348 v^2). \quad (17)$$

M. Ser a proposé de négliger le terme $0,0000173V$, contenant V au 1^{er} degré, de peu de valeur, de manière à arriver à une formule monôme, d'un emploi plus facile.

La formule de Darcy s'écrit :

$$J = \frac{2 b_1 v^2}{D} \quad (18)$$

dans laquelle :

$$b_1 = 0,000.253.5 + \frac{0,000.006.47}{D}.$$

M. Ser a proposé de prendre une valeur moyenne pour b_1 , en éliminant D , et il écrit $b_1 = 0,000.648$, considérant que ce coefficient varie entre $0,000765$ et $0,000.532$ pour les diamètres compris entre 50 et 500 millimètres. Il écrit donc :

$$J = \frac{0,001.296 v^2}{D}. \quad (19)$$

Faisant intervenir la valeur $Q = \frac{\pi D^2}{4} \cdot v$ dans la formule de Darcy ainsi simplifiée, il écrit (formule analogue à celle de Philipps) :

$$D = \sqrt[5]{\frac{64 b_1}{\pi^2} \cdot \frac{Q^2}{J}} = 0.334 \sqrt[5]{\frac{Q^2}{J}} = 1/3 \sqrt[5]{\frac{Q^2}{J}}. \quad (20)$$

Cette formule est évidemment arbitraire, parce que, d'une part, la formule d'origine avait été créée pour l'eau froide et non pour l'eau chaude, ensuite parce qu'en chauffage, on emploie beaucoup de tuyaux au-dessous de 50 millimètres de diamètre, et qu'on ne va jamais jusqu'à 500 millimètres.

Quand on veut appliquer la formule (19), on corrige en général le coefficient 0.334, qui devient :

pour tuyau de 15/21 — 0.3888	}	moyenne 0.35795
20/27 — 0.3756		
26/34 — 0.3653		
33/42 — 0.3574		
40/49 — 0.3517		
50/60 — 0.3460		
66/76 — 0.3420		
80/90 — 0.3368		

Il faudrait, en réalité, faire une correction pour chaque diamètre.

La formule de Flamant, pour tuyaux non incrustés, s'écrit :

$$J = 0.001135 \sqrt[4]{\frac{Q^7}{D^{19}}} = 0.001135 \frac{Q^{1.75}}{D^{4.75}} = 0.00074 \frac{V^{1.75}}{D^{1.25}} \quad (21)$$

L'expérience prouve qu'elle donne des diamètres sensiblement trop gros.

Les Allemands, après avoir longuement discuté les formules données par Weisbach, Fisher, Lang, Poiseulle, Biel, ont fini par se rallier, en grande majorité, aux formules proposées en 1913 par Brabbée, après plusieurs années d'expériences faites à l'Université de Charlottenbourg, sous la direction du professeur Rietschel.

Pour tuyaux soudés (11 à 64 m/m) :

$$J = 0.0004265 \frac{V^{1.84}}{D^{1.26}} = 0.000665 \frac{Q^{1.84}}{D^{4.94}} \quad 22$$

Pour tuyaux sans soudure (57 à 130 m/m) :

$$J = 0.0003819 \frac{V^{1.86}}{D^{1.27}} = 0.000598 \frac{Q^{1.86}}{D^{5.09}} \quad (22 \text{ bis})$$

En ce qui nous concerne, nous n'avons, dans la formule de Brabbée, qui donne des coefficients sensiblement moitié moindres que ceux de Flamant, qu'une confiance très limitée :

1° Parce qu'elle a été établie sur des longueurs horizontales, et qu'elle ne tient pas compte des courants parasites des conduites verticales (fig. 438) ;

2° Parce qu'elle a été établie par des expériences faites sur des longueurs réduites, sans assemblages, de 2^m,50, qui n'ont qu'un rapport fort éloigné avec nos longs tuyaux manchonnés, assemblés avec manchons de commerce ;

3° Parce qu'elle a été établie sur des tuyaux allemands bien calibrés,

alors que nos tuyaux français soudés présentent toujours des bavures intérieures, qui augmentent certainement les résistances.

Et, faute de mieux, nous nous servons de la formule de Flamant, que nous avons corrigée après une série d'essais faits sur une centaine d'installations, en réduisant de plus en plus le coefficient jusqu'à ce que nous arrivions à des diamètres trop réduits, et que nous écrivons :

$$(1) \quad J = 0,000.423 \frac{V^{1.75}}{D^{1.25}} = 0,000.645 \frac{Q^{1.75}}{D^{4.75}} \quad (23)$$

Évidemment, il serait désirable que des essais scientifiques fussent faits en France pour nous doter d'une formule exacte.

Quel est le Mécène, Association d'ingénieurs de chauffage, Chambre Syndicale de constructeurs, Institut scientifique, ou groupement de ces organisations qui en fera les frais?

Résistances locales. — Nous ferons la même remarque pour les résistances dites locales, pour lesquelles, faute de mieux, nous devons nous contenter des coefficients allemands.

Dans les calculs d'avant-projets, nous prendrons des longueurs $\Sigma \rho = L_r$ égales à 15 à 20 0/0 des longueurs réelles pour les collecteurs et les colonnes verticales, et à 300 0/0 pour les branchements dont la longueur ne dépasse pas 1^m,50. Au-dessus de 1^m,50, nous comptons :

$$L + L_r = (L \times 1,5) + (1,5 \times 3). \quad (24)$$

Pour les calculs d'exécution, nous prenons les coefficients de Brabbée, dont les principaux sont :

Coudes d'équerre (de 15 /21 à 26 /34)	$\rho = 2$
— de 33 /42 et au-dessus	= 1.5
Coudes à grand rayon (de 15 /21 à 26 /34)	= 1.5
— de 33 /42 et au-dessus	= 1
Tés réduits, quand la grosse section est celle perpendiculaire aux 2 autres	= 3
Tés normaux, pour la branche perpendiculaire aux 2 autres	= 1.5
— pour le passage direct aux 2 autres	= 1
Tés obliques pour le passage direct aux 2 autres	= 1
Réducteurs (section diminuée brusquement de plus de 50 0/0) ...	= 0.5
— — de moins de 50 0/0 ...	= 0.3

1. J en mètres de hauteur d'eau, pour Q en mètres cubes, et D en mètres
ou J = 645.484.659 $\frac{Q^{1.75}}{D^{4.75}}$ pour J en millimètres, Q en litres, et D en millimètres. Nous préférons cette dernière formule, plus commode pour les calculs, parce qu'elle évite l'emploi un peu délicat des logarithmes négatifs.

Raccordement à la chaudière (les 2 ensemble)	= 2.5
— à 1 radiateur (les 2 connexions du même côté)...	= 2.5
— — (— du côté opposé)	= 3
Robinet à réglage à passage direct (de 15/21 et moins)	= 4
— — (de plus de 15/21)	= 3
— d'équerre (de 15/21 et moins)	= 8
— — (de plus de 15/21)	= 3

Théorie de la résultante des charges.

Examinons les formules (15) et (16), qui expriment les valeurs des forces hydro-motrices respectivement créées par les radiateurs (I) et (II) dans le circuit de la figure 441.

L'école allemande veut admettre que, seule, la force hydromotrice produite par la charge du radiateur le moins favorisé, ou de plus faible charge, produira le mouvement dans la partie commune du circuit, et que le supplément, pour les radiateurs à plus forte charge, devra être absorbé dans les canalisations de leurs propres circuits.

Pourtant, si on considère les forces (F_1) et (F_2), elles sont parallèles, dirigées dans le même sens, et elles agissent sur un même point, tout au moins si ce point est situé dans la partie commune du circuit.

D'après les principes de mécanique, elles doivent donc avoir une *résultante* égale à leur somme :

$$\bar{c} (F_1) + \bar{c} (F_2) = \bar{c} (\Sigma F). \quad (25)$$

On peut donc écrire :

$$\bar{c} (\Sigma F) = Q_1 E_1 + Q_2 E_2. \quad (26)$$

Mais il est bien évident que $Q_1 E_1 + Q_2 E_2$ peut être remplacé dans cette formule par une quantité équivalente, et qu'on peut écrire :

$$\bar{c} (\Sigma F) = Q_1 E_1 + Q_2 E_2 = (Q_1 + Q_2) E_0 = \Sigma Q. E_0. \quad (27)$$

Ceci veut dire que, dans un circuit de chauffage, il y a une *résultante des charges*, et que celle-ci a pour valeur :

$$E_0 = \frac{Q_1 E_1 + Q_2 E_2 + \dots + Q_n E_n}{Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n}. \quad (28)$$

On remarquera, du reste, que cette formule est purement mathématique, qu'elle ne fait intervenir aucune hypothèse, et qu'elle est toujours calculable.



Dans l'avant-projet on la calculera en se donnant, par approximation, les valeurs de d dans les divers tronçons par estimation de la perte de calories. Dans le projet d'exécution, on corrigera en appliquant aux tuyauteries trouvées les pertes qu'elles représentent après calcul.

On calculera facilement Q par l'écart de température qu'on veut se donner entre l'entrée au radiateur et la sortie, 10, 15, 20° ou plus ; on connaît les hauteurs par le tracé, on peut donc calculer E_1, E_2, E_n , et, par suite, leur résultante E_Q (1).

La théorie de la résultante des charges aura, évidemment, pour conséquence la conception d'une vitesse uniforme possible dans le circuit, ou tout au moins dans la partie du circuit sur laquelle s'exerce la résultante des charges.

Cette vitesse uniforme aura donc comme corollaire l'obligation d'avoir des diamètres proportionnels aux débits.

Dans la figure 441, si on prend pour unité le diamètre des tuyaux 2.8. alimentant le radiateur I, on aura :

$$D_2 = D_8 \quad (29)$$

$$D_9 = D_{10} = \sqrt{\frac{Q_2}{Q_1}} \cdot D_2 \quad (30)$$

$$D_3 = D_5 = D_6 = D_7 = \sqrt{\frac{Q_1 + Q_2}{Q_1}} \cdot D^2 \quad (31)$$

Il suffira donc de calculer un diamètre pour en déduire immédiatement la valeur de tous les autres, par un simple calcul de proportions.

De même, les volumes sont liés par la relation :

$$Q_{II} = Q_I \left(\frac{Q_{II}}{Q_I} \right) \quad (32)$$

et

$$Q_I + Q_{II} = \Sigma Q = Q_I \left(\frac{Q_I + Q_{II}}{Q_I} \right) = Q_I \left(\frac{\Sigma Q}{Q_I} \right) \quad (33)$$

Longueurs relatives en fonction des diamètres et des débits. — Prenons la formule monôme de pertes de charges sous sa forme générale

$$J = aQ^b \frac{1}{D^c} L \quad (34)$$

qui représentera simultanément les formules de Flamant (21), de

1. On remarquera qu'on pourrait éviter de faire intervenir Q , et se contenter, comme le font la plupart des Ingénieurs, de faire les calculs avec les chiffres M de calories. Nous préférons calculer les volumes, parce que ceci nous permet de faire, dans une même installation, fonctionner les radiateurs à diverses températures, ce qui est extrêmement intéressant.

Brabée (22) ou celle que nous avons proposée (23), et dont, seuls, les coefficients et les puissances diffèrent, et admettons le principe de la vitesse uniforme (résultante des charges).

Dans les tronçons 2 et 8 du circuit du radiateur I,

$$\frac{v^2}{2g} (R_2 + R_8) = a \cdot Q_1^b \cdot L_{2+8} \cdot \frac{1}{D_8^c} \quad (35)$$

$$\frac{v^2}{2g} (R_9 + R_{10}) = a Q_{11}^b \cdot L_{9+10} \cdot \frac{1}{D_9^c} \quad (35 \text{ bis})$$

et

$$\frac{v^2}{2g} (R_3 + R_5 + R_6 + R_7) = a Q_{11+11}^b \cdot L_{3+5+6+7} \cdot \frac{1}{D_3^c} \quad (35 \text{ ter})$$

Si nous remplaçons successivement les valeurs respectives de D et de Q par celles des équations (29) (30) (31) (32) (33), nous arriverons à :

$$\frac{v^2}{2g} \Sigma R_{2,8} = a \cdot Q_1^b \cdot \frac{1}{D_8^c} L_{2,8} \quad (36)$$

$$\frac{v^2}{2g} \Sigma R_{9,10} = a Q_1^b \cdot \frac{1}{D_9^c} L_{9,10} \left(\frac{Q_1}{Q_{11}} \right)^{\frac{c-2b}{2}} \quad (36 \text{ bis})$$

$$\frac{v^2}{2g} \Sigma R_{3,5,6,7} = a Q_1^b \cdot \frac{1}{D_3^c} L_{3,5,6,7} \left(\frac{Q_1 + Q_{11}}{Q_1} \right)^{\frac{c-2b}{2}} \quad (36 \text{ ter})$$

Et, en totalisant

$$\frac{v^2}{2g} \Sigma R = a Q_1^b \cdot \frac{1}{D_8^c} \left[L_{2,8} + 9 \cdot 10 \left(\frac{Q_1}{Q_{11}} \right)^{\frac{c-2b}{2}} + L_{3,5,6,7} \left(\frac{Q_1 + Q_{11}}{Q_1} \right)^{\frac{c-2b}{2}} \right] \quad (37)$$

Les expressions :

$$L_{2,8} \left(\frac{Q_1}{Q_{11}} \right)^{\frac{c-2b}{2}} \text{ et } L_{3,5,6,7} \left(\frac{Q_1}{\Sigma Q} \right)^{\frac{c-2b}{2}}$$

peuvent être appelées les *longueurs relatives* des tronçons 9 + 10 et 3 + 5 + 6 + 7, en fonction de leurs débits et de leurs diamètres respectifs, comparés aux débits et diamètres des tronçons du radiateur I pris comme unité.

Si on remarque que, dans l'équation (37), la première partie $v \Sigma R$ représente la totalité des pertes de charge du circuit, et que, d'après la théorie des circulations d'eau chaude il faut, et il suffit que la charge soit très légèrement supérieure aux pertes de charge pour qu'il y ait circulation, on voit que, en réalité :

$$\frac{v^2}{2g} \Sigma R = \Sigma E. \quad (38)$$

En portant cette valeur dans l'équation (37), on pourra immédiatement en déduire la valeur du diamètre D_8 , choisi comme unité, et, par suite, tous les diamètres en appliquant les formules (29) (30) (31).

$$D_8 = \sqrt{\frac{a Q_1^4}{\Sigma E} \left(L_1 + L_{II} \left(\frac{Q_1}{Q_{II}} \right)^{\frac{c-26}{2}} + \dots + L_n \left(\frac{Q_1}{\Sigma Q} \right)^{\frac{c-26}{2}} \right)} \quad (39)$$

Si on adopte la formule que nous avons proposée (23).

$$D_8 = \sqrt[4.75]{\frac{0.000645 \cdot Q_1^{.75}}{\Sigma E} \left(L_1 + L_{II} \left(\frac{Q_{II}}{Q_1} \right)^{0.625} + \dots L_n \left(\frac{\Sigma Q_1}{Q} \right)^{.625} \right)} \quad (40)$$

Application des méthodes de calcul des diamètres.

1^o THÉORIE DU CIRCUIT LE MOINS FAVORISÉ OU DE MOINDRE CHARGE (école allemande). — On a calculé toutes les charges $E_1, E_2, \dots E_n$, (formules (13), (14), d'abord pour l'avant-projet en se donnant par approximation les chutes de températures dans les tuyauteries, d'où on a déduit les densités $d_1, d_2, d_3 \dots d_n$.

On choisit le circuit dont la charge E est la plus faible, et on considère toute la partie du circuit entre la chaudière et le radiateur, aller et retour, par exemple la charge E_1 et les tuyaux 5. 6. 7. 8. 2. 3.

On choisit à volonté, par simple appréciation, tous les diamètres, sauf un seul, par exemple 5. 6. 7. 8. 3., et on laisse à calculer 2.

Au moyen de la formule des pertes de charges qu'on a l'habitude d'employer, formule (20), (21), (22), (23), ou toute autre, on calcule les pertes de charge dans les tronçons ainsi choisis, 5. 6. 7. 8. 3. 1.

On totalise ces pertes de charges, arrivant ainsi à un total R' .

Si $R' > E_1$, les diamètres choisis sont trop petits, on en augmente un, deux, trois, etc., jusqu'à ce qu'on ait $R' < E_1$.

On fait la différence $E_1 - R' = R_x$.

Il suffit alors de calculer le diamètre du tronçon réservé 2, pour que la somme de ses résistances soit égale à R_x , en se servant de la même formule.

On connaît E_2 , qui se rapporte aux tronçons 9.10 du radiateur R_{II} et aux tronçons communs 3.5.6.7.

On vient d'établir précédemment le calcul des résistances dans les tronçons 3.5.6.7, qui donne un total R_y . On fait la différence $E_2 - R_y$, étant bien entendu que cette différence est positive, c'est-à-dire que $E_2 > R_y$. S'il en était autrement, il faudrait recommencer le calcul du tronçon précédent en modifiant les diamètres arbitrairement choisis, jusqu'à ce qu'on trouve $E_2 > R_y$.

La différence $E_2 - R_y = R_z$ est celle qui devra être absorbée par les résistances du circuit 9.II.10.

On choisit arbitrairement un des diamètres 9 ou 10, on calcule ses résistances, par exemple R_{10} , avec la même formule.

On fait la différence $R_z - R_{10}$, et on calcule, avec la même formule le diamètre correspondant du tuyau D_9 .

Quand tout le calcul préliminaire est ainsi terminé, il reste à le vérifier pour l'exécution.

Avec les diamètres de tuyauteries ainsi établis, on fait le calcul des pertes de chaleur en route, duquel on déduit les densités réelles de l'eau. Ces densités permettent alors de déterminer plus exactement les charges $E_1, E_2 \dots E_n$, avec les formules (13) (14).

Si ces charges s'écartent de celles admises à l'étude primitive, on recommence le calcul précédent des diamètres, en suivant le même ordre, jusqu'à ce que tous les résultats concordent.

Ceci fait comprendre combien long et fastidieux est un tel calcul pour une installation importante.

Rietschel, qui est le créateur de la méthode, a établi toute une série de tableaux formant deux gros volumes, dont l'emploi est relativement facile ¹.

La 5^e édition de son Guide pour le calcul et les projets d'installations de chauffage et de ventilation est beaucoup plus explicite que les précédentes, et rend les calculs sensiblement plus faciles. Elle n'a pas été traduite en français ².

Nous appelons toutefois l'attention sur les réserves que nous croyons devoir maintenir en ce qui concerne l'emploi de la formule de Brabbée, dans laquelle nous n'avons pas entière confiance.

2^o THÉORIE D'UNE RÉSUULTANTE DES CHARGES PARTIELLE. — Les partisans de cette théorie admettent bien qu'il peut exister une résultante des charges dans une certaine mesure, mais que cette résultante ne peut influer sur la charge dans les tronçons séparés du circuit commun. Par suite, ils craignent que, si on adoptait une valeur E_a supérieure à la

1. La 4^e édition. *Traité de chauffage et de ventilation*, traduite par Léon Lasson a été publiée à Paris en 1911. Librairie Béranger.

Les nouvelles formules de Brabbée, et la transformation de méthode qui en résulte, et qui annule tous les tableaux des éditions précédentes, ont été publiées dans la 5^e édition (Springer à Berlin 1913) qui n'a pas encore été traduite en France.

2. M. Nillus a publié en 1913 et 1914 toute une série d'études d'application des formules de Brabbée, réservée aux entrepreneurs non théoriciens, dans son *Journal Chauffage et Industries sanitaires*. Il fournit également une méthode en deux tableaux, par l'application de la théorie des points alignés, qui permet de résoudre facilement et rapidement tous les projets de chauffage, en appliquant les formules de Brabbée. Voir *Journal Chauffage et Industries sanitaires*, N^o 65, Décembre 1913.

charge E_1 du circuit le moins favorisé, il n'y aurait pas circulation avec une vitesse suffisante dans les radiateurs correspondants de ce circuit.

Ils admettent simplement que la résultante des charges peut avoir pour résultat de créer une vitesse uniforme dans le circuit, si les tuyauteries sont convenablement calculées.

Supposons (*fig.* 441) que le radiateur I, dont la charge E_1 a été calculée comme nous l'avons dit précédemment, est placé sur le circuit de moindre charge.

Nous aurons, avec une vitesse uniforme dans le circuit 8.2.3.5.6.7,

$$D_8 = D_2 \text{ pour un débit } Q_1$$

et

$$D_3 = D_5 = D_6 = D_7 = D_2 \sqrt{\frac{Q_{11} + Q_1}{Q_1}} \text{ pour un débit } Q_1 + Q_{11},$$

d'après les formules (29) (30).

Nous établirons les longueurs L , L_r , L_v , c'est-à-dire ΣL pour chaque groupe de tronçons L_{2-8} et $L_{3-5-6-7}$ (formule 24).

Puis, nous calculerons les longueurs relatives en fonction des diamètres et des débits, formules (36) (37).

$$L_{2+8} \text{ et } L_{3+5+6+7} \left(\frac{Q_1}{Q_1 + Q_{11}} \right)^{\frac{c-2b}{2}}$$

ou

$$L_{3+5+6+7} \left(\frac{Q_1}{Q_1 + Q_{11}} \right)^{0.625}$$

si nous avons choisi la formule (23).

Nous en déduirons immédiatement la valeur de D_8 , d'après la formule (39) ou (40).

$$D_8 = \sqrt{\frac{a Q_1^c}{E_1} \left[(L_{2+8} (+) L_{3+5+6+7}) \left(\frac{Q_1}{\Sigma Q} \right)^{\frac{c-2b}{2}} \right]} = \sqrt[4.75]{\frac{a Q_1^{4.75}}{E_1} (L_{2+8} (+) L_{3+5+6+7}) \left(\frac{Q_1}{\Sigma Q} \right)^{0.625}}$$

E_1 représentant la charge du circuit le moins favorisé à absorber dans ce circuit.

$D_8 = D_2$ étant ainsi déterminé, nous calculerons $D_3 = D_5 = D_6 = D_7$, comme nous l'avons dit ci-dessus.

Pour le radiateur II, qui a créé une charge E_2 , nous absorberons dans le circuit 9, II, 10 le supplément de charge $E_2 - E_1$.

$$D_9 = D_{10} = \sqrt{\frac{a Q_{11} L_{9+10}}{E_2 - E_1}}$$

Ces diamètres de l'étude provisoire nous permettront de calculer les pertes de chaleur par les tuyauteries, d'établir les densités correspondantes, et les charges plus exactes E_1 et E_2 , avec lesquelles nous rectifierons pour l'exécution les calculs des diamètres.

3^o THÉORIE DE LA RÉSULTANTE DES CHARGES COMPLÈTE. — Ici, on suppose que la résultante des charges E_0 , calculée comme nous l'avons montré précédemment (28), contribue à assurer une vitesse uniforme dans tout le circuit.

Le calcul se fera d'une manière analogue à celui de la théorie précédente, sauf que nous aurons posé :

$$D_2 = D_8, \text{ pour } L_{2+s}$$

$$D_9 = D_{10} = D_8 \sqrt{\frac{Q_{11}}{Q_1}}, \text{ pour } L_{2+s} \left(\frac{Q_1}{Q_{11}}\right)^{\frac{c-2b}{2}} = L_{9+10} \left(\frac{Q_1}{Q_{11}}\right)^{0.625}$$

$$D_3 = D_5 = D_6 = D_7 = D_8 \sqrt{\frac{\Sigma Q}{Q_1}}, \text{ pour } L_{3+5+6+7} \left(\frac{Q_1}{\Sigma Q}\right)^{\frac{c-2b}{2}}$$

$$= L_3 + L_5 + L_6 + L_7 \left(\frac{Q_1}{\Sigma Q}\right)^{0.625}$$

et nous tirerons :

$$D_8 = \sqrt{\frac{c}{\frac{aQ_1^b}{\Sigma E} \left[\left(L_{2+s} + L_{9+10} \right) \left(\frac{Q_1}{Q_{11}}\right)^{\frac{c-2b}{2}} + \left(L_{3+5+6+7} \right) \left(\frac{Q_1}{\Sigma Q}\right)^{\frac{c-2b}{2}} \right]}}$$

$$= \sqrt[4.75]{\frac{aQ_1^{1.75}}{\Sigma E} \left[\left(L_{2+s} + L_{9+10} \right) \left(\frac{Q_1}{Q_{11}}\right)^{0.625} + \left(L_{3+5+6+7} \right) \left(\frac{Q_1}{\Sigma Q}\right)^{0.625} \right]}$$

Tous les diamètres seront ensuite déterminés d'après la valeur de D_8 .

TABLEAUX DE CALCUL

Pour simplifier les calculs, peut-être un peu arides pour ceux qui ne sont pas familiarisés avec les logarithmes, nous avons établi des tableaux, que nous donnons dans notre ouvrage spécial sur « THÉORIE ET PRATIQUE DES CHAUFFAGES PAR L'EAU CHAUDE. »

Ces tableaux permettront l'emploi des formules (23) (24) (37) (40) sans qu'il soit nécessaire d'effectuer les opérations logarithmiques pour élever aux puissances 0.625 et 1.75, ni d'extraire les racines 4.75.

Pour les quantités trouvées qui tomberont entre deux chiffres des tableaux, on procédera par interpolation.

Il suffira donc, pour l'avant-projet :

1° D'établir le calcul des volumes à débiter dans chaque tronçon de tuyauterie et chaque appareil, radiateur, serpentín ou surface à ailettes, résultat qui sera obtenu en divisant le chiffre M , du calcul de pertes de calories pour chaque pièce à chauffer, par l'écart de température que l'on se donne entre l'aller et le retour, 10, 15, 20° ou plus. On pourra, du reste, admettre des écarts différents pour les radiateurs d'une même installation. On aura ainsi toutes les quantités $Q_1, Q_2, Q_3, \text{etc.}, Q_1, Q_2, Q_3, \text{etc.}$;

2° En partant du plus petit volume Q_1 débité par un tronçon, d'établir les rapports $\frac{Q_1}{Q_2}, \frac{Q_1}{Q_3}, \text{etc.}$;

3° De chercher dans le tableau des valeurs des puissances 0.625 les chiffres de ces rapports $\left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)^{0.625}, \left(\frac{Q_1}{Q_3}\right)^{0.625}, \text{etc.}$;

4° De chercher dans un autre tableau la valeur de $Q^{1.75}$;

5° De mesurer toutes les longueurs réelles L sur le plan d'étude ;

6° D'évaluer approximativement les valeurs L_p , en se basant sur 15 à 20 0/0 de L pour les collecteurs, et 300 0/0 de L pour les branchements ;

7° De faire les multiplications donnant la valeur

$$Q^{1.75} \left[(L_2 + s + L_3 + 10) \left(\frac{Q_1}{Q_2} \right)^{0.625} + \dots \right]$$

8° D'estimer par approximation, en se donnant par l'examen des tableaux les valeurs des pertes de températures dans les tuyauteries, d'où on déduira les valeurs $E_1, E_2, E_3, \text{etc.}$, puis ΣE et $\frac{a}{\Sigma E}$;

9° En multipliant l'une par l'autre les valeurs trouvées dans 7° et 8°, on aura la valeur de la quantité contenue sous le radical, et on cherchera dans le 3^e tableau des racines 4,75, la valeur de sa racine, qui est celle du diamètre D_s .

10° On en déduira les valeurs de tous les autres diamètres par l'application des formules (29) (30) (31).

Pour le calcul définitif, on partira de ces diamètres trouvés 10° pour établir des quantités exactes 6°, 7°, 8°, 9° et fixer les diamètres définitifs.

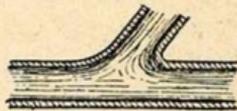


FIG. 442.

Considérations sur les résistances locales.
Quelques raccords intéressants. — Dans les installations importantes, qui comprennent des tuyauteries très longues, avec des tracés irréguliers, on a souvent avantage à employer des

soires, ou pièces de raccords, de formes spéciales, permettant de favoriser la circulation aux points de branchements, pour éviter

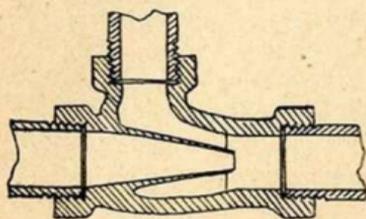


FIG. 443.

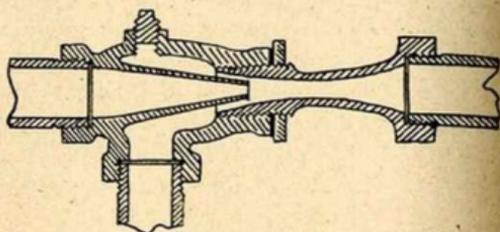


FIG. 444.

les remous qui sont habituellement dus à la rencontre de courants se raccordant à angles brusques.

On peut améliorer considérablement le fonctionnement de certains appareils défectueux, en employant des raccords de branchements de la forme de ceux indiqués aux figures 442, 443, 444, 445, 446 et 447.

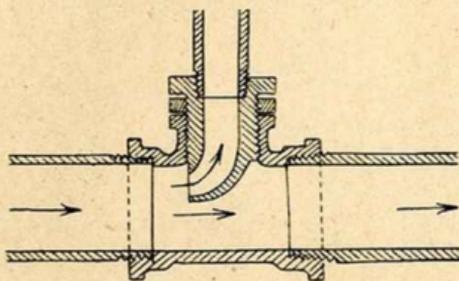


FIG. 445.

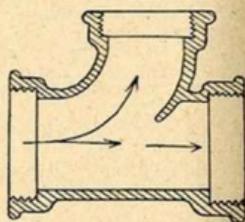


FIG. 446.

Les deux premiers, qui sont plutôt des injecteurs, ne sont pas d'un emploi fréquent dans les chauffages par l'eau chaude : ils conviennent

très bien, toutefois, pour les chauffages à circulation accélérée par émulsion, dont nous parlerons plus loin. Mais les trois raccords suivants (*fig. 445, 446 et 447*) sont très souvent employés, et donnent d'excellents résultats dans les cas difficiles.

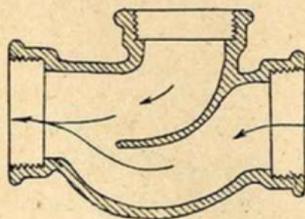


FIG. 447.

Pour terminer cette description de raccords, que le cadre un peu restreint de cette étude doit forcément limiter, nous dirons quelques mots encore des raccords usuels, qu'on trouve couramment dans le commerce.

Les coudes doivent être à grand rayon : $R = 5d$ (*fig. 448*).

Les tés doivent être raccordés par des courbes $R = 1,2D$ (fig. 449).
Il est mieux encore de leur donner la forme de la figure 450.

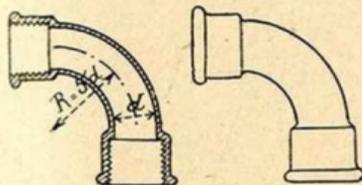


FIG. 448.

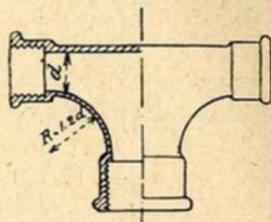


FIG. 449.

La forme de la figure 451 donne d'excellents résultats.

Celle de la figure 452 est très bonne.

Les crois (fig. 453), les réductions de diamètres (fig. 454), sont excellentes.

En un mot, tout ce qui contribue, soit par une forme allongée, soit

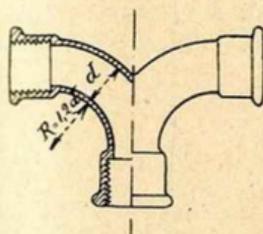


FIG. 450.

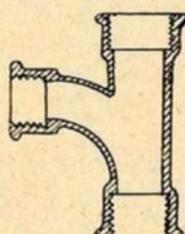


FIG. 451.

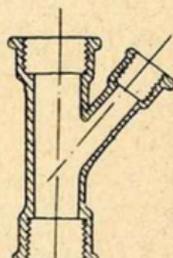


FIG. 452.

par une courbe à grand rayon, soit par des raccordements à courbes adoucies, à favoriser la circulation, doit être préféré.

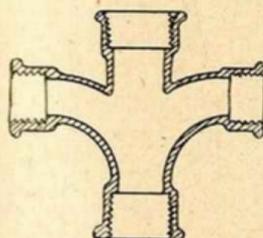


FIG. 453.

Il faut aussi éviter, le plus possible, les poches d'air, qui forment ce qu'on appelle, en terme de métier, des *bouchons d'air*.

Lorsqu'une bulle d'air se trouve emprisonnée dans un tuyau sans pouvoir se dégager, elle produit le même résultat qu'un obstacle matériel, et gêne la

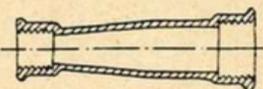


FIG. 454.

circulation, qu'elle ralentit dans une proportion considérable (fig. 455).

Le même phénomène se produit lorsque les canalisations ne sont pas très droites ; il peut s'accumuler au point haut de la conduite un bouchon

d'air, excessivement difficile à expulser, et qui interrompt partiellement la circulation (*fig. 456*).

Il est indispensable, pour obtenir une bonne circulation dans un chauff-



Fig. 455.

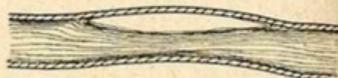


Fig. 456.

fage par l'eau chaude, d'éviter les poches d'air, et on arrive à ce résultat :

1^o En employant des tuyauteries rigides en fer, en cuivre ou en fonte, à l'exclusion des métaux mous, comme le plomb. Les alliages de plomb, comme le polymétal ne sont pas suffisamment rigides et n'ont pas donné les résultats qu'ils avaient fait espérer ;

2^o En évitant autant que possible les points hauts et les syphonages ;

3^o En plaçant, à tous les points hauts de tuyauteries, ou de syphons impossibles à éviter, des purges d'air, soit au moyen de petits tuyaux, ou *évents*, soit par des robinets purgeurs d'air, et, de préférence, avoir les pentes de tuyauteries disposées de telle manière que tout l'air s'évacue en montant vers le réservoir d'expansion.

ÉTUDE DE DIVERSES DISPOSITIONS DE CIRCULATIONS

La circulation la plus simple est celle employée pour les chauffages de serres (*fig. 457*). La tuyauterie part de la chaudière en s'élevant, avec

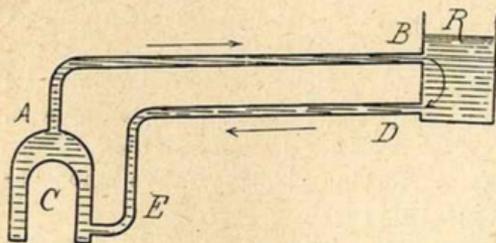


Fig. 457.

une légère pente régulière ascendante, jusqu'à un réservoir R, qui sert à la fois de réservoir d'expansion et de réservoir de remplissage.

Le tuyau de retour DE redescend du réservoir à la chaudière, avec une pente régulière analogue.

Un tel système fonctionne très bien, et, si on a eu soin de faire l'emplissage doucement, en versant l'eau lentement par le réservoir d'expansion, pour que le remplissage se fasse par le tuyau DE, jusqu'à ce que l'eau revienne par le tuyau AB, on est à peu près sûr de ne pas laisser d'air dans la circulation.

Il arrive souvent qu'on est obligé de faire syphonner la tuyauterie, par

exemple au passage d'une porte. Il est bon, dans ce cas, d'assurer la purge d'air aux deux points hauts, soit par un petit tuyau hg , soit par un robinet d'air f (fig. 458). Le petit tuyau hg est meilleur, quand on peut l'installer, parce que, non seulement il purge l'air au moment du remplissage, mais encore parce qu'il laisse évacuer l'air, toujours en dissolution dans l'eau, et mis en liberté au moment de l'ébullition.

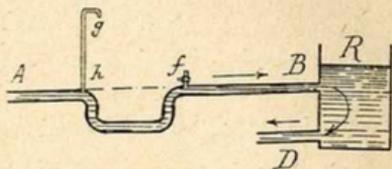


FIG. 458.

On emploie quelquefois la disposition de la figure 459, le réservoir d'expansion R étant placé au départ de la chaudière, et en communication avec le tuyau de départ AB par un petit tuyau ij . Il est indispensable, dans ce cas, de prévoir une purge d'air fg au point haut. Il est bon aussi de raccorder le réservoir d'expansion R à la chaudière, par un tuyau de retour kl , de faible diamètre, qui crée une petite circulation auxiliaire, et

empêche la chaudière de se vider, par suite de la pression de vapeur qui s'établirait si le tuyau $ABDE$ venait à être obstrué, par cause accidentelle, ou par fermeture inconsiderée d'un robinet.

Une disposition souvent employée est celle de la figure 460, le réservoir d'expansion étant placé en dérivation sur le tuyau de retour. Cette disposition doit être rejetée, parce qu'elle est dangereuse. Si, en effet, pour une raison quelconque, le chauffage devient trop intense, il peut se produire de la vapeur sous

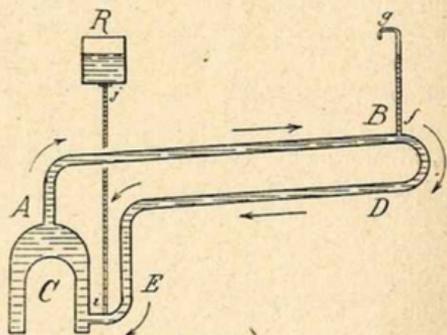


FIG. 460.

pression dans le haut de la chaudière C ; et, aussitôt que cette pression dépasse celle correspondant à la colonne Rji , il y a projection d'eau par

le réservoir, la chaudière se vide, et peut se rompre, si elle est en fonte, ou brûler, si elle est en tôle ou en cuivre.

Une autre disposition est représentée par la figure 461.

Il se crée un courant ascendant très rapide, de la chaudière au réservoir d'expansion, par la colonne AB, en raison des bulles de vapeur qui se forment dans la chaudière et se mélangent avec l'eau, dont elles diminuent la densité, jusqu'à ce qu'elles soient condensées. Cette disposition

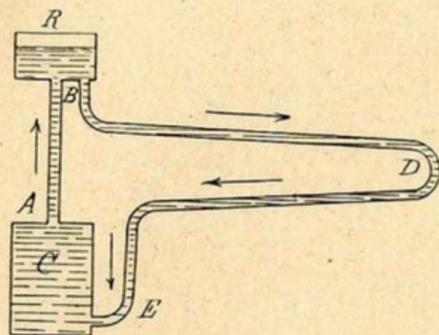


FIG. 461.

est excellente, et doit être conseillée de préférence à toutes les autres.

Elle présente cependant de petits inconvénients :

1^o Si la colonne AB est très courte, et le chauffage très intense, toutes les bulles de vapeur n'ont pas le temps de se condenser dans l'eau ; elles traversent alors l'eau du réservoir d'expansion, et viennent crever à la surface :

c'est autant de calories et d'eau perdues ;

2^o Si la colonne AB est longue, et présente des résistances, coudes, légères contre-pentes, la circulation peut être arrêtée pendant un temps très court. Il se produit alors de la vapeur, dont la tension s'augmente jusqu'à dépasser la pression correspondant à la colonne d'eau AB ; à ce moment la vapeur s'échappe bruyamment, produisant des bruits violents, des secousses qui font vibrer les tuyauteries, et fatiguent les joints, et enfin des projections d'eau bouillante dangereuses, au réservoir d'expansion.

Ces deux inconvénients peuvent, du reste, être facilement évités, en donnant à la colonne d'as-

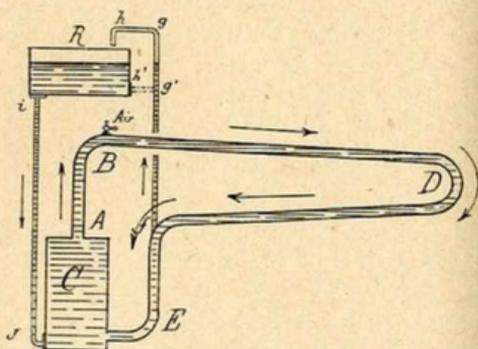


FIG. 462.

ension AB une section largement suffisante, en réduisant au minimum ses résistances par des cintrages à grand rayon, et en veillant avec le plus grand soin à ce qu'il n'existe aucune contre-pente sur son parcours.

L'emploi des régulateurs de combustion, empêchant automatiquement

le circuit de retour d'eau, et, pour éviter qu'un excès de température permette la production de vapeur, qui refoulerait l'eau par le petit tuyau *fgh* ou *fgh'*, et viderait la chaudière, un autre tuyau *ij*, un peu plus gros que *fgh*, est raccordé à la partie basse de la chaudière, pour y ramener l'eau projetée dans le réservoir d'expansion.

Cette disposition est excellente, parce qu'elle permet d'utiliser toute la chaleur de l'eau au chauffage proprement dit, l'eau du réservoir d'expansion restant à plus basse température.

Avec des diamètres de tuyauteries suffisants, avec un régulateur de combustion sur la chaudière, on est sûr d'avoir une circulation bien régulière, et sans aucun bruit.

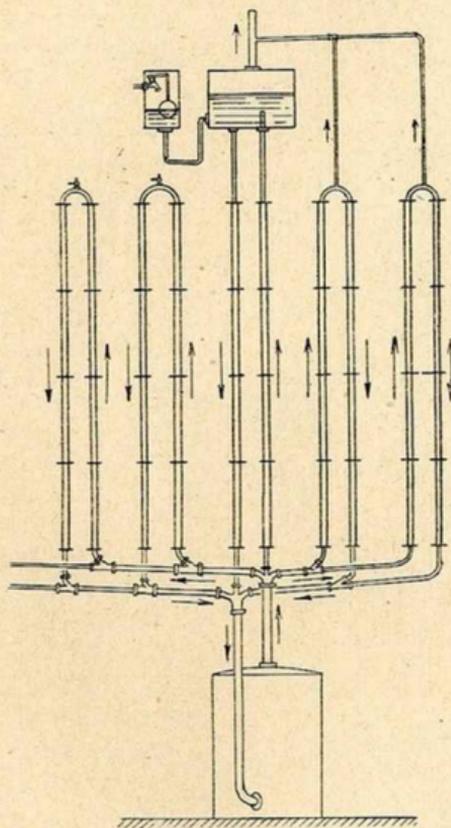


FIG. 464.

La figure 463 montre schématiquement une installation de chauffage par l'eau chaude, du système le plus généralement adopté, c'est-à-dire avec une double tuyauterie, l'une CCCDDDD amenant l'eau chaude aux radiateurs SSSS, et l'autre EEEEEFFF ramenant l'eau refroidie à la chaudière.

On peut placer en dérivation des radiateurs *S', S'*, à la condition de les munir, soit de petits robinets d'air *f*, permettant l'évacuation de l'air au moment du remplissage, soit, ce qui vaut mieux, de petits tuyaux d'évents, *e, e, e*, remplissant le même but.

Le réservoir d'expansion *R* est muni d'un couvercle, et un tuyau *G* assure l'évacuation de l'air et des buées.

Comme ces buées représentent une petite perte d'eau, un réservoir *H* contenant un robinet à flotteur, et raccordé par un syphon assez haut pour que l'eau du réservoir *H* ne s'échauffe pas, assure automatiquement un niveau d'eau constant. Le réservoir *H* doit être assez haut pour ne pas déborder lorsque le système est au repos, et que le niveau de l'eau

dans le réservoir H s'abaisse, au fur et à mesure du refroidissement de celle-ci.

Certains constructeurs emploient un système de surfaces de chauffe verticales, dissimulées dans des gaines réservées dans la maçonnerie, disposition analogue à celle décrite au chauffage à vapeur.

Le schéma d'une telle tuyauterie est représenté par la figure 464. Les conduites verticales sont alors purgées d'air aux points hauts, soit par des robinets d'air, soit par des tuyaux d'évents.

Dans les deux dispositions, il faut avoir grand soin de laisser une des surfaces, ou un des radiateurs, sans robinet d'arrêt, de manière à éviter une interruption de circulation, qui laisserait la chaudière se vider accidentellement par le réservoir d'expansion, si tous les robinets venaient à être fermés à la fois.

CIRCULATIONS SIMPLIFIÉES

Dans certains cas, et principalement dans les petits chauffages, on cherche à simplifier les tuyauteries de circulation d'eau chaude. Comme les diamètres ne peuvent pas être réduits au-dessous de la limite déterminée par le calcul, sous peine d'augmenter les résistances, et, par suite, de ralentir la circulation, on installe quelquefois des systèmes dits à *un seul tuyau*.

L'auteur croit que cette méthode est peu appliquée en France ; mais, en Angleterre, et surtout en Amérique, il existe de nombreuses installations établies suivant les dispositions ci-après.

La disposition de la figure 465 s'exécute avec des tuyauteries de circulation principale dont la section est une fois et demie celle qu'on calculerait pour un système à deux tuyaux ; les branchements ont les mêmes diamètres que dans le système à deux tuyaux, et sont toujours raccordés aux circuits principaux par des tés à réduction et à cloisonnements intérieurs (*fig. 466*), avec branchements arrondis dirigés dans le sens de la circulation. Les robinets de réglage sont placés sur le branchement de retour, et l'arrivée d'eau chaude se fait toujours à la partie haute du radiateur.

Les raccordements des branchements d'alimentation sont pris à la partie haute des tuyauteries principales. Au contraire, les retours des radiateurs sont branchés à la partie basse de ces tuyauteries principales (*fig. 467*), de manière à favoriser dans ces tuyauteries un double courant d'eau, la plus chaude se trouvant à la partie haute, et la plus refroidie, c'est-à-dire celle ayant passé par les radiateurs, circulant à la partie basse.

Bien entendu, une telle installation de chauffage doit être très soigneusement calculée, au point de vue des dimensions de tuyaux et des surfaces de chauffe des radiateurs, qui doivent aller en augmentant, à

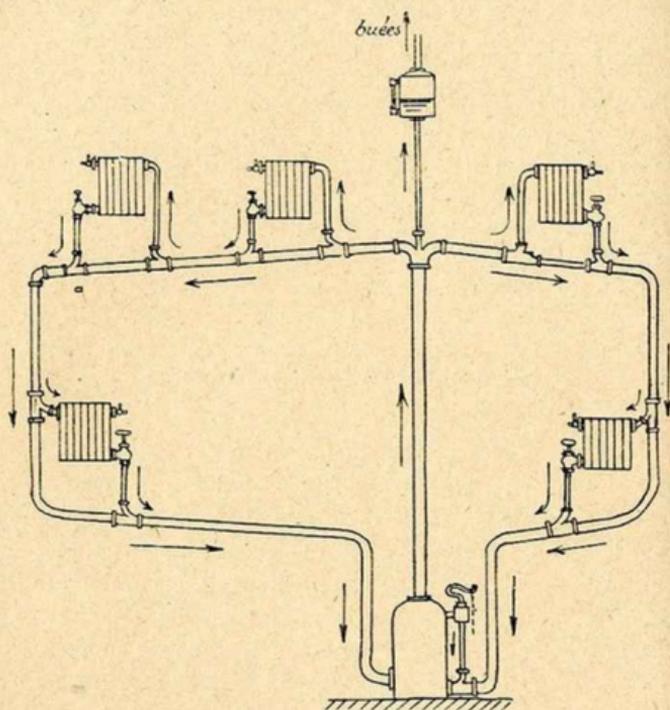


FIG. 465.

mesure qu'on s'éloigne de la chaudière, pour tenir compte du refroidissement de l'eau, au fur et à mesure de son passage dans les radiateurs.

Ces installations exigent aussi un montage très bien exécuté, au point de vue des pentes et des orientations, au-dessus et au-dessous des pièces de raccord et des tés de branchements.

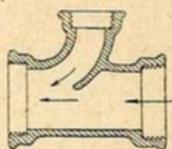


FIG. 466.

Une disposition, qui se rapproche encore plus de la circulation à un seul tuyau, est représentée par la figure 468.

Dans ce type de distribution, qui ne convient qu'aux très petits chauffages, la colonne et les branchements principaux servent à la fois pour la distribution d'eau chaude et pour les retours d'eau refroidie. La colonne verticale doit avoir une section supérieure au total des sections de la conduite de départ et de la conduite de retour.

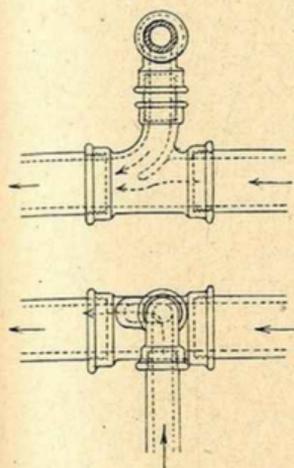


FIG. 467.

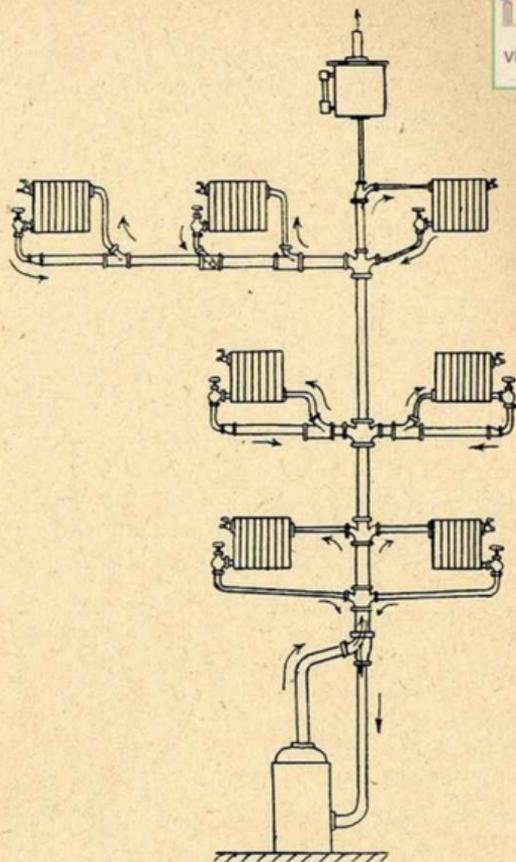


FIG. 468.

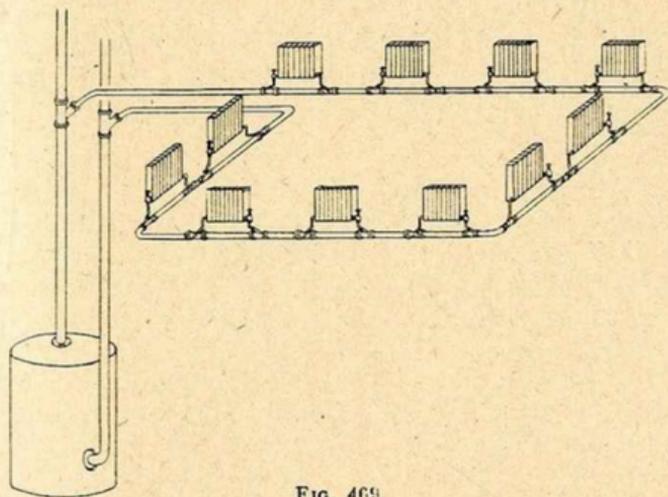


FIG. 469.

On doit aussi faire emploi de tés et raccords à angles spéciaux, et tenir compte des hauteurs de raccordements des branchements sur les conduites principales.

Ces divers types de chauffages à un seul tuyau fonctionnent très bien

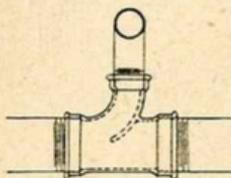
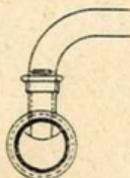


FIG. 470.



lorsqu'ils sont bien installés, et réalisent une élégante solution du problème de la simplification des tuyauteries, dans les petites maisons à un ou deux étages.

Dans les bâtiments plus importants, on ne trouve aucune difficulté, en Angleterre principalement, à placer tous les radiateurs en dérivation sur une tuyauterie horizontale unique, comme l'indique la figure 469.

On a soin, dans ce cas, de créer un circuit spécial, partant de la chaudière et y revenant, pour chaque étage ainsi desservi.

Les branchements d'alimentation se font (fig. 470), comme il est dit précédemment,

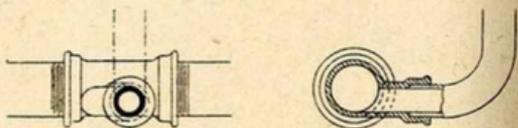


FIG. 471.

à la partie haute des tuyauteries principales; les branchements de retour se font (fig. 471) à la partie basse. On emploie des raccords spéciaux à branches inclinées et cintrées, et avec cloisonnements intérieurs, comme ceux déjà décrits.

Avec des sections de 1 1/2 fois celles des systèmes ordinaires, on n'a pas plus de 10 à 15° de différence de température entre l'aller et le retour, et on proportionne en conséquence les surfaces des radiateurs, suivant leur éloignement de la colonne montante.

CHAPITRE XIX

THÉORIE DU CHAUFFAGE PAR L'EAU CHAUDE A HAUTE PRESSION

Dans le chauffage par l'eau chaude que nous avons étudié au chapitre XVIII, le réservoir d'expansion est librement ouvert à l'atmosphère, ce qui permet à l'eau de se dilater, et à son niveau de s'élever sans obstacle dans ce réservoir.

La densité maximum de l'eau à 4° étant de 1, et la densité à 100° étant 0,958634, 1 mètre cube d'eau à 4° devient à 100° :

$$\frac{1}{0,958634} = 1\text{ m}^3,04315.$$

L'augmentation de volume est de 43¹/₂₃ par mètre cube, soit $\frac{1}{23}$.

Si on emploie un réservoir d'expansion complètement fermé, la dilatation se produit, mais l'air contenu dans le réservoir d'expansion, au-dessus du niveau de l'eau, diminue de volume.

Si la pression augmente, il devient de l'air comprimé.

Le système est donc sous pression de l'air comprimé dans le réservoir d'expansion, mélangé avec la vapeur, qui a pu se dégager jusqu'à saturation complète.

Supposons un réservoir fermé (fig. 472) dont la capacité au-dessus de la ligne *aa*, qui est le niveau à + 4°, est juste de $\frac{1}{23}$ du volume d'eau contenu dans le système de chauffage.

A 70°, le niveau de l'eau s'élèvera à la moitié du réservoir, et la pression de l'air comprimé sera de 2 atmosphères ; à 85°, le niveau est en *cc*,

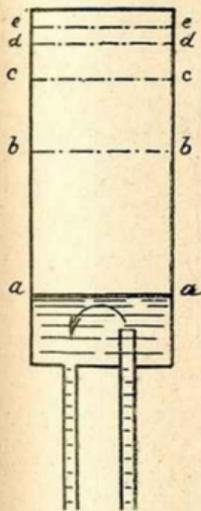


FIG. 472.

et le volume d'air est réduit au 1/4, la pression est de 4 atmosphères ; vers 93-94°, le volume est réduit au 1/8, la pression est de 8 atmosphères ; à 99°, le volume est réduit à 1/22, et la pression est de 22 atmosphères, etc.

Si on continuait à élever la température au-dessus de 100°, la pression continuerait à augmenter dans le système, sans autre limite que celle de la résistance de ses organes.

On peut donc admettre qu'en proportionnant convenablement un réservoir d'expansion on arriverait à chauffer l'eau à une température de beaucoup supérieure à 100°.

Si nous supposons que la chaudière, les canalisations et le réservoir ont été construits en matériaux excessivement résistants, et que le réservoir d'expansion a été convenablement rempli d'eau, puis ensuite refermé, et rendu complètement étanche, la température croîtra avec la pression, comme le montre le tableau ci-dessous.

PRESSION EFFECTIVE en kilogrammes au-dessus de l'atmosphère	TEMPÉRATURE DE L'EAU	PRESSION EFFECTIVE en kilogrammes au-dessus de l'atmosphère	TEMPÉRATURE DE L'EAU	PRESSION EFFECTIVE en kilogrammes au-dessus de l'atmosphère	TEMPÉRATURE DE L'EAU	PRESSION EFFECTIVE en kilogrammes au-dessus de l'atmosphère	TEMPÉRATURE DE L'EAU
0,5	111°	7	170°	13,5	196°	20	214°
1	120	7,5	173	14	197	21	217
1,5	127	8	175	14,5	199	22	220
2	133	8,5	177	15	200	23	222
2,5	138	9	179	15,5	202	24	224
3	143	9,5	181	16	203	25	228
3,5	147	10	183	16,5	205	30	237
4	151	10,5	185	17	206	35	245
4,5	155	11	187	17,5	208	40	253
5	158	11,5	189	18	209	45	260
5,5	161	12	191	18,5	210	50	266
6	164	12,5	193	19	211	»	»
6,5	167	13	194	19,5	212	»	»

Une telle disposition n'est pas sans danger, du reste, et on se souvient encore dans l'industrie du chauffage du terrible accident arrivé en janvier 1858 à l'église Saint-Sulpice à Paris, avec un chauffage à eau chaude, dont le réservoir d'expansion était fermé, et muni d'une soupape de sûreté, réglée de 2 à 3 kilogrammes suivant la rigueur de l'hiver.

En 1845, l'ingénieur anglais A.-M. Perkins prit un brevet pour un système de chauffage permettant de porter l'eau en vase clos à une très haute température, et de la faire circuler dans un réseau de tuyauteries. Son invention eut, en Angleterre, un grand succès, et le système est uni-

versellement connu sous le nom de système Perkins. Il fut appliqué dans le monde entier.

Toutefois, de fort nombreux accidents, quelquefois très graves, ne tardèrent pas à modérer la faveur qui l'avait accueilli ; des ruptures de tuyaux, suivies de vaporisation instantanée, des incendies mêmes, dus, prétend-on, à la combustion spontanée du bois trop longtemps porté à haute température dans le voisinage des tuyaux, enfin l'invention de systèmes moins dangereux, le firent tomber en défaveur.

La maison anglaise A.-M. Perkins et fils, en Angleterre, est maintenant à peu près la seule à continuer, de même qu'en France tous les constructeurs l'ont abandonné, sauf, peut-être, M. Gandillot, qui continue à l'installer, avec succès, du reste, en raison de sa grande expérience¹.

La législation anglaise, ainsi que les Compagnies anglaises d'assurances contre l'incendie ont établi, pour permettre son emploi, des prescriptions excessivement rigoureuses, et, en particulier, exigent que toutes les tuyauteries soient éloignées des pièces de bois de charpente et de menuiserie d'au moins 75 millimètres (3 pouces).

Chauffage Perkins. — Un système de chauffage Perkins se compose d'un circuit ininterrompu de tuyaux en fer, de qualité et épaisseur spéciales, qui comprend trois parties principales : le foyer, la circulation, le réservoir d'expansion (fig. 473).

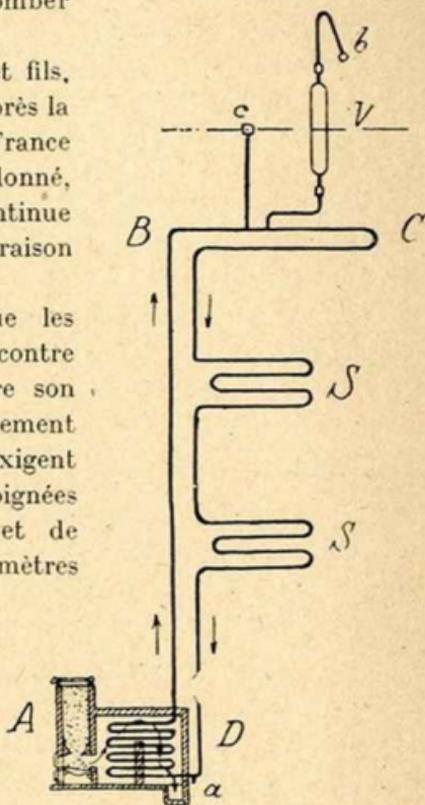


FIG. 473.

Le foyer est un simple serpentin, construit avec le même tuyau que celui employé à la circulation, et qui a une surface de chauffe établie sui-

1. M. Grasset, de Versailles, un fervent apôtre du chauffage Perkins, qu'il a beaucoup étudié et perfectionné, nous a fait remarquer que notre appréciation est un peu sévère. Dans diverses communications qu'il a faites le 17 mai 1912 et le 20 novembre 1912 à l'Association des Ingénieurs de Chauffage et ventilation de France, il nous a donné diverses documentations que nous reproduirons dans notre traité spécial « Théorie et Pratique des Chauffages par l'eau chaude ». En résumé, M. Grasset assimile le chauffage Perkins à un chauffage à circulation accélérée par émulsion, en raison de la production de vapeur dans la chaudière en serpentin.

vant un certain rapport, comme nous le verrons plus loin, avec la surface de chauffe du circuit.

Ce serpentín est placé dans une enveloppe en maçonnerie, et reçoit la chaleur directe du foyer, qui est lui-même à fonctionnement continu ou discontinu.

L'extrémité supérieure du serpentín est raccordée à la conduite de départ de la circulation, l'extrémité inférieure est raccordée à la conduite de retour.

La circulation est composée de tuyaux en fer spéciaux, de 15 millimètres intérieur et 27 millimètres extérieur, ou de 22 millimètres intérieur et 34 millimètres extérieur, ce qui correspond à une épaisseur de 6 millimètres. Ces tuyaux peuvent résister facilement à une pression de 100 atmosphères, bien que le régime de marche dépasse rarement 10 à 15 atmosphères, ce qui correspond à une température moyenne de 180 à 200° pour l'eau en circulation.

Ils sont installés par grandes longueurs de 5 à 6 mètres, assemblées l'une à l'autre au moyen de manchons en fer forgé, taraudés pas à droite et pas à gauche.

Le joint est rendu parfaitement étanche par un serrage à bloc, l'extré-

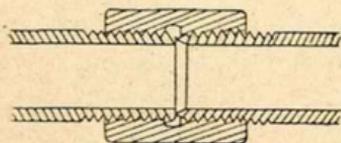


FIG. 474.

mité taillée en biseau d'un des tuyaux venant s'adapter sur l'extrémité de l'autre, parfaitement dressée (fig. 474).

La circulation contourne les pièces à chauffer, le long des plinthes et dans les angles, se replie en serpentins plats, rectangulaires ou ronds, dans les ébrasements des fenêtres, et sous des coffrages ajourés prévus à cet effet, de manière à former, dans chaque local, la surface de chauffe nécessaire. Elle s'élève à la partie haute du bâtiment, se raccorde avec le réservoir d'expansion, puis redescend, par une série de serpentins analogues, pour rentrer au foyer. On a soin, du reste, de placer plus de serpentins, c'est-à-dire une résistance plus grande, sur la partie du circuit qui revient au foyer, de manière à faciliter la circulation de montée, et éviter que le mouvement ne se produise en sens inverse.

Le réservoir d'expansion se compose d'une ou plusieurs bouteilles en fer forgé, de 70 à 100 millimètres intérieur, dont les deux extrémités sont ramenées au diamètre du tuyau, de manière à se raccorder avec lui par un té et un manchon en fer forgé.

On place, en général, en avant du réservoir d'expansion, un té, prolongé par un tuyau, lui-même fermé par un bouchon fileté, montant jusqu'à la hauteur du niveau d'eau normal dans ledit réservoir, et, au-dessus de ce réservoir, un tuyau également fermé par un bouchon (fig. 475).

Près du foyer se trouve un autre té, fermé par un bouchon, et qui sert pour l'emplissage.

L'emplissage doit être fait avec le plus grand soin, de manière à ce qu'il ne reste pas de poches d'air dans le système. Cet air, ainsi emprisonné, forme en effet un bouchon, qui arrête momentanément la circulation, jusqu'à ce que la pression soit suffisante pour le chasser, et le repousser au réservoir d'expansion, avec des bruits et des chocs excessivement violents et très désagréables, qui ébranlent la canalisation, et détruisent les joints, ainsi que les scellements des supports et colliers.

L'emplissage se fait généralement à la pompe, par la partie basse ; on dévisse le bouchon *a* et on visse le raccord d'une pompe ; on dévisse les raccords *b* et *c*, et on pompe très lentement, avec beaucoup de précaution, jusqu'à ce que l'eau sorte par le raccord *c*. Si la circulation est compliquée et renferme beaucoup de

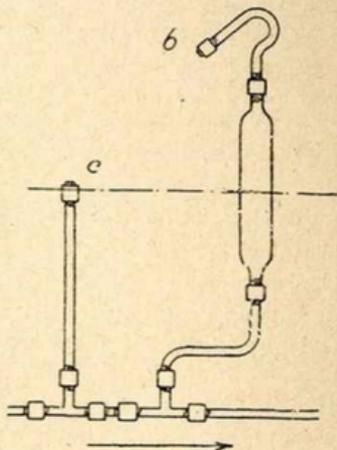


FIG. 475.

serpentins, il est bon de prévoir des bouchons semblables sur un certain nombre de serpentins. On les dévisse au moment du remplissage, et on laisse couler quelques seaux d'eau, avant de les revisser et de continuer l'opération, pour être bien sûr qu'il ne reste plus d'air.

Quand une certaine quantité d'eau s'est écoulée par la tubulure *c*, on visse les bouchons *c* et *b*, puis on enlève la pompe, on visse le bouchon *a*, et le système est prêt à fonctionner.

Pendant quelques jours, l'air en dissolution dans l'eau se dégage, et remonte au réservoir d'expansion ; il faut ajouter un peu d'eau tous les matins pendant une semaine.

A cet effet, on laisse tomber le feu et refroidir le système ; puis on dévisse les bouchons *c* et *b*, et on verse de l'eau par le tuyau *c* jusqu'à ce qu'elle affleure son extrémité. On revisse et on remet en route. Cette opération n'est plus ensuite nécessaire qu'une fois ou deux par quinzaine.

Il faut avoir le plus grand soin de ne faire un tel remplissage qu'après avoir laissé refroidir presque complètement la circulation. Si on dévissait un bouchon pendant que l'eau est chaude, ce bouchon serait violemment projeté, et pourrait tuer l'imprudent, et l'eau à haute température se vaporiserait instantanément, en revenant à la pression atmosphérique, ce qui pourrait produire un très grave accident.

Nous avons vu, au chapitre IV, *Coefficients de transmission*, qu'un tuyau contenant de l'eau à 180°-200° peut transmettre jusqu'à 1.800 calories par mètre carré.

En pratique, les prévisions sont faites pour un fonctionnement sous 4 à 5 atmosphères de pression, ce qui correspond à 150 ou 160°, et à 1.200 calories par mètre carré.

Grosso modo, on peut admettre un développement de tuyaux ou de serpentins en 15/27 de 35 mètres pour 100 mètres cubes, dans les salons, salles à manger, classes, etc., chauffés à 18°, et 25 mètres dans les chambres à coucher, vestibules, etc., chauffés à 15°. Le serpentín du foyer a un développement de 1/8 à 1/5 de celui du circuit. Le réservoir d'expansion a une capacité de 0,3 environ du volume total de l'eau contenue dans le circuit et le serpentín ; s'il est trop grand, l'air se mélange à la circulation, produit des claquements, et peut même donner lieu à une rupture de tuyau ; s'il est trop petit, il y a rupture, l'eau n'étant pas compressible. Le réservoir d'expansion doit être aussi loin que possible du foyer, et rester froid ; s'il s'échauffe, c'est que la pression dans le système est trop élevée.

La longueur d'une circulation, serpentín compris, ne doit pas être plus grande que 180 mètres.

Si le volume à chauffer nécessite un circuit sensiblement plus long, il faut revenir au foyer, faire un second serpentín, et repartir pour un nouveau circuit. Dans certains grands bâtiments on a ainsi quatre ou cinq circuits, et même davantage, si c'est nécessaire. Ces circuits sont raccordés l'un à l'autre, sans solution de continuité, mais il faut un réservoir d'expansion sur chacun d'eux.

Tous les réservoirs d'expansion doivent, si possible, être placés à la même hauteur. Ce n'est pas indispensable toutefois, et, à la grande rigueur, on peut les placer à des niveaux différents, pourvu qu'ils soient au point haut de leurs circuits respectifs, mais le remplissage, dans ce cas, devient très délicat.

Il faut prendre les plus grandes précautions contre la gelée, et vider l'eau, si on ne fait pas de feu au moment des grands froids.

L'auteur a personnellement l'expérience d'un très grave accident arrivé dans une petite installation à Nogent-sur-Marne. L'eau ayant gelé dans le serpentín pendant l'hiver, un allumage brusque du foyer a porté au rouge la tuyauterie, le dégel ne s'étant produit que lentement, et par transmission, le feu s'est communiqué au plancher du rez-de-chaussée, pendant que la pression, atteignant une limite inconnue, produisait une explosion formidable, réduisant en miettes le foyer et le fourneau, et produisant des dégâts très importants dans la chaufferie. Le chauffeur, fort heureusement, n'était pas à proximité : il eût été infailliblement tué.

On a quelquefois cherché à produire une expansion et un remplissage automatiques des circulations Perkins, en remplaçant le réservoir d'expansion par une soupape de sûreté à double orifice, placée dans un réservoir ouvert et rempli d'eau, de manière à la noyer complètement (fig. 476).

Cette soupape est chargée d'un poids correspondant à la pression de marche maximum que l'on s'est fixée.

Si la pression s'élève, l'eau, en se dilatant, soulève un des clapets de la soupape, et une partie s'évacue dans le réservoir. Quand la pression s'abaisse ensuite, l'eau se contracte, et le vide qui tend à se produire soulève l'autre clapet, et fait appel de l'eau du réservoir.

Cette soupape ne donne qu'une sécurité relative : un grain de sable ou de calcaire, se glissant dans un siège de clapet, un clapet qui se colle, peut donner lieu aux plus graves mécomptes, soit que la soupape supérieure reste ouverte après l'expansion, et qu'une violente

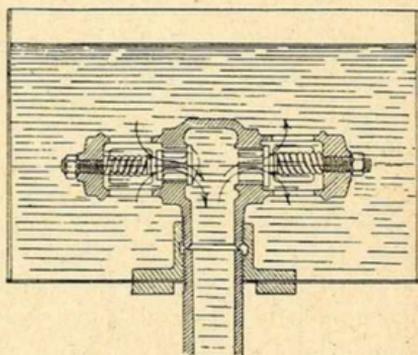


FIG. 476.

vaporisation se produise, soit que la soupape inférieure ne s'ouvre pas au moment de la contraction, et que le même phénomène de vaporisation instantanée vide toute l'eau de la circulation.

Malgré ses défauts, on peut dire que le système Perkins a certains avantages, qui lui conservent des partisans. Bien installé par un constructeur expérimenté, il est très commode. Les tuyauteries sont peu encombrantes, faciles à dissimuler ; le foyer ne prend pas de place, et peut être au besoin installé dans une annexe du fourneau de cuisine. Enfin, en raison du faible volume d'eau en circulation, la mise en route et l'arrêt sont très rapides. L'installation en est peu coûteuse.

Il a, toutefois, l'inconvénient de permettre difficilement un réglage partiel du chauffage ; il est impossible de sectionner ses divers circuits par des robinets, et il faut, de toute nécessité, chauffer tous les locaux à la fois, ou arrêter complètement le chauffage, sans qu'il soit possible de modérer le chauffage d'une pièce seule, dans un ensemble chauffé. Les systèmes ci-après ont tenté d'éviter ce défaut, et, bien qu'ils ne soient plus guère employés depuis que le chauffage par la vapeur à basse pression est devenu d'un usage universel, il est au moins intéressant d'en dire quelques mots, ne fût-ce qu'à titre rétrospectif.

Microsyphon Geneste-Herscher. — Ce chauffage n'était autre qu'un appareil Perkins, dans lequel la pression était limitée à 5 ou 6 kilogrammes par une soupape de sûreté et un manomètre électrique, avertisseur de surpression.

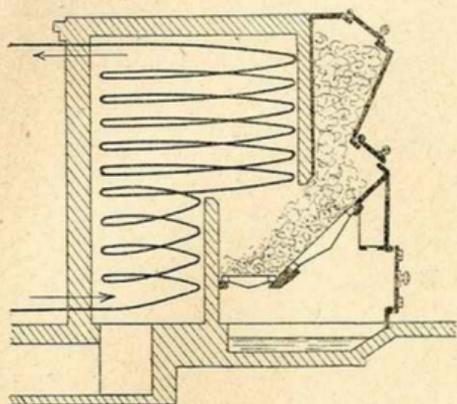


FIG. 477.

Le foyer et la circulation étaient composés de tubes Perkins, de 25 millimètres.

Le serpentin formant chaudière, dont la surface était à dessein tenue très faible, pour éviter les surpressions, était, en général, placé dans un foyer à fonctionnement continu, et à magasin de combustible, alimentant une grille inclinée (fig. 477).

Les surfaces de chauffe étaient composées de serpen-

tins (fig. 478) en tubes Perkins sur lesquels étaient emmanchées à force des ailettes embouties, en fer, augmentant la surface de radiation.

Elles étaient placées en dérivation entre le circuit d'aller et le circuit de retour, ce qui permettait de les isoler au moyen de robinets en bronze ou en acier, de manière à réduire à volonté le chauffage sans interrompre la circulation générale.

L'expansion se faisait identiquement comme dans le chauffage Perkins, au moyen de vases cylindriques

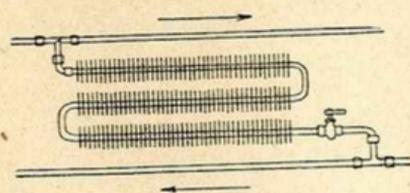


FIG. 478.

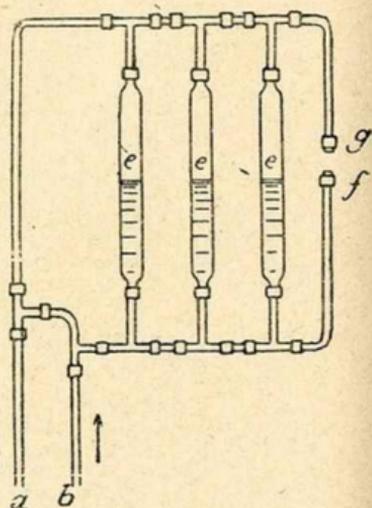


FIG. 479.

en fer forgé, de 72 millimètres intérieur, placés en dérivation à la partie haute du circuit, et munis des tubulures d'air et d'emplissage habituelles au système Perkins (fig. 479).

De fort nombreuses installations de ce système ont été faites, principalement dans des écoles. L'une d'elles fut marquée par un accident dû à l'imprudence du concierge, chargé de la conduite, dans une école de la ville de Paris. Mais c'est là un cas tout à fait exceptionnel, et qui n'infirmait aucune des qualités de ce système, fort en vogue avant le chauffage par la vapeur à basse pression.

Chauffeur à moyenne pression système Grouvelle. — La disposition du système Grouvelle était tout à fait analogue à celle du microsiphon (fig. 480).

Le chauffage fonctionnait à 5 ou 6 kilogrammes, pression indiquée par un manomètre F, et garantie par une soupape de sûreté G.

Le serpentin A, formant générateur, était placé dans un foyer en maçonnerie, généralement à magasin de combustible pour fonctionnement continu. Les colonnes verticales de montée et de retour étaient d'assez gros diamètres, et formaient un circuit complet, avec, au point haut, un vase d'expansion D, et une tubulure d'emplissage à la pompe, E.

Les branchements de circulation étaient de diamètres plus petits, de 15 à 25 millimètres, suivant les surfaces à alimenter. Ils étaient munis, sur le retour, de robinets de jauge, permettant d'égaliser le chauffage dans tous les appareils, et quelquefois, mais plus rarement, de robinets d'arrêt.

Les serpentins, formant surfaces de chauffe, étaient également composés de tuyaux en fer à ailettes embouties (fig. 481), emmanchées à chaud sur les tuyaux, et formant contact très intime, par suite de la contraction au refroidissement.

Enfin, pour faciliter la circulation, et éviter qu'elle ne s'inverse, on

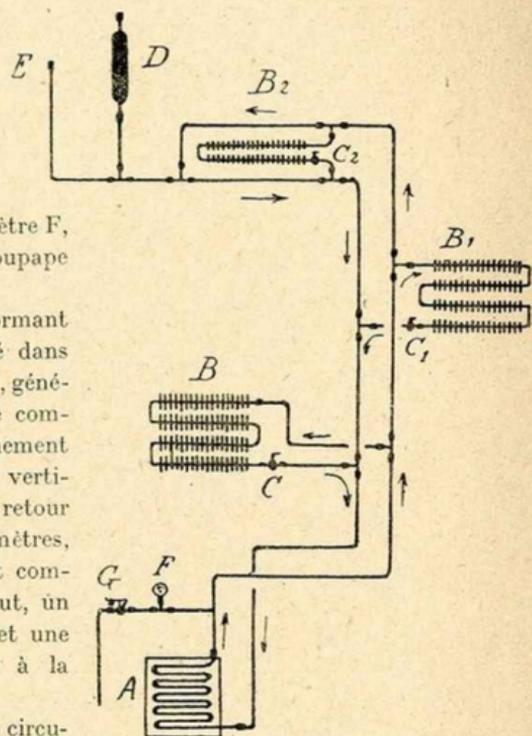


FIG. 480.

employait généralement, sur les tuyaux de retour, des tés de branchement spéciaux (fig. 482).

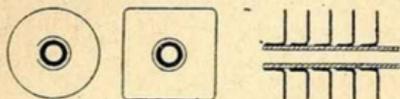


FIG. 481.

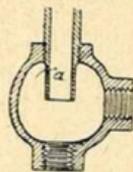


FIG. 482.

Pour éviter les poches d'air à la partie haute de ces branchements, on avait soin de réserver un tout petit trou.

CHAPITRE XX

CHAUFFAGES PAR L'EAU CHAUDE A CIRCULATION ACCÉLÉRÉE ¹

Nous avons décrit, dans leurs chapitres respectifs, les avantages des systèmes de chauffage par la vapeur à basse pression, et par l'eau chaude à basse, moyenne et haute pressions.

Critique du chauffage par la vapeur à basse pression. — Le chauffage par la vapeur à basse pression nécessite un ensemble de conditions qu'il n'est pas toujours possible de réaliser.

Au point de vue de l'installation, la chaudière doit être placée à un niveau inférieur à celui des surfaces de chauffe ou des radiateurs, et, si on emploie le système réglable, avec réservoir d'expansion ouvert à l'air libre, la hauteur nécessite un approfondissement du sol qui n'est pas sans difficultés, et qui oblige à la construction de fosses étanches, très coûteuses, lorsqu'on se trouve dans le voisinage de l'eau.

Les canalisations de retour d'eau condensée doivent revenir avec une pente régulière, depuis le radiateur le plus éloigné jusqu'à la chaudière, ce qui rend souvent nécessaire la construction de caniveaux coûteux et incommodes, dans l'épaisseur des planchers.

Enfin, au point de vue de l'économie de fonctionnement, celle-ci n'est réelle que si on a le soin de manœuvrer les robinets de réglage des radiateurs, ou des surfaces chauffantes placées dans les locaux. Or, si un propriétaire qui se chauffe lui-même est le premier intéressé à ce réglage, qu'il fait faire par son personnel avec le plus grand soin, parce que cela lui économise du combustible, ce n'est pas le cas dans les maisons de

1. Nous avons donné un très grand développement à l'étude de ces systèmes de chauffage dans notre ouvrage « Théorie et Pratique des Chauffages par l'eau chaude ». Leur intérêt dans ces dernières années, s'est surtout porté dans les petits chauffages d'appartements, avec chaudière au même niveau que celui des radiateurs.

rapport, dans les bureaux d'administrations, dans les écoles, hôpitaux, hospices, etc.

Le plus souvent on ne ferme pas les robinets, on ouvre les portes ou les fenêtres quand on a trop chaud, et les radiateurs continuent à condenser la vapeur en grande marche ; dans ces conditions, l'organe régulateur de la chaudière continue à laisser brûler la quantité de charbon maximum qui peut être consommée sur la grille.

Le chauffage est ainsi très hygiénique, puisqu'on a la chaleur malgré la ventilation très importante que produisent les fenêtres ouvertes ; mais la consommation de charbon coûte horriblement cher dans ces conditions.

Les propriétaires de maisons de rapport, les économistes d'administrations ou d'hospices et établissements publics, se plaignent à juste raison que leurs appareils de chauffage consomment autant de combustible dans les mois à température modérée, octobre, novembre, mars, avril, etc., qu'au moment des températures rigoureuses de décembre, janvier et février.

Et ceci est vrai, aussi bien pour les appareils de chauffage ordinaires que pour ceux où on a la prétention de régler le chauffage à vapeur par addition d'air ou d'eau, avec la vapeur, dans les radiateurs.

Il est tout au moins exagéré de prétendre qu'on peut régler le chauffage à vapeur en augmentant ou diminuant la pression de la vapeur à la chaudière. En effet, le réglage des appareils à orifices conjugués avec les robinets de réglage des radiateurs est fait, bien ou mal, pour une pression déterminée à la chaudière. A cette pression correspond, pour la marche maximum du réglage, une série de pertes de charges dans les canalisations de distribution de vapeur, que le calcul ne permet que difficilement de préciser, et qui oblige à faire par tâtonnements le réglage des orifices de jauge.

Si on diminue la pression à la chaudière, tout est changé : la vitesse dans les conduites n'est plus la même, les pertes de charges sont modifiées, le réglage serait à refaire. Les radiateurs les plus rapprochés de la chaudière reçoivent presque autant de vapeur qu'avec la pression d'origine, car il ne faut pas oublier qu'il s'agit de pressions très basses, et dans lesquelles les variations sont très peu importantes ; quant aux radiateurs éloignés, ils ne reçoivent plus de vapeur du tout ¹.

1. On a pu s'en rendre compte à Paris, au cours des hivers 1917-18 et 1918-19 pendant lesquels la pénurie de charbon obligea le gouvernement à ne distribuer, dans son système de répartition dû à la pénurie de charbon, que 85 0/0 du poids nécessaire au chauffage des immeubles. Les propriétaires, qui ne se rendaient pas compte que 85 0/0 de réduction du poids de charbon devait correspondre à une réduction égale dans le nombre d'heures du chauffage et non pas dans la pression d'origine, eurent les pires difficultés avec les locataires de leurs immeubles, dont la plupart n'étaient réellement plus chauffés du tout.

On peut donc dire qu'avec le chauffage à vapeur à basse pression le seul réglage possible est celui des robinets de radiateurs, et que, comme nos domestiques, nos employés d'Administrations, les gens de service de nos hôpitaux, se gardent bien de le faire, ce réglage, qui, parfait en principe, n'est le plus souvent qu'un mythe dans la pratique.

Aussi entend-on souvent dire que les appareils de chauffage par la vapeur à basse pression sont des gouffres à charbon, bien que, en réalité, ce soient seulement les gens chargés du service qui méritent le reproche de négligence.

Critique du chauffage par l'eau chaude. — Nous ne parlerons pas des chauffages à haute ou à moyenne pressions, que leurs dangers ont presque universellement fait abandonner aujourd'hui.

Le chauffage par l'eau chaude à basse pression ne mériterait aucun des reproches ci-dessus, s'il n'avait pas, malheureusement, ses défauts personnels.

La chaudière ne nécessite pas l'approfondissement du sol. Elle peut être placée au niveau des appareils chauffés, et même, sous certaines conditions, à un niveau supérieur à celui des appareils ou, tout au moins, des conduites de retour.

Ces conduites n'ont pas besoin d'avoir une pente aussi régulière, et ne nécessitent pas la construction de caniveaux. Elles peuvent, par exemple, plonger, en formant syphons, au passage des portes, et remonter ensuite, la seule précaution à prendre étant d'évacuer convenablement l'air qu'elles contiennent.

Le réglage d'ensemble du système peut être fait depuis la chaudière, en faisant simplement varier la température de l'eau en circulation, au moyen de la manœuvre d'un organe très simple du régulateur, et sous le contrôle d'un seul employé, rendu responsable, et facile à surveiller.

L'eau étant moins chaude, tous les appareils chauffent moins, et, si les fenêtres sont ouvertes, l'augmentation de la combustion de charbon est beaucoup moins sensible.

Ajoutons que cette consommation, qu'on a soin de régler par un régulateur branché sur la conduite de départ, se modère automatiquement, comme dans les chauffages par la vapeur à basse pression.

Toute médaille a son revers, et ces avantages du chauffage par l'eau chaude à basse pression sont malheureusement compensés par quelques inconvénients cependant moins graves.

Tout d'abord, la circulation, n'étant produite que par la faible différence de densité entre l'eau chaude et l'eau refroidie, est assez lente, et nécessite l'emploi de canalisations de diamètres relativement plus gros.

Ces canalisations sont encombrantes, et d'aspect désagréable. Si on

les dissimule, on peut craindre les détériorations très graves que produirait une fuite. Quand une fuite se déclare, en effet, ce n'est plus un léger suintement, comme dans les chauffages à vapeur, c'est une véritable inondation, qui dégrade les tentures et les tapisseries, fait jouer les parquets, pourrit les plâtres et les peintures.

De plus, ces sections augmentent le volume d'eau en circulation, et rendent, par suite, plus lentes les variations de températures. Pour mettre en route, il faut d'abord échauffer toute la masse d'eau, ce qui est assez long; pour ralentir, il faut la laisser refroidir. Quand on ferme le robinet d'un radiateur, l'appareil continue à chauffer, jusqu'à ce que l'eau qu'il contient soit refroidie, et, comme le coefficient de transmission diminue avec l'écart de température entre l'eau et l'air, il faut souvent plusieurs heures avant que le résultat soit obtenu. De même, quand on ouvre le robinet, l'appareil est très longtemps avant de chauffer.

Dans les pays où les écarts de la température extérieure sont peu importants, et où la période froide dure plusieurs mois sans variations sensibles, en Angleterre, en Suède et Norvège, en Russie, au Canada, cette constance de chauffage des systèmes à eau chaude est un gros avantage; aussi ces méthodes sont-elles généralement adoptées.

Mais sous notre climat, où les variations sont brusques, et où la température extérieure varie quelquefois de 10, 15° et plus, entre le matin et l'après-midi, il faut une souplesse de chauffage que ne réalisent pas très bien les chauffages par l'eau chaude à basse pression. Cependant la recherche des installations à bon marché, et l'exécution par des entrepreneurs incompetents ont tellement discrédité les chauffages par la vapeur à basse pression, que l'orientation actuelle vers les chauffages par l'eau chaude est indiscutable. Elle s'accroîtra encore, au fur et à mesure qu'on saura mieux calculer les tuyauteries. Si les fournisseurs veulent bien s'abstenir de publier dans leurs catalogues des formules et des abaques plus ou moins inexacts, qui induisent en erreur leurs clients non théoriciens, cette vogue des chauffages par l'eau chaude ne fera que s'accroître.

Chauffages par l'eau chaude à circulation accélérée. — Si on trouvait une bonne méthode de chauffage par l'eau chaude, avec de petites canalisations, faciles à dissimuler, avec un faible volume d'eau, permettant des variations rapides, avec un dispositif laissant la facilité de faire varier la température de l'eau en circulation, le problème serait résolu: c'est probablement là le chauffage de l'avenir.

C'est le but que se proposent les chauffages par l'eau chaude à circulation accélérée, dont les premières applications pratiques sont relativement récentes, et ne datent que de quelques années. Elles ont donné

bien des déboires, et nous ne saurions trop engager à la prudence dans leur emploi.

On peut réaliser l'accélération de la vitesse de circulation de plusieurs manières : par pression de vapeur, par circulation mécanique au moyen de pompes, par pulsion au moyen d'organes obéissant à des lois physiques appliquées sous certaines conditions, par diminution de densité sur un certain parcours vertical, obtenu au moyen d'un mélange de vapeur ou d'air comprimé, autrement dit par émulsion, enfin par diminution de pression, ou vide relatif, obtenu automatiquement dans un organe placé sur le circuit.

Ce sont ces diverses méthodes, et leurs applications pratiques, que nous allons expliquer rapidement ci-après, réservant l'étude technique pour notre « Théorie et pratique des chauffages par l'eau chaude », dans laquelle plusieurs chapitres lui sont réservés.

Circulation mécanique. — Ce système n'est pas nouveau, et est très employé en Angleterre pour le chauffage des très grands édifices, hôpitaux, asiles d'aliénés, etc., depuis plus de cinquante ans.

Il consiste à intercaler sur la circulation d'eau chaude une pompe, qui refoule dans la chaudière l'eau distribuée librement aux appareils de chauffage, et refroidie, après avoir communiqué sa chaleur aux locaux à chauffer.

Il n'est pas utile de décrire plus longuement ce système, qui se comprend de lui-même. On voit de suite qu'il nécessite l'emploi d'une pompe et d'une force motrice quelconque, à vapeur, à gaz, électrique ou autre, ainsi que la présence d'un mécanicien.

C'est donc plutôt un chauffage industriel ; aussi ses applications en France n'existent pour ainsi dire que dans les édifices, et n'est-il guère appliqué dans les habitations.

On l'a employé à diverses reprises en Amérique, pour chauffer des groupes de maisons, en utilisant les chaleurs perdues, et en particulier la vapeur d'échappement des machines, ou l'eau de refroidissement des condenseurs.

A Boston, il y a une trentaine d'années, une Compagnie d'Éclairage électrique produisait de l'eau chaude dans de vastes réservoirs, en condensant la vapeur d'échappement de ses moteurs au moyen de serpents placés dans l'eau de ces réservoirs.

L'eau chaude, ainsi produite, était aspirée par des pompes et refoulée sous pression dans un vaste réseau de tuyaux en fonte, recouverts d'une série d'enveloppements calorifuges, et formant une circulation continue, placée dans un grand canal en maçonnerie construit sous le trottoir de la rue. En face de chaque immeuble desservi, un branchement prenait

l'eau chaude, la conduisait à un compteur, d'où elle était distribuée dans la maison pour le service du chauffage, et aussi pour les robinets des toilettes, salles de bains, offices, etc.

Cette exploitation, malgré son côté économique, puisque l'eau chaude n'était autre qu'un déchet industriel de l'usine électrique, n'a duré que quelques années. La grande pression nécessitait, en effet, un entretien coûteux, et, fait curieux, les conduites, usées sans doute par la circulation intérieure de l'eau sous la grande vitesse donnée par la pompe, se sont détruites très rapidement. Les frais d'entretien n'étaient pas payés par le prix de vente de l'eau chaude, et on y a renoncé.

L'idée a néanmoins fait son chemin, et, dans diverses communications faites à la Société des Ingénieurs civils de France (17 mars 1911, 18 octobre 1912, 28 mars 1919), M. Beurrierne a pu développer, en s'appuyant sur l'exemple de très grandes centrales de chauffage américaines, l'idée des chauffages par pulsion mécanique d'eau chaude, pour la récupération des déchets de chaleur des usines d'éclairage électrique.

L'application est évidemment intéressante, et, en raison des dépenses considérables qu'ont les propriétaires pour les services de chauffage, d'ascenseurs, monte-charges, éclairage des locaux communs, etc., dans nos grands immeubles modernes, le moment viendra, sûrement, où un certain nombre de propriétaires d'immeubles voisins s'uniront pour établir une seule usine, placée sous la cour d'un des immeubles, et produisant en commun le chauffage, l'eau chaude, l'éclairage électrique et la force motrice nécessaires à chacun d'eux.

Circulation d'eau chaude par pression de vapeur. — On peut très bien imaginer un système fonctionnant comme il est indiqué sur la figure 483.

Une chaudière à vapeur A est en communication, par une tuyauterie *mno*, raccordée au-dessous de son niveau d'eau, avec un réservoir d'expansion B, placé au-dessus de ce niveau, à une hauteur correspondant à la pression de marche. Aussitôt que la pression de vapeur s'établit, l'eau est refoulée dans le réservoir B. Une tuyauterie *pqrst* revient de ce réservoir B à un réservoir C, placé près de la chaudière. Une pompe D aspire l'eau dans ce réservoir C, et la refoule dans la chaudière.

Il s'établit ainsi, par suite de la pression de vapeur, une circulation continue de A à B, de B à C, et enfin de C à D, par l'intermédiaire de la pompe. Si on intercale, en dérivation, sur les tuyauteries *mno* et *pqrst*, des radiateurs munis de robinets de réglage, ces radiateurs seront, très facilement, et d'une manière très efficace, alimentés en eau chaude.

La pompe pourra être actionnée par un moteur quelconque, à vapeur à gaz, à essence, électrique, etc.



Elle pourra aussi être à action directe, recevant la vapeur par la tuyauterie *uv*, et évacuant l'échappement par le conduit *xy*, raccordé à un serpentin, ou à une bouteille *z*, placé dans le réservoir *C*.

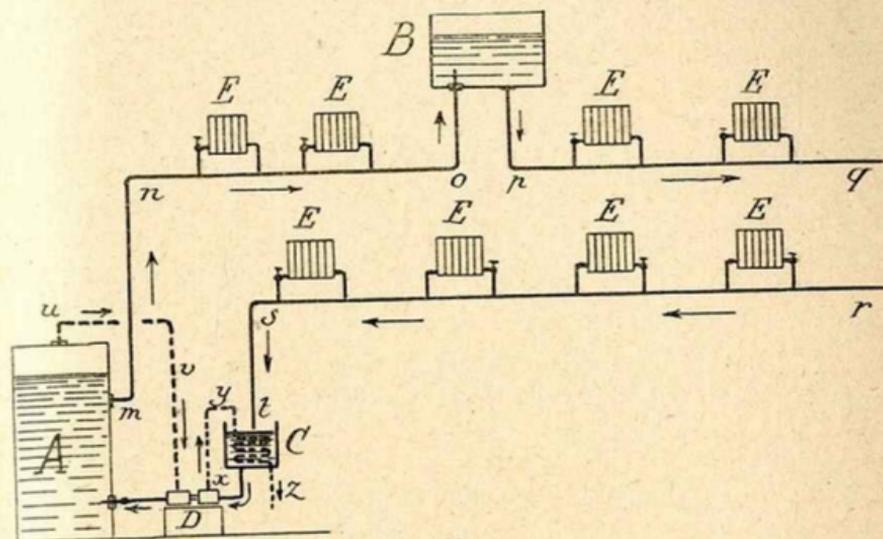


FIG. 483.

La maison Anceau (successeur de d'Hamelinourt avait installé, il y a plus de trente ans, le chauffage, par ce système, du palais des Beaux-Arts à Lille, dont l'importance était de 60 à 70.000 mètres cubes, représentant 1.300.000 calories à fournir par heure. Ce bâtiment est situé boulevard de la Liberté, la plus large voie de Lille. La chaufferie est placée de l'autre côté du boulevard, à 100 mètres environ du palais ; les chaudières sont disposées au rez-de-chaussée, la tuyauterie d'aller redescend, traverse le boulevard dans un égout, alimente des batteries de surfaces à ailettes, en sous-sol dans le palais, sur un parcours de 300 mètres ; la tuyauterie de retour revient par le même chemin, et aboutit à des pompes, qui refoulent l'eau dans les chaudières.

Quinze minutes après l'ouverture du robinet d'aller, les tuyauteries extrêmes sont chaudes. La pression au manomètre est de 1 kilogramme, et correspond à la hauteur du réservoir d'expansion placé au point le plus éloigné de la conduite de distribution d'eau chaude, au-dessus du niveau d'eau de la chaudière à vapeur.

A l'Exposition Universelle de Paris, en 1900, la même maison avait installé, au moyen d'un système analogue, le chauffage du palais des Beaux-Arts, si l'on s'en rapporte au rapport de M. d'Anthony, rapporteur du Jury de la Classe du Chauffage à cette Exposition.

Il s'agit là encore d'un système mécanique, pouvant trouver son application dans le chauffage des grands édifices, mais d'un emploi plus délicat dans le chauffage des habitations, à moins qu'on n'envisage l'idée des secteurs de chauffage, qui fera certainement son chemin un de ces prochains jours dans nos villes.

Chauffage par pulsion. — M. Chibout avait imaginé, il y a une trentaine d'années, un système de chauffage à eau chaude, qu'il appelait *chauffage à pompe*, et qui était basé sur le principe des monte-jus, employés dans les sucreries et dans les usines pour remonter aux filtres-presses les matières à séparer en éléments solides et liquides.

Le système Chibout se composait des organes suivants (fig. 484) :

1° Une chaudière à eau chaude A, communiquant par un tuyau *g* avec un réservoir fermé B ;

2° Un réservoir d'expansion D, communiquant par une tuyauterie *hij* avec le réservoir B, le raccordement se faisant à la partie basse de B, en *h*, et une boîte à clapet de retenue à boule, C, étant placée sur le parcours de la tuyauterie ;

3° Une tuyauterie de circulation *klmnop*, rentrant à la chaudière par une boîte à clapet F, semblable à C, et sur le parcours de laquelle étaient branchées, en dérivation, les surfaces chauffantes, ou radiateurs E, E, E, E, E, munis des robinets de réglage ou d'interruption *q, q, q, q* ;

4° Un syphon, formant soupape de sûreté hydraulique, *rstu*, partant de la partie haute du réservoir D, et se terminant à un réservoir U, formant bêche d'alimentation à flotteur, et ouvert à l'atmosphère. A la partie basse de ce syphon était prévu un tuyau de dégagement, *xyz*, raccordé au réservoir U à la partie haute, en communication avec l'atmosphère.

Quand la chaudière A est en fonctionnement, il se forme un réservoir de vapeur à la partie haute du réservoir B. Aussitôt que la pression de vapeur dépasse celle qui existe dans le réservoir U, c'est-à-dire celle permise par le syphon *uts*, plus le poids d'eau de la colonne *jih*, l'eau du réservoir B soulève le clapet noyé C, et est chassée dans le réservoir D, jusqu'au niveau inférieur *h* du tube *jih*. A ce moment, la vapeur s'échappe par ce tube *jih*, se condense en partie en barbotant dans l'eau du réservoir D, et se cantonne à la partie haute de ce réservoir. La pression ferme le clapet C, baisse dans la chaudière A et le réservoir B ; et le poids de la colonne *klmn*, plus cette pression dans le réservoir D, soulèvent le clapet F. Il s'établit une circulation d'eau chaude, depuis le réservoir D jusqu'à la chaudière A et au réservoir B, en passant par la tuyauterie *klmnop*, et par les radiateurs E, E..., si leurs robinets *q, q...*, sont ouverts.

Les clapets se referment à ce moment, et le phénomène recommence.

La pression de marche correspond à la hauteur de la colonne d'eau

Uul, et, par exemple, si la hauteur de cette colonne est de 10 mètres, le système fonctionne sous une pression de 1 kilogramme, et la température de l'eau en circulation est de 120°.

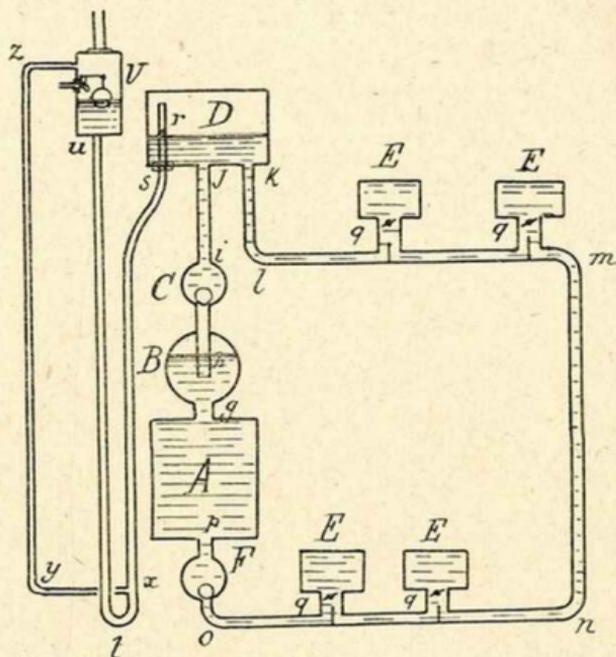


FIG. 484.

Si la pression monte au delà de cette limite, l'eau est refoulée dans le tuyau *rst*, remonte par le tuyau *lu* dans le réservoir *U*, et, si elle descend jusqu'au niveau *x*, la vapeur s'échappe par le tuyau *xyz*, jusqu'à ce que l'équilibre soit rétabli.

A ce moment, l'eau revient dans le syphon à sa position normale, le robinet flotteur, placé dans le réservoir *U* s'ouvre pour remplacer la quantité d'eau qui s'est échappée sous forme de vapeur par *xyz*.

Le système ne pouvait évidemment fonctionner, sans perte d'eau, que si la pression dans le réservoir *D* tombait entre deux pulsions, c'est-à-dire si la vapeur s'y condensait. En pratique, ce résultat était difficile à obtenir, et le système restait en équilibre, c'est-à-dire que la circulation s'arrêtait pendant un temps assez long, jusqu'à ce que la vapeur soit condensée. Il y avait souvent des évacuations de vapeur par le tuyau *xyz*, ce qui produisait des pertes de calories. Enfin, les clapets faisaient des bruits fort désagréables, et on entendait de nombreux chocs à la mise en route.

Ce système était néanmoins fort ingénieux, et la circulation, produite à la fois par la pression de vapeur et par le vide dû à la condensation de la vapeur dans le réservoir D, était fort active. On peut dire que, sans exception, tous les systèmes par pulsion ou par émulsion, actuellement en usage aujourd'hui, ont appliqué plus ou moins les principes de physique sur lesquels était basé le système Chibout.

CIRCULATIONS ACCÉLÉRÉES PAR ÉMULSION

Principe. — Supposons (*fig. 485*) un ensemble de deux vases communicants A et D ; si on verse une certaine quantité d'eau, en vertu du principe d'équilibre hydrostatique, le niveau de l'eau dans les deux vases s'établit suivant un plan horizontal *ee*.

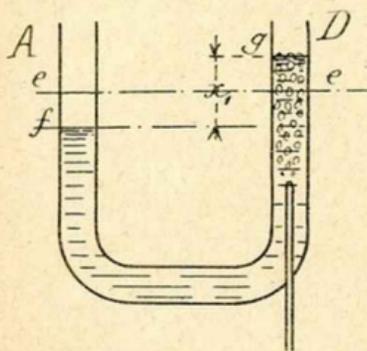


FIG. 485.

Si maintenant, au moyen d'un ajustage *m*, on introduit dans la branche D un gaz ou une vapeur, de densité inférieure à celle du liquide, et sous une pression supérieure à celle de la colonne D, il s'échappe par l'ajutage une quantité de globules de gaz ou de vapeur, qui se mélangent intimement avec le liquide, en s'élevant vers la partie supérieure de la branche D ;

on dit alors que le mélange est émulsionné. Le mélange de gaz, ou vapeur, et de liquide, c'est-à-dire le liquide émulsionné, a une densité moindre que la densité du liquide seul contenu dans la branche A, et, toujours en vertu du principe d'équilibre hydrostatique, le niveau s'élève dans la branche D.

Si la pression du gaz ou de la vapeur est suffisante, le niveau dans la branche D peut continuer à s'élever par entraînement, une partie du liquide de A passe dans D, il s'établit un niveau *fg*, et la différence x_1 , entre les niveaux dans les deux vases communicants, représente la différence de densité entre le liquide seul et le liquide émulsionné.

Si la pression du gaz ou de la vapeur continuait à augmenter, le liquide pourrait même être entraîné en dehors de la branche D, et l'eau des deux vases communicants s'écoulerait.

Ce principe est connu depuis longtemps. Il a été souvent employé dans les travaux d'excavation pour vider des puits ou des poches d'eau, comme le montre la figure 486. Un gros tube est plongé jusqu'au fond de l'excavation ; il est recourbé à sa partie supérieure, de manière à se

déverser en dehors du puits, et reçoit à sa partie inférieure un ajutage recourbé amenant de l'air comprimé. La colonne émulsionnée s'élève peu à peu, et le liquide se vide par la partie supérieure du tube.

Si nous considérons maintenant une circulation d'eau chaude dans un appareil de chauffage (fig. 487), composé d'une chaudière, d'un tuyau d'ascension, montant à un réservoir d'expansion, et d'un conduit de retour, revenant du réservoir d'expansion à la chaudière, nous savons qu'il s'établit une circulation de la chaudière vers le réservoir, par le tuyau ascendant, et du réservoir vers la chaudière, par le tuyau descendant, par suite de la différence de densité entre l'eau contenue dans la colonne chaude ascendante et la

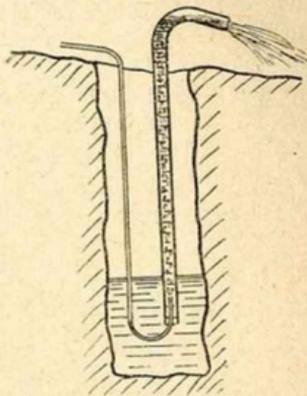


FIG. 486.

colonne refroidie descendante. Nous savons aussi que la vitesse de circulation est proportionnelle à cette différence de densité, diminuée des résistances dues aux frottements et aux pertes de charges dans les tuyauteries respectives.

Si, en un point de la colonne d'ascension, on vient à introduire, par un ajutage, un gaz ou une vapeur, dont la pression est supérieure à celle représentée par la colonne d'eau au-dessus de l'ajutage; le gaz ou la vapeur passe au travers du liquide sous forme de globules, c'est-à-dire émulsionne la colonne; cette colonne devient plus légère, et la vitesse de circulation est accélérée, proportionnellement à la différence de densité de la colonne émulsionnée et de celle de la colonne refroidie.

Si c'est de la vapeur d'eau qui est ainsi introduite, cette vapeur se condense tout d'abord, donnant

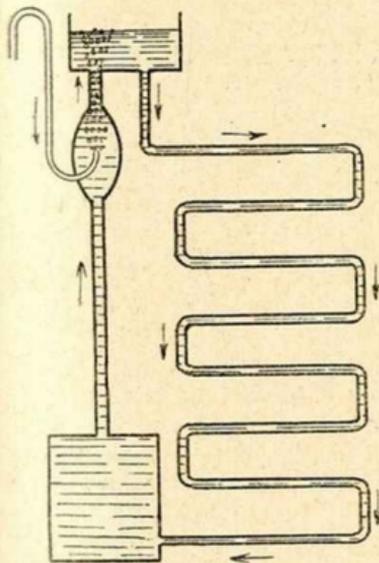


FIG. 487.

au liquide de la colonne une température de 100° , avant que les globules puissent se dégager et émulsionner cette colonne.

On peut donc comprendre que, dans un tel système, il existe d'abord une circulation à vitesse normale, produite par la quantité de calories fournies à l'eau par son passage dans la chaudière, et que la vitesse peut être accélérée, en commençant par une addition de calories due à la condensation de la vapeur introduite par l'ajutage dans la colonne, jusqu'à un maximum de vitesse, qui a lieu quand cette colonne est entièrement émulsionnée. A ce moment, la température de l'eau est de 100°.

En pratique, lorsque les systèmes par émulsion sont appliqués, les conduites de circulation sont de diamètres très faibles, la circulation doit vaincre des résistances très importantes de coudes, syphons, etc.; on alimente le plus souvent des radiateurs placés à un niveau inférieur à celui de la chaudière : en somme, l'installation est telle qu'elle ne fonctionnerait pas si la colonne n'était pas émulsionnée.

On peut donc dire que, dans la plupart des cas, *les systèmes par émulsion ne sont capables que de faire circuler de l'eau à la température de 100°, et qu'il leur est impossible de faire circuler de l'eau à une température inférieure.*

Ce point est très important à retenir pour la comparaison des divers systèmes, que nous nous proposons de faire à la fin de la présente étude.

Système Reck. — M. Reck, ingénieur à Copenhague (Danemark), est le premier qui, vers 1902, eut l'idée d'appliquer au chauffage le principe de l'émulsion. Les premières applications de son système en France furent faites plus tard, par M. Henry Hamelle, concessionnaire de son brevet.

Une communication, faite par M. Harden, en octobre 1903, à la « British Institution of heating and ventilating Engineers », et une autre communication faite, par M. Reck, à l'« American Society of heating and ventilating Engineers », en janvier 1904, donnent tous les détails de ce système, dont un perfectionnement fut breveté à nouveau le 1^{er} février 1905.

La disposition de l'origine, telle qu'elle fut décrite dans les communications ci-dessus rappelées, est représentée dans la figure 488.

Le système comprend essentiellement une chaudière à vapeur à basse pression A, fournissant la vapeur à un réchauffeur d'eau B, d'une part, et, par le tuyau D, réglé par un robinet *d*, à l'appareil émulseur C.

Le chauffage de l'eau est produit par la transmission directe de la vapeur à l'eau dans le réchauffeur tubulaire B, l'eau de condensation revenant directement à la chaudière par le tuyau X.

L'eau chaude s'élève, par une tuyauterie S, à un réservoir d'expansion fermé E, en passant par un condenseur F, dont nous parlerons plus loin,

et un émulseur C; puis elle redescend, par une tuyauterie principale T et des branchements L, à des radiateurs O, qui sont placés à un niveau quelconque, au-dessus ou au-dessous de la chaudière, et l'eau refroidie revient, par le collecteur R, au réchauffeur B. La circulation se continue ainsi indéfiniment.

La vapeur servant à l'émulsion passe dans l'émulseur C, et accélère la vitesse de circulation, en diminuant la densité de la colonne émulsionnée S, entre l'émulseur et le réservoir d'expansion.

La vapeur en excès, l'air et l'eau, redescendent par le tuyau M. Ce tuyau, qui se continue jusqu'à la chaudière A, pour ramener l'eau en excès introduite dans la circulation par la condensation de la vapeur dans la colonne émulsionnée, passe d'abord dans le condenseur F. L'excès de vapeur se condense, au contact du tuyau d'eau S, et l'air s'échappe par le purgeur d'air automatique J.

Cette vapeur, qui passe en supplément par le réservoir d'expansion, est, en effet, le point délicat du système. C'est la pression qui s'établit dans le réservoir d'expansion, ou dans le tuyau de retour M, qu'on fait agir sur le régulateur automatique de pression de la chaudière, pour diminuer l'intensité du feu et de la production de vapeur.

Quand on veut réduire la température de l'eau en circulation, on ferme partiellement le robinet de réglage *d*, et le réglage se fait ensuite automatiquement par le régulateur, commandé par la pression du réservoir d'expansion.

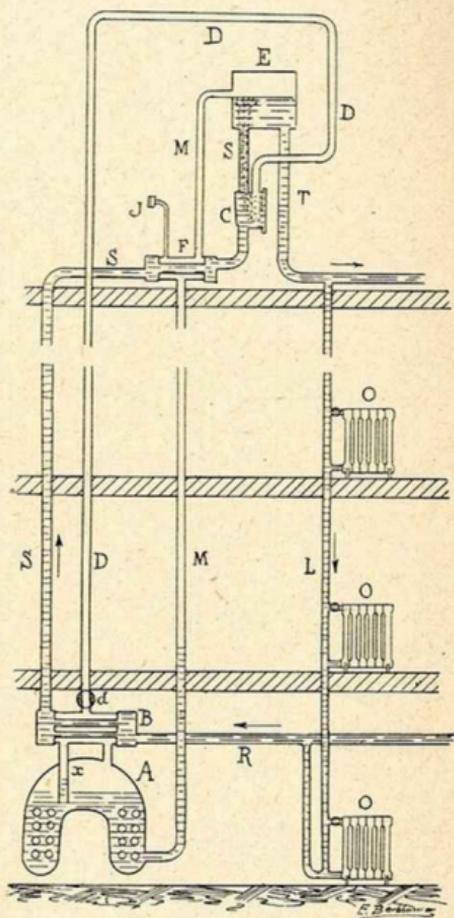


FIG. 488.

On comprend que l'eau, chauffée dans le réchauffeur D, dans le condenseur F, et mélangée de vapeur dans l'émulseur C, prend rapidement la température de 100°, et il semble difficile d'obtenir une circulation à une température inférieure, ce qui confirme la critique que nous faisons précédemment.

Le brevet de M. Reck, en 1905, paraît vouloir remédier à la fois à ces deux défauts, température élevée et excès de vapeur.

La figure 489, qui accompagne le brevet, montre que le réchauffeur est

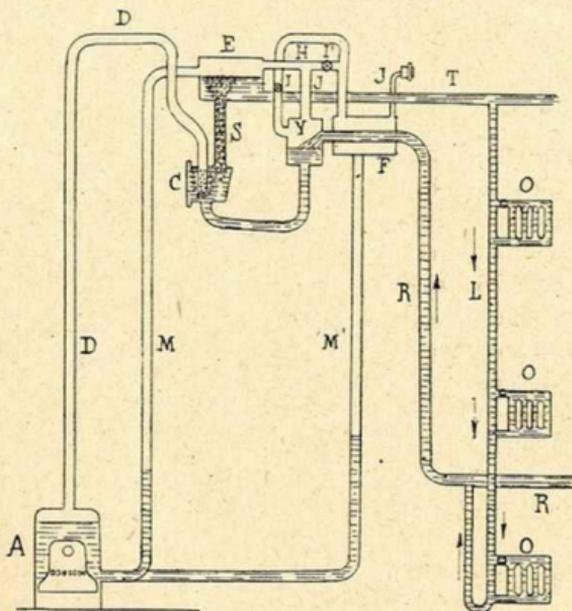


FIG. 489.

supprimé. L'eau n'est plus chauffée que par l'introduction de vapeur dans l'émulseur, ce qui doit donner la possibilité de la faire circuler à plus basse température que 100°, si on le désire.

L'excès de vapeur n'est plus condensé dans un condenseur à surface placé sur le tuyau de montée, déjà chaud ; la condensation se fait par contact direct de la vapeur avec l'eau refroidie du retour, en Y ; enfin, l'évacuation d'eau, qui est aussi excessivement délicate, se fait après un second passage de la vapeur non condensée dans un condenseur.

Ajoutons que la condensation directe de la vapeur dans le condenseur Y doit tendre à produire, comme dans l'appareil Barker dont nous parlerons plus loin, un vide relatif, qui accélère considérablement la rapidité de la circulation.

La figure 489 représente le fonctionnement du système en cycle fermé.

Si on veut fonctionner en cycle ouvert, avec un tuyau J, ouvert à l'atmosphère, le dispositif est légèrement modifié, le tuyau d'air et d'excès de vapeur H, ainsi que le tuyau de retour H, de la circulation débouchent au-dessous du niveau de l'eau, dans le réservoir de retour Y (fig. 490).

Le système Reck peut être installé suivant un nombre aussi varié de dispositifs que les circonstances l'exigent.

La figure 491 montre le système appliqué à une maison à étages multiples, avec double tuyauterie d'eau chaude, l'une pour l'alimentation, l'autre pour le retour d'eau refroidie.

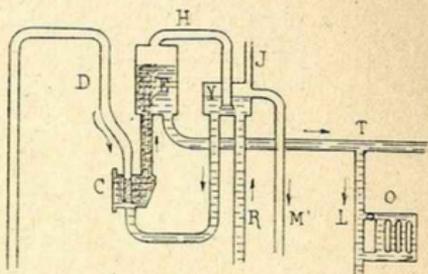


FIG. 490.

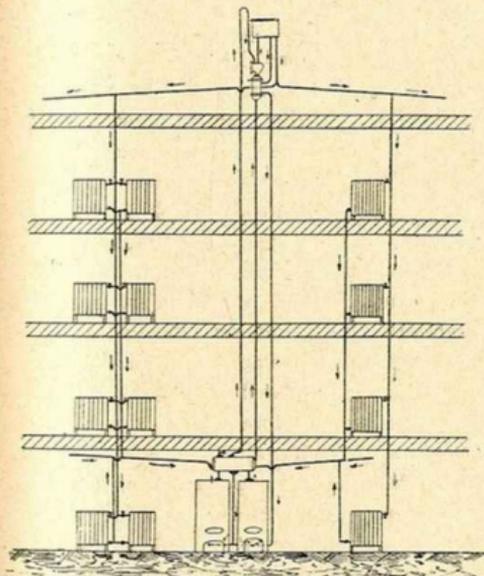


FIG. 491.

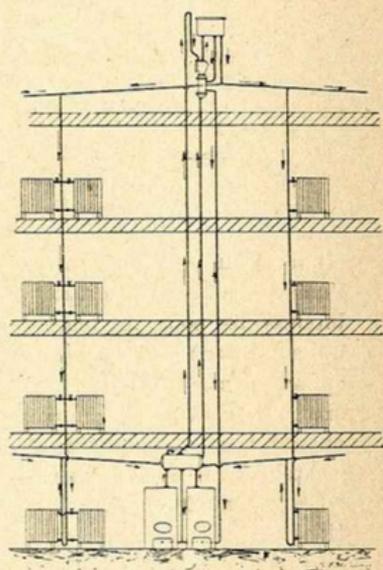


FIG. 492.

Dans cette disposition, avec un régulateur sur chaque robinet, tous les radiateurs d'un même immeuble sont sensiblement à la même température.

La figure 492 montre le chauffage d'une maison identique, avec une seule tuyauterie de circulation d'eau chaude.

Dans cette disposition, les radiateurs sont placés en dérivation sur un circuit unique, l'eau chaude passant successivement d'un radiateur dans l'autre. Avec une telle distribution, les radiateurs les plus éloignés sont certainement moins chauds que les plus rapprochés, et il faut augmenter proportionnellement leur surface.

Cette méthode de distribution est plus économique que la précédente, mais elle est aussi moins réglable. Si, en effet, un radiateur est fermé, le

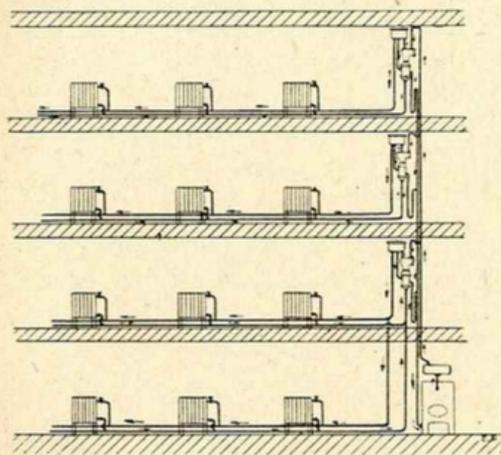


FIG. 493.

réglage de tous les autres est modifié, puisqu'ils reçoivent de l'eau plus chaude qu'avec le réglage normal, au moment où tous les robinets de radiateurs sont ouverts.

Enfin, pour clore la description des dispositions Reck, que nous pourrions montrer sous vingt autres formes, nous dirons encore qu'on peut, comme l'indique la figure 493, faire un système de chauffage

séparé pour chaque étage, avec une chaudière unique pour tout l'immeuble. Cette disposition est évidemment coûteuse, mais elle est très intéressante pour les maisons de rapport. Une tuyauterie de vapeur unique distribue la vapeur aux branchements spéciaux pour chaque appartement. En plaçant un robinet sur chaque branchement, on peut arrêter le chauffage d'un ou plusieurs appartements inoccupés ; on peut aussi donner plus ou moins de chaleur dans un appartement, au gré du locataire, sans modifier en rien le chauffage des autres appartements.

Le système Reck, breveté dans tous les pays, a aussi reçu des applications partout. Il semble être le doyen des chauffages par émulsion et, sauf de légères variations, les autres systèmes paraissent s'en rapprocher tous plus ou moins.

Système Henry Hamelle. — M. Henry Hamelle, qui installe en France les appareils Reck, a pris, en 1904, un brevet pour une variante de ce système, applicable au chauffage des petits appartements, et dont

la description a été publiée la même année par le journal *la Nature*.

L'appareil se compose (*fig. 494*) d'une chaudière A, munie d'une enveloppe destinée à éviter un rayonnement trop violent dans le local où elle sera placée, d'un récipient de forme spéciale, composé d'une partie inférieure B, en forme de lentille, formant l'émulseur Reck, surmontée du réservoir d'expansion C, muni de cannelures pour former radiateur, et condenser la vapeur en excès

qui traverse l'eau après l'émulsion. La chaudière A et le groupe BC sont raccordés par un ensemble de trois tuyauteries cintrées : l'une, T, est la montée de la chaudière au réservoir d'émulsion B ; l'autre J, est le départ au chauffage ; la troisième, 3, part du dessus du réservoir C, redescend au régulateur à membrane, qui proportionne l'allure du foyer et réduit la vaporisation, quand la pression est trop forte. Une quatrième tubulure, sur la chaudière, est destinée à être raccordée au tuyau de retour du chauffage.

Sur le réservoir BC sont placés : un manomètre, un indicateur de niveau d'eau, deux robinets de jauge, et un robinet purgeur d'air automatique ; enfin, sur le tuyau F, sont disposées les deux soupapes de sûreté réglementaires, le système fonctionnant en vase clos.

L'ensemble a une forme originale et forme un tout, qui peut être transporté d'une seule pièce dans le local à chauffer, et qu'il suffit de raccorder à la cheminée, à la canalisation d'alimentation d'eau et aux deux tuyauteries d'aller et retour, sur lesquelles sont branchés les radiateurs placés dans les pièces à chauffer.

La tuyauterie est généralement du type à un seul tuyau, fait le tour de l'appartement, et les radiateurs sont branchés en dérivation, chacun d'eux étant muni d'un robinet de réglage sur l'arrivée, et d'un purgeur d'air.

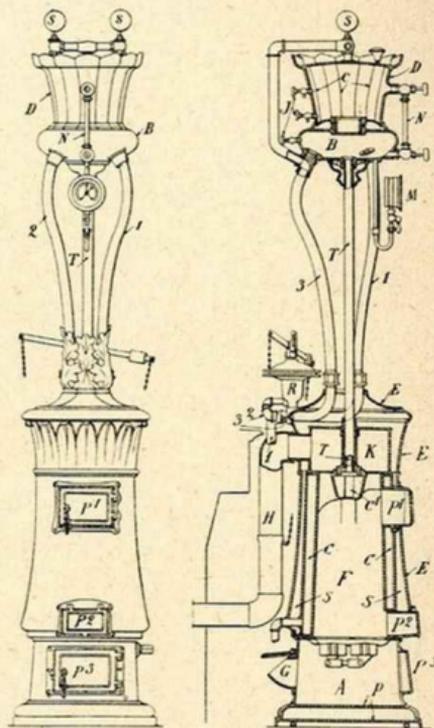


FIG. 494.

Le fonctionnement est identique à celui du système Reck précédemment expliqué dans tous ses détails.

Système Brückner. — M. Brückner, constructeur, en Autriche, d'appareils de chauffage, a lancé, quelque temps après M. Reck, un système de chauffage par émulsion, dont la description a été faite dans le journal *le Génie civil*.

La disposition Brückner a beaucoup d'analogie avec celle de M. Reck. Elle en diffère cependant par les points suivants : la chaudière A est du type à eau chaude ; elle est raccordée au réservoir d'expansion E par un tuyau unique S, qui porte, en un point de son parcours, un renflement de forme spéciale C, et qui constitue l'émulseur. Du réservoir d'expansion part un collecteur T, sur lequel sont branchées des colonnes verticales L, qui distribuent l'eau chaude aux radiateurs O, munis chacun d'un robinet à double système de réglage. L'eau refroidie revient par des colonnes verticales L', dans un collecteur R, qui remonte jusqu'à un condenseur Y. L'eau refroidie se déverse dans cet appareil, vient au contact de la vapeur en excès, qui lui est amenée du réservoir d'expansion par un tuyau H, en même temps que le trop-plein du réservoir d'expansion, c'est-à-dire l'eau provenant de la condensation de la vapeur dans la colonne émulsionnée, et le tout rentre à la chaudière par un tuyau de retour général R'. Enfin, un tuyau, partant du réservoir d'expansion, transmet la pression de la vapeur en excès au régulateur F de la chaudière.

On comprend de suite que, s'il n'y avait pas émulsion, la circulation ne pourrait se produire que par suite de la différence de niveau l , entre l'eau dans le réservoir d'expansion et celui du condenseur Y. L'examen de la figure 495, et le fait que de très petites canalisations sont employées pour la circulation font comprendre, à première vue, que le système ne pourrait pas fonctionner s'il n'y avait pas d'émulsion.

Or, pour que le phénomène d'émulsion se produise, il faut d'abord que l'eau soit portée à l'ébullition, puisque des bulles de vapeur se produisent dans l'émulseur. La température de l'eau à la chaudière doit être vraisemblablement celle qui correspond à la pression de la colonne d'eau h , soit 120° , si $h = 10$ mètres.

A mesure que l'eau s'élève, la pression due à la hauteur de la colonne d'eau diminue, et, si le système fonctionne en vase clos, une partie se vaporise néanmoins en arrivant à l'émulseur. *A fortiori*, ce dégagement se produit si le réservoir d'expansion est en communication avec l'atmosphère. On peut même, dans ce cas, toujours craindre un échappement de vapeur, et parfois des projections d'eau, par la tubulure ouverte dans l'atmosphère, si la hauteur h est très grande et la hauteur CE trop petite.

Il y a un rapport constant à observer entre les deux hauteurs.

Selon toute vraisemblance, le système ne peut donc faire circuler que de l'eau bouillante, et, à moins que les tuyauteries ne soient d'un diamètre assez gros pour diminuer les résistances, il ne peut pas faire circuler de l'eau à basse température.

Quant au niveau de la chaudière par rapport à celui des radiateurs, il est quelconque, et il est possible de placer des radiateurs à plusieurs étages au-dessous du niveau de la chaudière.

En réalité, dans une maison à six étages, la théorie montre que, si la chaudière est en sous-sol, la pression d'eau est de 25 mètres, soit une température possible de 138° à l'eau dans la chaudière; il doit être à peu près impossible de faire circuler de l'eau à moins de 100°, et, si l'émulseur est placé trop haut, la vaporisation et l'émulsion doivent être très violentes et très tumultueuses; il doit falloir des précautions toutes spéciales pour éviter que le système ne s'emballe et produise des bruits violents dans la colonne de montée.

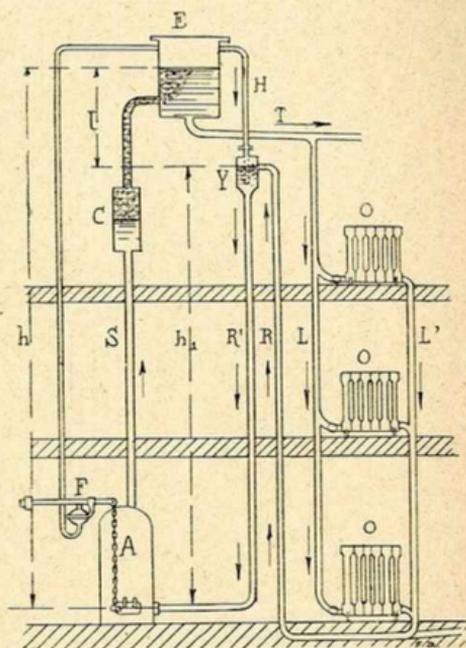


FIG. 495.

Il est probable que ceci serait moins à craindre, et qu'il serait plus facile d'éviter les bruits et de chauffer à une température moins élevée, si la chaudière était placée au quatrième étage, tout en maintenant les radiateurs aux étages inférieurs, au rez-de-chaussée, et même au sous-sol, absolument comme si la chaudière était placée à ce niveau.

Nous avons vu, à l'étranger, une installation de ce système chauffant des appareils placés au premier et au deuxième étage d'un immeuble (fig. 496). La chaudière était au deuxième étage : l'émulseur, le réservoir d'expansion et le condenseur, au troisième étage. Les conduites principales de distribution étaient au plafond des étages desservis, les canalisations descendant sur chaque radiateur, et remontant au retour jusqu'au plafond.

Au moment de notre visite, la température à la chaudière était de 100°, et celle aux radiateurs paraissait sensiblement la même, bien qu'aucune vérification exacte de température n'ait été faite. En ouvrant la porte du cendrier, détruisant ainsi le réglage habituel du régulateur, nous avons, en quelques minutes, fait monter à 110° la température de l'eau à la chaudière. A ce moment s'est produit un ronflement assez violent dans la conduite de montée, et une violente projection de vapeur d'abord,

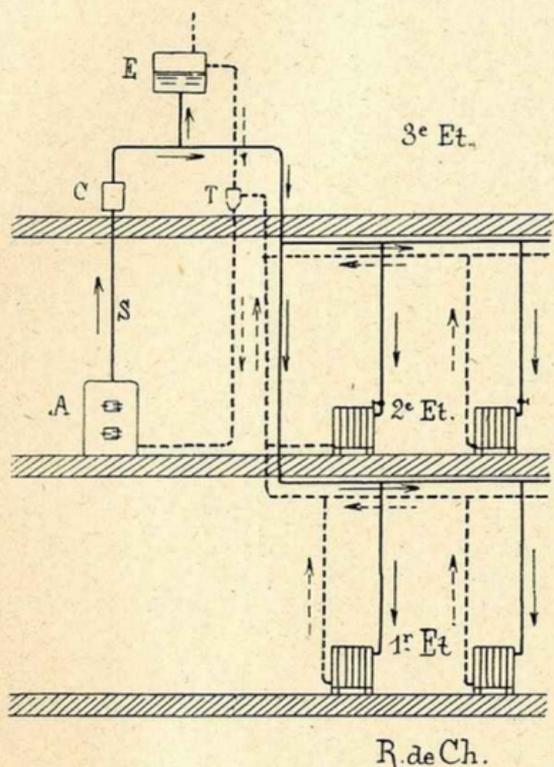


FIG. 496.

d'eau ensuite, s'est faite par le tuyau de buées du réservoir d'expansion. L'entrée d'air ayant été complètement fermée à la chaudière, l'allure du foyer s'est aussitôt ralentie, la température a baissé rapidement, et, en un quart d'heure, la température de l'eau s'est abaissée à 80°. Le temps a manqué, du reste, pour voir si la température s'abaissierait dans les radiateurs, et si la circulation se continuerait dans ces conditions, ce qu'il eût pourtant été intéressant de constater.

Mais cette expérience a suffi pour montrer que l'allure de la chaudière était assez souple pour varier en cinq minutes de 100 à 110°, et en un quart d'heure de 110 à 80°. Il a été facile de voir, en outre, qu'une négligence du chauffeur, laissant ouverte la porte du cendrier de la chaudière, pouvait, en peu de temps, faire vider l'eau par le tuyau de buées du réservoir d'expansion, et provoquer la rupture de la chaudière, qui était en fonte. Hâtons-nous de dire qu'en marche normale, avec le régulateur dont la chaudière est munie, et avec un chauffeur soigneux, cet accident, commun à toutes les chaudières dont les portes de foyer et de cendrier ne sont pas solidaires, eût été impossible.

Système Kœrting frères. — Les systèmes de circulation d'eau accélérée par émulsion sont aujourd'hui assez nombreux, surtout pour les petits chauffages. Il suffit, en effet, par une méthode ou par une autre, de gêner le mouvement d'ascension dans la conduite verticale, montant d'une chaudière à eau chaude pour se rendre à un réservoir d'expansion, pour provoquer la formation de bulles de vapeur, qui, aussitôt l'obstacle passé, se précipitent avec l'eau dans la colonne verticale, en produisant le phénomène de l'émulsion. Celui-ci accélère assez la vitesse de circulation du système pour permettre l'emploi de petits tuyaux, et de circuits dans lesquels la circulation ne s'établirait pas par simple thermosiphon.

Certains constructeurs ont employé des éjecteurs, d'autres des cloisonnements en tôle perforée, d'autres des faisceaux de tubes capillaires : le système Kœrting, breveté en 1904, appartient à cette dernière catégorie.

L'accélération de vitesse, par cette méthode, ne semble pas être bien importante, du reste, ni présenter la souplesse et la régularité qui assurent un réglage facile. Aussi ce genre de circulation est-il à peu près exclusivement réservé aux petits appartements.

Le principe du système est le suivant (*fig. 497*). Une chaudière A, du type à eau chaude, est fermée à sa partie supérieure, de manière à ce qu'il puisse se former un petit volume, ou réservoir de vapeur. Elle est surmontée d'un réservoir cylindrique de diamètre moyen B, à la partie haute duquel part le tube de montée d'eau chaude C, qui s'élève au réservoir d'expansion D. Le réservoir B, qui constitue l'émulseur, ne communique avec la chaudière que par un certain nombre de petits tuyaux capillaires, qui sont ouverts, d'une part, à sa partie haute, et qui, d'autre part, traversant la partie supérieure de la chaudière, traversent aussi son réservoir de vapeur, et descendent très près du plan horizontal de son niveau d'eau.

Lorsqu'on allume la chaudière, la résistance qu'opposent ces tuyaux à la circulation de l'eau est assez grande pour que l'eau ne monte pas dans la colonne C, et pour qu'il se forme de la vapeur, qui atteint peu à peu

une pression correspondant à la hauteur du réservoir d'expansion D au-dessus de la chaudière.

A ce moment, si le volume d'eau est convenablement proportionné, le niveau de l'eau s'est abaissé dans la chaudière jusqu'à la ligne *aa*, à une très faible distance du plan d'ouverture des tubes capillaires. La vapeur trouve alors son issue par ces petits tubes ; il s'établit un courant

très rapide dans le voisinage du plan d'eau de la chaudière, et, par capillarité et par émulsion, l'eau est entraînée, pompée on pourrait presque dire, et s'en va avec la vapeur par tous les petits tubes, sous forme d'une colonne émulsionnée.

L'eau s'élève dans le réservoir d'expansion, circule par la conduite principale E, les branchements F, qui l'amènent aux radiateurs R, et revient, par les branchements G et le collecteur H, à la chaudière A, et le mouvement se continue.

On peut, si on craint une vaporisation intense, qui amènerait trop peu de vapeur au réservoir d'expansion, prendre une dérivation I sur la conduite de retour, de manière à condenser une partie de la vapeur dans la conduite C. Le surplus s'amasse à la partie haute du

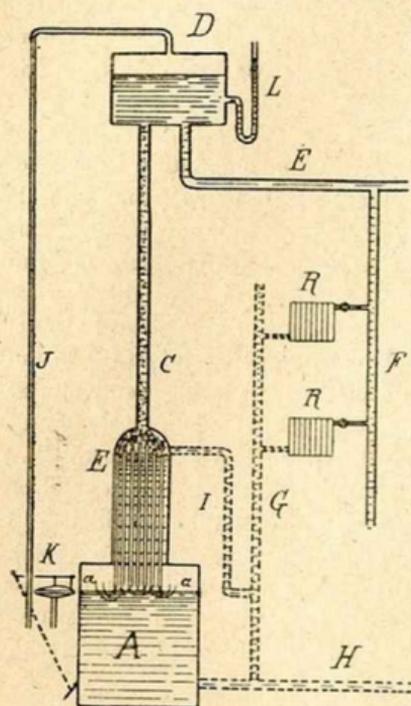


FIG. 497.

réservoir d'expansion, et la pression qui s'établit, avec un maximum limité par le syphon L, vient commander par le tuyau J, le régulateur K, qui règle l'intensité du foyer de la chaudière.

Cette disposition théorique peut, bien entendu, recevoir toutes les applications que l'on rencontre dans la pratique.

Le plus souvent, la disposition des appartements oblige à placer les canalisations d'aller E et de retour H sous plafond des appartements, pour éviter les portes qu'on rencontrerait sur le parcours (fig. 498). L'émulseur, en partie vertical et en partie horizontal, est entouré d'un condenseur, dans lequel vient passer l'eau refroidie du tuyau H. La communication avec le réservoir d'expansion D se fait par un syphon LJ, sur lequel est branché le régulateur K, et la vapeur qui n'aurait pas été con-

densée vient, par un tuyau M, s'établir au-dessus du niveau de l'eau dans le réservoir D, et ajoute son action pour faire manœuvrer le régulateur K, et diminuer l'intensité de la production de vapeur.

On dit beaucoup de bien de ce système. Il convient, toutefois, de remarquer que l'émulseur et le réservoir d'expansion tiennent une place assez importante au-dessous du plafond, et que, comme c'est le cas dans tous

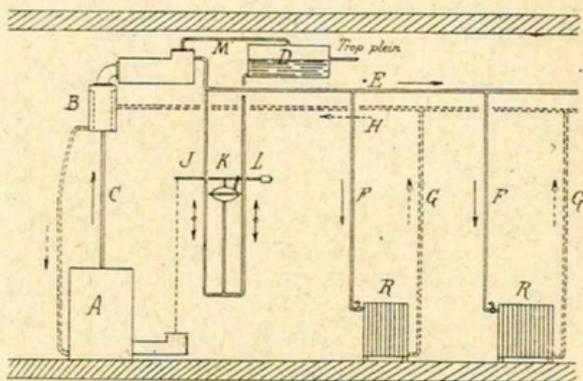


FIG. 498.

les appartements d'une maison de rapport lorsqu'on ne peut les placer à l'étage supérieur, les canalisations E et H, qui sont forcément au-dessous, doivent être à une certaine distance du plafond, ce qui est loin d'être décoratif. Ces canalisations doivent donc passer dans des endroits sombres et à contre-jour, et de préférence dans les couloirs de dégagement.

Chauffage par pulsion, système Rouquaud. — Ce système, installé d'abord en Russie, vers 1899, et qui fit son apparition en France vers 1901-1902, est basé sur un principe tout à fait différent.

L'élévation de l'eau dans un réservoir d'expansion se fait au moyen d'un organe intermédiaire, par suite de la pression de vapeur qui vient s'établir dans cet organe; mais, au lieu d'avoir, comme dans le montage, un échappement de vapeur qui ne se règle pas de lui-même, et nécessite la manœuvre d'un robinet, ce système règle automatiquement les pulsions et les échappements de la vapeur, alternativement, par un dispositif original décrit ci-après.

L'appareil principal qui fait l'objet du brevet se compose essentiellement d'un réservoir fermé B (fig. 499), en communication par sa partie inférieure, au moyen de deux tubes a et a_1 avec une chaudière A, et par sa partie supérieure, au moyen d'un tube b , qui descend presque jus-

qu'en bas du réservoir B, avec un réservoir d'expansion ou de jetées C. Ce réservoir communique lui-même avec la chaudière par une tuyauterie *c*, qui fait le tour de l'appartement à chauffer, alimente les radiateurs, et rentre à la chaudière par un clapet de retenue *d*. Dans le réservoir B, et autour du tube *b*, coulisse un autre tube *e*, qui est solidaire d'une cloche légère *f*.

Enfin, le tube *g* est percé à l'intérieur du réservoir B, et, tout à fait à la partie haute, de deux très petits trous.

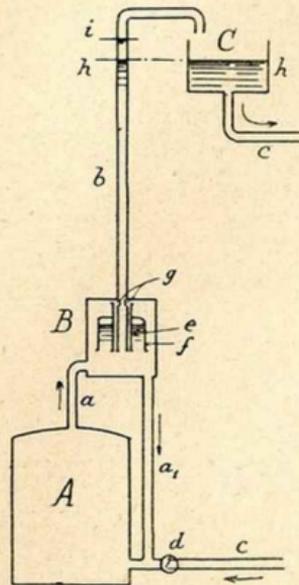


FIG. 499.

A l'état de repos, tout le système est rempli d'eau jusqu'à la ligne *hh*. La cloche flotteur *f* est équilibrée de telle manière, soit qu'elle contienne une certaine quantité d'air emprisonné à sa partie haute, soit, pour toute autre raison, qu'elle flotte dans l'eau qui remplit le réservoir B, et colle sur le fond supérieur de ce réservoir la partie haute du tube *e*, masquant ainsi les ouvertures *g*. Le système est en équilibre, et le clapet *d* reçoit une pression équivalente sur ses deux faces.

Si on chauffe l'eau dans la chaudière A, il s'établit une circulation entre celle-ci et le réservoir B, par le tuyau montant *a* et le tuyau descendant *a₁*, et la colonne d'eau représentée par le réservoir B et la chaudière A devient plus légère, le clapet *d* se ferme sur son siège.

Peu à peu, des globules de vapeur se forment, s'élèvent par le tuyau *a*, et un réservoir de vapeur se forme à la partie haute du réservoir B, en faisant monter l'eau jusqu'en *i* dans le tuyau *b*.

Aussitôt que la tension de la vapeur est supérieure à la pression représentée par la colonne *ibB*, l'eau est refoulée par la pression de vapeur qui continue à augmenter, et bientôt toute l'eau du réservoir B, jusqu'à l'extrémité inférieure du tuyau *b*, est refoulée dans le réservoir d'expansion C.

A ce moment, la cloche n'est plus équilibrée, s'abaisse, démasque les ouvertures *g*, et la vapeur s'échappe dans l'atmosphère par le tuyau *b*.

Mais alors la colonne d'eau *Ccd* serait plus haute que la colonne *dAaB*, le clapet s'ouvre, la circulation s'établit du réservoir C vers la chaudière, en passant par les tuyaux *cc*, les radiateurs, la chaudière; le niveau *hh* ancien se rétablit, la cloche remonte à son ancienne place, en masquant

les ouvertures *gg*, et le phénomène se reproduit alternativement tant qu'on chauffe la chaudière A.

La quantité de vapeur qui s'échapperait dans l'atmosphère, à la fin de la pulsion, représenterait une perte très importante, si on n'arrivait pas à la condenser et à la ramener à la chaudière, cette perte se composant à la fois des calories emportées par la vapeur, et perdues pour le chauffage, et de l'eau provenant de la condensation de cette vapeur, perdue pour la chaudière. On peut ajouter encore que cette perte d'eau, nécessitant une alimentation constante en eau nouvelle, aurait créé un danger d'entartrage de la chaudière.

Il est, du reste, facile de chiffrer cette quantité de vapeur.

Considérons le chauffage d'un appartement qui nécessite par heure 12.000 calories. Sa hauteur moyenne étant d'environ 3 mètres, la différence de niveau entre le pulseur et le dessus du réservoir d'expansion, c'est-à-dire la hauteur de pulsion, sera d'environ 2 mètres.

L'eau, partant au circuit à 100°, revient en général à la chaudière vers 75°, c'est-à-dire qu'elle abandonne par litre 25 calories, qui servent au chauffage de l'appartement. Le volume d'eau à faire circuler par heure est de :

$$\frac{12.000}{25} = 480 \text{ litres.}$$

Si le volume du pulseur est de 10 litres, il faudra par heure 48 pulsions de 10 litres.

La hauteur de la colonne d'eau étant de 2 mètres, ce qui correspond à 0^m,200, ou à une température de 105°, l'eau partant du pulseur aura une température de 105°, et, en arrivant au réservoir d'expansion ouvert à l'air libre, il y aura une certaine quantité d'eau vaporisée, pour que la température de l'eau qui restera soit de 100°. La perte par vaporisation sera donc de 5°, ou 5 calories par litre, soit 50 calories par pulsion de 10 litres, ou :

$$50 \times 48 = 2.400 \text{ calories}$$

pour 48 pulsions par heure.

Pour un chauffage de 12.000 calories, si on ne récupérait pas la vapeur, il y aurait donc 2.400 calories perdues, soit 20 0/0, ce qui est considérable, et serait excessivement onéreux.

D'autre part, ces calories seraient contenues dans un volume de vapeur à 100° représentant, d'après la formule,

$$M = 606,5 + 0,305t,$$

$$\frac{606,5 + (0,305 \times 100)}{2.400} = 3^{\text{m}},767 \text{ d'eau par heure,}$$

$$3,767 \times 24 = 60 \text{ litres par jour,}$$

perte très importante.

Dans le système Rouquaud, on a toujours cherché à condenser cette vapeur, et à ramener au chauffage l'eau de condensation, pour éviter ce grave défaut, qui aurait rendu son emploi trop coûteux.

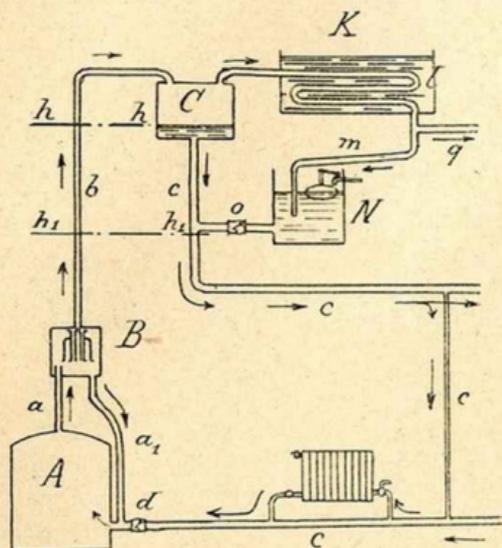


FIG. 500.

A l'origine, M. Rouquaud (*fig. 500*) employait un réservoir d'expansion clos C, reprenait à la partie haute la vapeur en excès, et la transportait dans un serpentin condenseur *l*, placé dans un réservoir d'eau K, qui fournissait l'eau chaude nécessaire aux besoins domestiques de la maison, cuisine, office, toilettes, salles de bains, etc. L'eau qui se condensait dans ce serpentin était ramené par le tuyau *m*, et recueillie dans un réservoir N, qui la ramenait dans le circuit *c* par un branchement, muni d'un clapet de retenue *o*.

Quand une certaine quantité d'eau avait été perdue, le niveau normal entre deux pulsions, *hh* à l'origine, s'abaissait peu à peu, et, lorsqu'il atteignait le plan *h₁h₁*, au-dessous de N, le clapet *o* s'ouvrait, et laissait rentrer une certaine quantité d'eau dans le circuit.

Quand l'eau du réservoir K était bouillante, ce qui se produisait forcément au moment de la journée où on ne se servait pas d'eau chaude pour les besoins de la maison, l'excès de vapeur s'échappait par un tuyau *g*, et allait chauffer un radiateur à vapeur placé dans une des pièces de l'appartement, mais l'eau de condensation était évacuée à l'égout, à 100°, et perdue pour le chauffage.

L'eau condensée dans ce radiateur était donc généralement perdue, à moins que le radiateur n'ait pu être placé au-dessus du réservoir N, dans une chambre de domestique, par exemple. Mais c'était l'exception. Pour compenser cette perte d'eau, il suffisait de mettre dans le réservoir N

un flotteur, commandant un robinet d'eau sous pression de la ville. La réalimentation se faisait alors automatiquement.

M. Rouquaud obvie maintenant à ce défaut ¹ en ramenant la vapeur dans un condenseur S, qu'il place sur le tuyau de retour, dans un réservoir intermédiaire R, comme l'indique la figure 501.

Cette disposition est meilleure ; il est toutefois à craindre que toute la vapeur ne soit pas condensée, et, en réalité, l'excès de vapeur est et restera le point faible des chauffages à pulsion, système Rouquaud, ou autres systèmes s'il s'en présente, comme il est le point délicat des systèmes par émulsion.

Le fonctionnement du système Rouquaud comprend, comme nous l'avons établi précédemment, trois périodes : la pulsion, la chute de pression dans l'appareil éjecto-pulseur, le remplissage ; ces trois périodes constituent un cycle complet de circulation, qui doit se répéter un nombre suffisant de fois pour que l'eau chaude abandonne aux locaux à chauffer la quantité de calories nécessaires pour maintenir dans ces locaux la température demandée.

La durée nécessaire pour un cycle complet, fonction des hauteurs H, h et h' (fig. 501), est généralement limitée à 60 secondes : la durée de la pulsion complète est de 30 secondes ; le remplissage, c'est-à-dire le temps que met l'eau à parcourir le circuit de distribution entre le réservoir d'expansion et l'appareil éjecto-pulseur, en passant par les radiateurs, est de 20 secondes ; enfin la différence

$$60 - (30 + 20) = 10 \text{ secondes}$$

est le temps de repos, nécessaire à la chaudière, pour donner à l'eau les calories qu'elle a perdues dans les radiateurs, et produire la quantité de vapeur nécessaire à la pulsion.

Cette durée du cycle est facilement limitée, soit par un régulateur

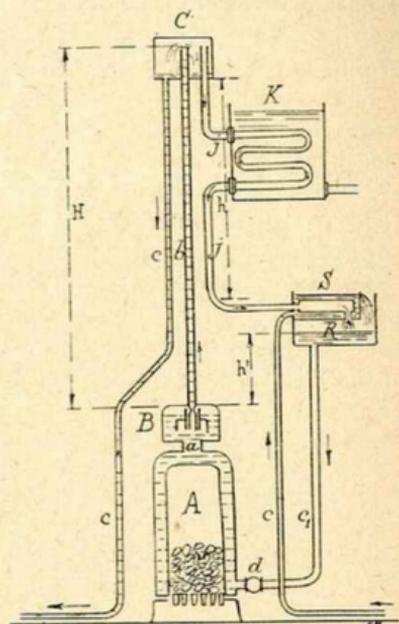


FIG. 501

1. Voir journal l'Engineering Review, de New-York, de novembre 1906.

automatique, soit, le plus souvent, par un registre à main, placé sur le tuyau de fumée de la chaudière, ou par une entrée d'air réglable au cendrier, de manière à obtenir une intensité de feu proportionnelle au nombre de pulsions par heure que nécessite la rigueur de la température extérieure.

Les installations sont généralement calculées pour des vitesses de 0^m,50 à 1 mètre par seconde dans les tuyauteries, dont les diamètres sont de 15 à 20 millimètres, et la longueur maximum 60 à 100 mètres.

Pour des développements de canalisations qui devraient avoir une plus grande longueur, M. Rouquaud aime mieux diviser le chauffage en plusieurs circuits, comme cela se fait dans les chauffages Perkins, ainsi que nous l'avons dit précédemment.

Les diamètres des canalisations sont faciles à calculer, pour que la vitesse ne soit pas inférieure à 0^m,50 dans les conduites, vitesse au-dessous de laquelle M. Rouquaud préfère ne pas descendre.

Supposons le développement total de la conduite c égal à 100 mètres, et la hauteur de chute égale à 1^m,60, cette hauteur étant représentée par l'écart vertical qui existe entre le fond du réservoir C et le haut de l'éjectopulseur B, avec la correction nécessitée par le remontage au réservoir condenseur RS.

La vitesse de chute est donnée par la formule de Prony :

$$v = 26,75\sqrt{DJ} - 0,025,$$

dans laquelle v est la vitesse, D le diamètre, J la pente en mètres.

Pour un diamètre de 25 millimètres dans le circuit considéré ci-dessus, nous aurons :

$$v = 26,75\sqrt{0,025 \times \frac{1,6}{100}} - 0,025 = 0^m,51,$$

ce qui répond à la condition de vitesse fixée.

La section du tube de 25 millimètres est de :

$$\omega = \frac{0,025^2}{4} \times 3,14 = 0,00049087,$$

et le volume débité par seconde :

$$Q = 0,00049087 \times 0,51 = 0^m^3,000250337,$$

soit environ 0^{lit},25.

Si le volume de la pulsion est de 10 litres, ce volume s'écoulera en :

$$\frac{10}{0,25} = 40 \text{ secondes.}$$

Ce temps d'écoulement ou de remplissage étant déterminé, il reste à calculer la température maximum que ces 10 litres pourront encore conserver au moment de leur retour, sans risquer de se vaporiser pendant leur passage dans la chaudière, et avant d'arriver à l'éjecto-pulseur.

Ceci est excessivement important, car, si la température est trop basse, il faudra un temps trop long pour la préparation de la pulsion, et, si elle est trop élevée, la chaudière produira de la vapeur, il n'y aura plus d'eau dans l'éjecto-pulseur, et le système ne fonctionnera plus.

Il y a donc là deux facteurs intéressants à établir, c'est-à-dire la température de l'eau de retour, et la puissance de la chaudière.

En principe, il faudra que la chaleur déjà possédée par ces 10 litres avant leur retour à la chaudière, plus celle qui leur sera fournie pendant la durée de séjour dans cette chaudière, soit pendant 40 secondes, donne une somme égale, tout au plus, au résultat calorique de l'éjection, soit à

$$10 \times 105 = 1.050 \text{ calories.}$$

Soient :

10 kilogrammes, le poids des 10 litres d'eau ;

x , la température limite à l'entrée dans la chaudière ;

$\frac{3.600}{40}$, la durée de passage dans la chaudière.

105°, la température au moment de l'éjection, sous la hauteur de 2 mètres, prise pour base du calcul.

Si le rendement maximum de la chaudière est de 16.000 calories par heure, on peut écrire :

$$10 x + \frac{16.000 \times 40}{3.600} = 10 \times 105 ;$$

d'où :

$$x = 87^{\circ},3.$$

En conséquence, dans l'exemple considéré, la température de l'eau de retour pourra atteindre 87°,3 sans rompre la périodicité de la circulation.

Il ne faut pas oublier, du reste, de tenir compte des 50 calories restituées à l'eau des retours dans son passage au condenseur RS, soit :

$$\frac{50}{10} = 5 \text{ calories, ou } 5^{\circ} \text{ par litre.}$$

La température de l'eau, au retour de tous les radiateurs, ne devra donc pas dépasser :

$$87^{\circ},3 - 5 = 82^{\circ},3,$$

et les radiateurs seront calculés pour une perte de :

$$100 - 82^{\circ},3 = 17^{\circ},7, \text{ soit } 18^{\circ},$$

ce qui est une condition parfaitement réalisable.

En appelant :

P, le poids de l'eau éjectée, conformément au volume de l'éjecto-pulseur ;

l, la température de l'eau de retour ;

M, la puissance maximum de la chaudière en calories ;

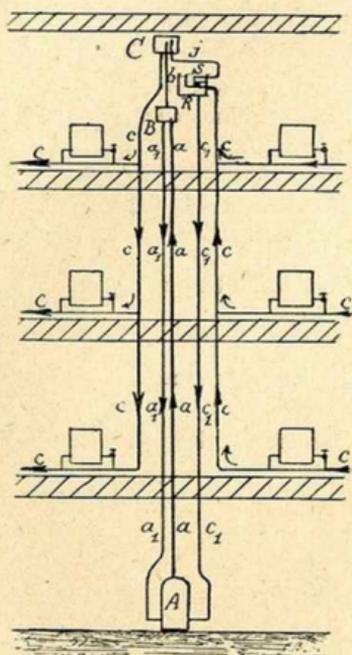


FIG. 502.

$\frac{n}{3.600}$, la durée, en secondes, de l'écoulement de P dans le circuit ;

T, la température de l'eau au

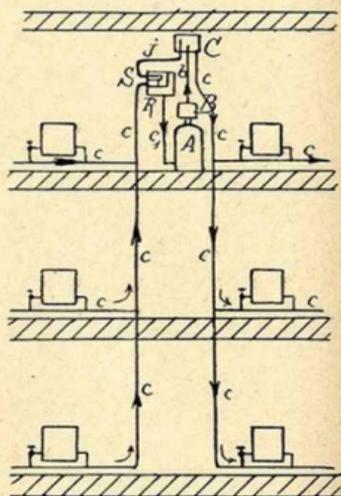


FIG. 503.

moment de l'éjection, proportionnelle à la hauteur H de pulsion.

On détermine les facteurs qui permettent de maintenir la périodicité des pulsions :

$$Pl + \frac{Mn}{3.600} = PT.$$

Les dispositions d'installation du chauffage Rouquaud peuvent répondre à toutes les conditions que nécessite la disposition des locaux à chauffer.

Pour chauffer, par exemple, un petit hôtel à plusieurs étages, la chau-

CHAUFFAGE PAR L'EAU CHAUDE A CIRCULATION ACCÉLÉRÉE

dière peut être placée, soit en sous-sol (*fig. 502*), soit à un étage quelconque, ou même à l'étage supérieur (*fig. 503*).

Pour un petit appartement, de 5^m à 20.000 calories, M. Rouquaud a créé un ensemble (*fig. 504* et *505*), qui comprend les appareils complètement montés à l'usine, et qu'il suffit d'apporter dans l'appartement à chauffer, prêts à être raccordés à la cheminée, à l'alimentation d'eau froide, et à la canalisation d'aller et de retour du chauffage. Il a donné à cet ensemble le nom de *Geysers*.

Pour les plus petits appartements, de

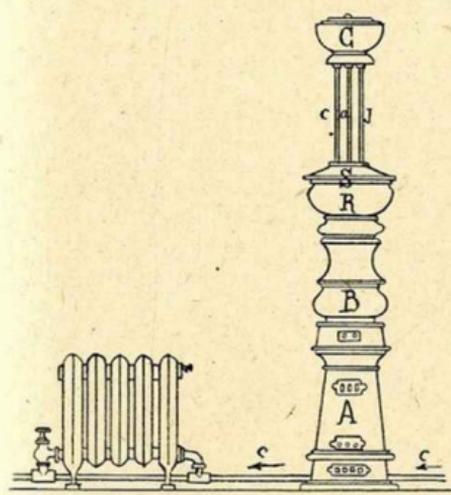


FIG. 504.

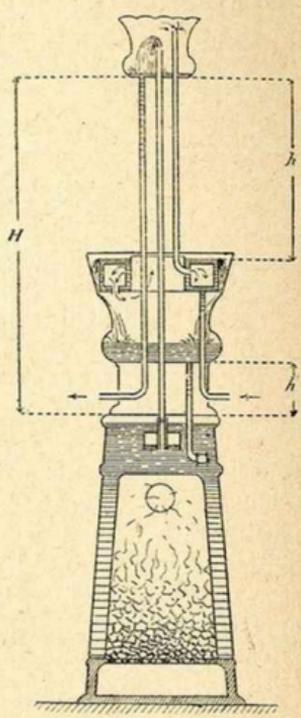


FIG. 505.

3^m à 5.000 calories, M. Rouquaud construit un groupe encore moins important (*fig. 506*), qui peut être chauffé par le gaz ou par le pétrole.

Ces divers appareils peuvent s'appliquer au chauffage des appartements d'une maison de rapport. En plaçant la chaudière dans une antichambre, une salle de bains, un office, une cuisine, ou même en la disposant dans un compartiment spécial du fourneau de cuisine, aménagé à cet effet, et pourvu d'un foyer et d'une cheminée spéciale, il est possible d'avoir un chauffage indépendant pour chaque appartement, et que le locataire peut faire fonctionner à son gré.

Il faut reconnaître, toutefois, que ce genre d'installations n'est séduisant que pour les propriétaires, parce qu'il les débarrasse du souci d'assurer le chauffage de leur immeuble, des réclamations de leurs locataires,

dont les uns, avec la même température, ont toujours trop chaud, quand les autres se plaignent d'avoir froid, enfin, aussi, parce qu'il diminue les charges de l'immeuble, et évite l'addition de la somme importante à ajouter sur les quittances de loyer.

Il n'en est pas de même pour les locataires. Si un locataire qui veut être chauffé n'hésite pas à faire installer un tel chauffage dans l'appartement qu'il occupe dans une maison non chauffée, on n'aime pas beaucoup louer un appartement dans lequel on sera obligé d'assurer soi-même son chauffage. Il faudra sans cesse discuter avec ses domestiques, qui chaufferont trop ou trop peu, qui répugneront à descendre 4 ou 5 fois par jour de leur étage à la cave, pour chercher le charbon ; car il ne faut pas oublier que la surface exigüe des cuisines de nos appartements ne permet pas d'y

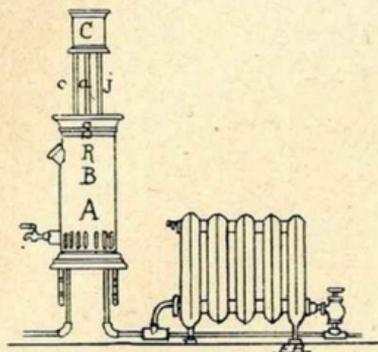


FIG. 506.

emmagasiner du charbon pour plusieurs jours de chauffage, en plus de celui nécessaire à la cuisine. Enfin, les factures du charbonnier semblent plus dures à payer que la quittance de loyer, qu'on a l'habitude d'acquitter en maugréant, selon l'usage, contre les prix très élevés des appartements de Paris.

En somme, l'installation de chauffages indépendants pour chaque appartement, dans les maisons de rapport, a peu de partisans, et ce système n'a pas un aussi grand succès qu'on le croirait.

Presque tous les systèmes à eau chaude, avec vitesse de circulation accélérée, permettent le sectionnement du chauffage par appartement, avec chaudière unique placée en sous-sol et chauffée par le concierge. Le propriétaire y trouve son compte, et se fait payer par les locataires, au prorata de la chaleur qu'ils demandent ; il peut supprimer le chauffage des appartements qui ne sont pas loués. De même, le locataire est satisfait de se chauffer comme il veut, sans ennuis avec ses

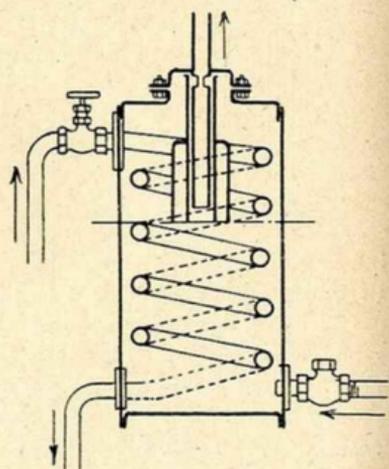


FIG. 507.

domestiques sans s'occuper de commander et emmagasiner du charbon, et de n'avoir qu'à manœuvrer un simple robinet pour avoir plus ou moins de chaleur dans l'ensemble de l'appartement, en ne payant que ce qu'il consomme.

Le système Rouquaud comporte une disposition qui s'efforce de répondre à ce programme.

Le réchauffeur pulseur (*fig. 507*) est un réservoir sous pression, contenant un serpentin en fer ou en cuivre, alimenté par de la vapeur à basse pression, et fonctionnant absolument comme une chaudière à eau chaude, dont le foyer au charbon serait remplacé par le serpentin de vapeur.

La figure 508 montre comment cette disposition peut être appliquée à une maison de rapport.

Le chauffage de chaque appartement est indépendant et identique à ceux précédemment décrits, la chaudière à eau chaude étant simplement remplacée par le réchauffeur pulseur de la figure 507 précédente.

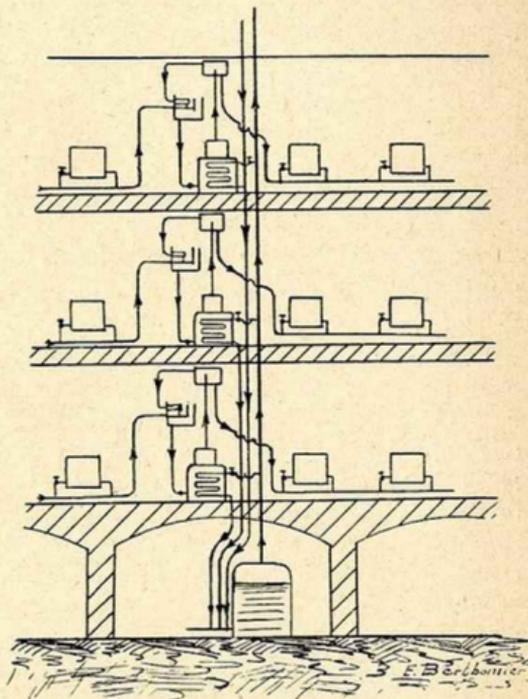


FIG. 508.

Une conduite générale de vapeur part de la chaudière, et alimente tous les serpentins des réchauffeurs, munis chacun d'un robinet permettant de régler ou d'arrêter le chauffage de chaque appareil, indépendamment de ceux des appareils placés dans les autres appartements.

Une conduite de retour part du serpentin de chaque réchauffeur, et ramène l'eau de condensation à la chaudière.

Cette disposition ne résout pas évidemment le problème que nous avons posé au commencement de la présente étude, puisque le propriétaire ne peut agir en aucune manière sur le réglage général du chauffage

chez ses locataires. Il est, en effet, nécessaire d'avoir à la chaudière un minimum de pression pour faire fonctionner les réchauffeurs pulseurs, et il est, par conséquent, loisible aux locataires de laisser leurs fenêtres ouvertes, tout en continuant à chauffer, et à faire consommer à la chaudière la quantité de charbon maximum.

Il semble possible, toutefois, d'ajouter à l'ensemble un compteur par appartement, indiquant, par exemple, quelle quantité d'eau a été condensée dans le serpentin, ce qui permettrait de faire payer à chaque locataire le chauffage, en proportionnant la quantité de charbon à la quantité d'eau indiquée par le compteur.

Nous ignorons si de telles dispositions ont déjà été prises.

Nous avons vu que, pour un appartement de hauteur moyenne, la pression à l'éjecto-pulseur devait correspondre à une hauteur de 2 mètres de colonne d'eau, soit à 105°. La pression de vapeur devra être légèrement supérieure, soit environ 500 grammes, pour que la vapeur soit à 110° au moins.

Pour un appartement de 12.000 calories, comme celui précédemment considéré, nous avons vu que le retour d'eau pourrait se faire à environ 83°, il faudra donc faire circuler :

$$\frac{12.000}{100 - 83} = 705 \text{ litres d'eau par heure,}$$

soit 70 pulsions de 10 litres, ou mieux 35 pulsions de 20 litres, un pulseur plus grand étant nécessaire dans ce cas, à cause de la vaporisation moins active du réchauffeur pulseur.

Avec de la vapeur à 500 grammes, et un retour d'eau condensée à la chaudière, supposée à 100°, 1 kilogramme de vapeur abandonnera à l'eau :

$$606,5 + 0,305 \times 110 - 100 = 540 \text{ calories.}$$

Il faudra donc, pour chaque appartement de 12.000 calories :

$$\frac{12.000}{540} = 22 \text{ à } 23 \text{ kilogrammes de vapeur.}$$

D'après les formoles de Ser, un serpentin de vapeur plongé dans l'eau transmettant environ 1.000 calories par degré d'écart entre la vapeur et l'eau, nous aurons :

$$\frac{110 + 100}{2} = 105^\circ, \text{ température moyenne de la vapeur ;}$$

$$\frac{105 + 83}{2} = 94^\circ, \text{ température moyenne de l'eau ;}$$