

n'est pas possible d'installer la chaudière plus bas que les corps de chauffe destinés à l'échauffement des locaux, ou encore qu'il paraît préférable, par suite de certaines conditions, de placer la chaudière de chauffe à un étage supérieur à l'étage situé le plus bas. Un chauffage à circulation accélérée peut donc se recommander par exemple pour les églises dans lesquelles on ne peut pas disposer de local dans les caves pour l'emplacement de la chaudière, d'autant plus que pour de telles installations on n'exige pas de réglage général de la température de l'eau. Ce système convient encore pour les bâtiments dans lesquels le système de chauffage exigé est le chauffage à eau chaude, mais où les frais d'établissement d'un chauffage à eau chaude ordinaire seraient trop élevés. A vrai dire il faut alors accepter et supporter les inconvénients inhérents au système choisi et l'architecte doit, dès le début, être mis parfaitement au courant de ces inconvénients. Quand il faut installer des chauffages à eau chaude comprenant des distances horizontales très grandes, on devrait plutôt employer le chauffage à pompe et ne choisir les chauffages à circulation accélérée que dans les cas où il faut exclure l'emploi de tout fonctionnement mécanique.

### 3. — Chauffage à eau chaude fonctionnant avec pompe.

(Chauffage à eau chaude à longue distance.)

Il n'y a encore que quelques années on n'exécutait qu'un seul système de chauffage à eau chaude — abstraction faite du chauffage à circulation accélérée dont l'extension et les propriétés limitées ont été décrites au paragraphe *b* — soit le système de chauffage empruntant sa force motrice à la différence de densité des colonnes d'eau chaude et d'eau froide. Par suite de la faible charge dont on dispose dans de telles installations, le chauffage ne pouvait avoir qu'une étendue horizontale relativement restreinte et il en résultait que souvent, dans les grandes constructions, on était obligé d'avoir plusieurs installations distinctes. Le désir de n'avoir qu'un seul foyer, même quand il s'agissait de chauffer plusieurs bâtiments, conduisit à chauffer l'eau des différentes installations au moyen de vapeur produite en un point central et qu'on pouvait, par suite de sa force d'expansion, conduire à de grandes distances.

Mais les excellentes propriétés de la vapeur — surtout sa tension et sa température — nécessitent aussi diverses constructions et de nombreux dispositifs exigeant certaines précautions, de la surveillance et de l'entretien. Elles ne peuvent donc pas, au point de vue économique, répondre à toutes les exigences. C'est ce qui amena récemment, après quelques exemples fournis surtout par l'Angleterre, à

conduire au moyen de pompes aux divers points d'utilisation, principalement dans le chauffage simultané d'un grand nombre de bâtiments, l'eau nécessaire au chauffage après réchauffement préalable de cette eau dans une chaudière centrale. On créait ainsi un *chauffage à eau chaude à longue distance*. En Allemagne c'est à l'ingénieur *Tichelmann* que revient le mérite d'avoir, en 1900<sup>1</sup>, attiré l'attention sur les avantages des installations de ce genre. La première installation de chauffage à longue distance a été exécutée à Plauen i. V. par la maison *Jeglinsky et Tichelmann*.

De la nécessité de devoir, dans les chauffages à eau chaude à longue distance, employer une force mécanique, il résulte que, pour des bâtiments distincts et quand les rapports de température de l'eau assurent suffisamment le mouvement nécessaire de l'eau, on ne devrait renoncer au chauffage à eau chaude basé sur la différence de densité des colonnes d'eau que si les conditions de l'installation exigent un chauffage à pompe. L'attrait de la nouveauté et le bon marché de l'installation ne doivent pas être les seules raisons de choisir ce système.

Un chauffage à eau chaude à longue distance possède sur un chauffage à vapeur à longue distance les avantages suivants : avant tout, une déperdition de chaleur plus faible s'élevant rarement à plus de 1,50 et au maximum 2,50 p. 100 de la chaleur maxima à véhiculer, conduites de distribution garanties contre les inéanchéités, plus grande facilité à surmonter les difficultés de pente, suppression d'un certain nombre de dispositifs et de constructions exigeant de la surveillance et nécessitant facilement des réparations. L'entretien est ainsi réduit relativement à peu de chose ; on peut se passer de colonnes de secours pour les conduites de distribution et il n'est plus absolument nécessaire de ménager des caniveaux pour la pose des conduites.

A ces avantages s'en ajoutent encore deux autres. Le chauffage à eau chaude permet, comme déjà dit au paragraphe 1, dans de certaines limites de donner à l'eau la température que l'on veut, donc d'assurer à de certaines conditions le réglage général de la température de l'eau, c'est-à-dire de la quantité totale de chaleur que doivent émettre les corps de chauffe dans les divers bâtiments (voir aussi p. 247). Il permet en outre de pouvoir rendre utilisable pour le chauffage, la chaleur de la vapeur d'échappement des machines à vapeur, de sorte qu'on peut estimer que le fonctionnement de la pompe et l'énergie électrique, quand on construit en même temps une usine électrique, coûteraient très peu, c'est-à-dire

<sup>1</sup> *Gesundheits-Ingenieur*, 1901.

environ seulement 20 à 25 p. 100 au plus des frais nécessaires s'il n'y avait pas d'installation de chauffage. Mais pour obtenir ces avantages, si ces avantages doivent entrer en ligne de compte pour décider l'établissement d'une installation à eau chaude à longue distance, il est nécessaire d'admettre des données absolument spéciales, que l'ingénieur de chauffage ne possède pas, car elles dépendent de la destination et des dimensions des bâtiments.

Le réglage général de la température de l'eau, donc le réglage de la totalité de la chaleur nécessaire, le seul dont il puisse être question dans un chauffage à eau chaude à longue distance (voir aussi p. 263) doit, pour être couronné de succès, répondre dans un délai minimum aux besoins de chaleur. Cette condition suppose ou des circuits très courts, ou une vitesse de l'eau d'importance conforme. Plus l'extension horizontale d'un chauffage à eau chaude à longue distance augmente, moins le réglage central est possible. Pour contrebalancer, il faudrait accélérer la vitesse de l'eau dans les conduites de distribution, ce qui, naturellement, accroît les frais d'exploitation et est limité par des raisons même d'exploitation. On devrait prendre pour maximum de vitesse 2,5 m., au plus 3 mètres.

Si donc on fait ressortir pour une installation, que le réglage général de la température de l'eau est un avantage du chauffage à eau chaude sur le chauffage à vapeur, la vitesse de l'eau dépend de ce réglage. On ne peut donc pas choisir arbitrairement cette vitesse. On sera, certes, en droit d'exiger que l'eau parvienne dans le bâtiment le plus éloigné, huit à dix minutes après avoir quitté la chaudière, si l'on doit encore parler de l'avantage du réglage général de la température de l'eau. Dans les installations horizontales et à branchements éloignés, on y renoncera par conséquent plus ou moins, et l'on devra alors transférer le réglage général dans chacun des bâtiments, comme cela se fait dans le chauffage à vapeur par eau chaude.

Relativement à l'utilisation de la vapeur d'échappement en vue du réchauffement de l'eau, on ne peut compter que cette vapeur sera employée uniquement par le chauffage à eau chaude à longue distance. Toutes les grandes installations ont besoin d'eau chaude pour le lavage, la cuisine et les bains en quantité telle que fréquemment, la vapeur d'échappement des machines n'est pas suffisante pour l'échauffement de cette eau. Dans ce cas, le chauffage à vapeur se trouve par suite naturellement dans la même situation que le chauffage à eau chaude.

Il faut signaler comme désavantages du chauffage à eau chaude à longue distance comparé au chauffage à vapeur à longue distance,

d'une part qu'il revient ordinairement plus cher, surtout quand il n'existe pas d'installation électrique et qu'on doit construire, pour recevoir la conduite de distribution, des canaux visitables, d'autre part que les réparations aux conduites — qui, à vrai dire, seront plutôt rares si l'installation est bien exécutée — nécessitent plus de temps. L'avantage important au point de vue économique et déjà signalé dans cet ouvrage, d'une déperdition de chaleur moindre dans la conduite d'un chauffage à eau chaude que dans celle d'un chauffage à vapeur, peut aussi perdre beaucoup de sa valeur par les exigences du fonctionnement. Déjà, quand la marche de l'installation est interrompue pendant la nuit, la différence entre les pertes de chaleur dans le cas de l'eau et dans le cas de la vapeur deviendra moins forte par suite de la grande déperdition de chaleur, dans le cas de l'eau, par le refroidissement des conduites de distribution et de leur contenu pendant l'interruption de marche. L'avantage du chauffage à eau chaude sur le chauffage à vapeur diminuera également, considérablement même, si les circonstances s'y prêtent, quand, dans les bâtiments en outre du chauffage par l'eau, on a encore besoin de vapeur, soit pour la force motrice, soit pour les bains, le lavage, la cuisine ou la désinfection, ou même si on prévoit que l'utilisation et le réchauffement des locaux pendant le jour ne seront pas constants. Les frais que nécessite le fonctionnement des pompes peuvent aussi influencer défavorablement sur l'économie de l'installation quand il faut acheter l'énergie électrique actionnant les pompes.

La *disposition et l'exécution* d'un chauffage à eau chaude à longue distance donnent lieu, en général, aux observations suivantes :

Comme le chauffage à eau chaude avec pompe donne la possibilité, même quand l'étendue horizontale est très grande (chauffage à eau chaude à longue distance), de concentrer à la chaufferie la plus grande partie de l'entretien, il faut que cette pièce contienne non seulement les chaudières et machines nécessaires, mais qu'elle soit aussi munie de tous les appareils rendant possible cet entretien d'un point central. Au nombre de ces appareils, il faut compter avant tout les indicateurs de température à distance donnant la température dans les bâtiments et nécessaires pour le réglage de la température de l'eau. Ce sont les circonstances mêmes qui décident s'il faut munir tous les bâtiments, ou quelques-uns, ou seulement le plus éloigné d'un thermomètre à longue distance.

Pour que le système fonctionne économiquement, il faut, autant que possible, réchauffer l'eau de chauffe sans intermédiaire. On n'emploiera donc les chaudières à vapeur pour le réchauffement de l'eau que si la vapeur, en outre de son emploi direct pour la force

motrice, la cuisine, la buanderie, etc., présente des avantages pour le réglage rapide de la température de l'eau de chauffage.

Si on dispose de vapeur d'échappement, pour le réchauffement de l'eau, il faut installer comme accumulateurs de chaleur des chaudières d'une grandeur convenable et bien calorifugées, dans lesquelles la vapeur d'échappement vient se condenser. Comme la vapeur d'échappement ne peut être utilisée pour le chauffage qu'en hiver seulement, il paraît avantageux de l'employer d'abord pour le réchauffement de l'eau destinée aux usages domestiques ou industriels et dont les quantités nécessaires sont toujours sensiblement les mêmes, puis de prendre le reste pour le chauffage. L'utilisation de la chaleur d'échappement atteint aussi de cette façon son maximum, car la température initiale de l'eau destinée aux usages domestiques ou industriels est d'environ 10 à 12°, la température finale ne dépasse pas 60 à 65°, on atteint par conséquent, entre la vapeur et l'eau, une grande chute de température.

Si la vapeur d'échappement provient, comme c'est ordinairement le cas, de machines servant à la production de l'énergie électrique, il est indispensable, pour pouvoir se rendre compte de la quantité de vapeur disponible et déterminer la grandeur aussi bien des machines que des accumulateurs de chaleur, d'établir séparément pour chaque mois un tableau de l'énergie électrique nécessaire pour la lumière et pour la force motrice. C'est d'après ce tableau et l'utilisation possible de la vapeur d'échappement entrant en ligne de compte pour le chauffage pendant une partie de l'année que se règle aussi l'importance de la batterie d'accumulateurs et que l'on voit, si l'on peut toujours utiliser la totalité de la vapeur d'échappement ou si l'installation ne serait pas alors trop importante et trop onéreuse, de sorte qu'il vaudrait mieux laisser échapper la vapeur de temps à autre à l'air libre.

Il faut d'abord obtenir par le fonctionnement des chaudières à eau la température de l'eau dans la conduite de départ correspondant aux besoins de chaleur ; pour faire monter rapidement la température, on peut employer de la vapeur vive, pour la faire tomber rapidement, on mélangera de l'eau de retour à l'eau de départ. Si on a pris les dispositions nécessaires pour rendre possible ce mélange, il sera aussi superflu de faire monter la température de l'eau de départ par de la vapeur vive si l'on peut toujours maintenir l'eau de la chaudière à une température un peu supérieure à celle directement nécessaire.

Pour provoquer le mouvement de l'eau dans les conduites de distribution, on peut employer des pompes à piston ou des pompes centrifuges. Les premières, toutefois, ne peuvent ordinairement se

recommander que si l'eau se déverse librement avant d'entrer dans les conduites de chacun des bâtiments, car autrement, dans de certaines conditions, il peut arriver, dans les systèmes fermés, que la pression augmente considérablement et désagréablement dans les conduites de distribution. En outre, par suite du mouvement alternatif du piston des pompes, des bruits désagréables pourraient se propager par les conduites. Dans les pompes centrifuges, si le nombre de tours ne change pas, la pression maxima qu'elles exercent n'augmente pas, même quand la conduite est fermée.

Comme déjà dit, on ne peut pas choisir arbitrairement la vitesse à laquelle la pompe doit mouvoir l'eau dans les conduites de distribution. Cette vitesse dépend de l'étendue de l'installation et du réglage général à obtenir pour la température de l'eau.

Quand, pour réduire les frais de l'installation, on prend pour base du calcul des conduites de distribution une vitesse de l'eau plus grande que celle réellement nécessaire pour assurer le réglage général, on peut régler l'afflux de chaleur aux divers points en augmentant ou en réduisant la vitesse de l'eau, si les résistances de frottement qui varient à différentes vitesses n'influent pas trop fortement sur le maintien d'une égale différence de pression dans les conduites de départ et de retour des bâtiments. Seul le calcul peut donner ici les indications nécessaires. On ne peut, toutefois, recommander, surtout quand on ne dispose pas de chaleur perdue, d'obtenir le réglage de la chaleur totale nécessaire pendant une journée en modifiant la vitesse de l'eau, car on rend par là le service plus difficile et on supprime l'uniformité pour les différents bâtiments. Par contre, quand la température extérieure est douce, un fonctionnement égal et plus lent de la pompe peut avoir son avantage, car le travail de la pompe se trouve sensiblement diminué par la vitesse réduite et la plus faible quantité d'eau à mettre en mouvement. On peut donc poser comme principe que si les conditions économiques le permettent, l'afflux de chaleur aux différents points, afflux variant dans le cours de la journée, ne doit être réglé que par une modification convenable de la température de l'eau.

Il faut prévoir l'usure de la pompe et par conséquent, intercaler dans l'installation une pompe de rechange suffisamment puissante et pouvant être mise de suite en marche en cas de besoin. Il est bon aussi de se rendre compte s'il est avantageux ou non d'avoir pour la commande de la pompe de rechange une force motrice différente de celle prévue pour la commande de la pompe principale. Si par exemple, la première pompe est actionnée par un moteur électrique, on peut employer, pour actionner la pompe de rechange,



une machine à vapeur, une turbine à vapeur, un moteur à gaz pauvre, etc. S'il n'existe pas de conduite d'eau de ville pour le remplissage de l'installation, c'est la pompe qui devra remplir aussi cet office, et quand les différences de hauteur de pente sont fortes, il peut, par suite, être nécessaire d'augmenter considérablement la puissance du groupe de pompes.

Pour les conduites des pompes, il faut admettre que l'eau doit, autant que possible, couler vers la pompe, car autrement, quand l'eau de retour est encore très chaude, ce qui arrive assez souvent, on ne peut garantir qu'il ne se produira pas d'à-coups dans le fonctionnement. La pompe doit donc, autant que possible, seulement refouler et non aspirer. La réalisation de cette exigence dépend pourtant principalement des rapports des pressions des corps de chauffe des bâtiments (voir plus loin). La pompe doit être installée dans la conduite de retour, c'est-à-dire avant le nouveau réchauffement de l'eau.

Quand la conduite de distribution d'un chauffage à eau chaude à longue distance a été établie selon les règles, elle ne nécessite presque jamais de réparation, et il ne paraît donc pas utile de prévoir une conduite de rechange. Malgré tout, il est bon que la conduite soit posée de telle façon qu'on puisse facilement se rendre compte du moindre changement survenu et y apporter le remède nécessaire.

La conduite de distribution peut être constituée, soit par une colonne de diamètre uniforme (système à un tuyau) raccordée dans chacun des bâtiments à la conduite de départ et à la conduite de retour, soit par une conduite double (système à deux tuyaux) dont l'une sert à la circulation de l'eau de départ et l'autre à la circulation de l'eau de retour. Le système à un tuyau, système fréquemment employé en Angleterre, doit probablement entraîner de plus grands frais d'installation et d'exploitation. C'est, à vrai dire, un point que seul le calcul peut élucider, mais en tout cas, le système à un tuyau présente, par rapport au système à deux tuyaux, le désavantage que si la conduite exige une réparation en un point quelconque, pendant tout le temps que dure cette réparation, la marche du chauffage doit être interrompue dans l'installation entière, tandis que cela ne se produira dans un système à deux tuyaux que si le point à réparer se trouve entre la chaudière et le premier bâtiment.

La meilleure façon de poser les conduites placées en terre est de les loger dans des caniveaux dans lesquels on peut pénétrer. Quand on prend des précautions suffisantes, on peut aussi très bien employer des caniveaux dans lesquels on ne peut pas pénétrer.

Il faut, par exemple, prévoir un nombre suffisant de gaines de visite permettant de surveiller l'étanchéité de la tuyauterie, et disposer la tuyauterie de telle façon qu'il soit possible de démonter des tronçons de la tuyauterie, de les retirer du caniveau et de les reposer sans difficulté.

Afin d'obtenir pour les caniveaux dans lesquels on ne peut pénétrer la disposition permettant d'assurer les réparations le plus simplement, le plus sûrement et dans le délai le plus court, il serait bon d'adopter une construction permettant de dégager la partie du caniveau dans laquelle il se serait produit une défectuosité dans la tuyauterie. Mais il faut alors que le caniveau soit constitué par une partie inférieure et une partie supérieure formant couvercle, afin que s'il se produisait une inétanchéité, il fût possible de creuser à l'endroit voulu et d'enlever la partie supérieure.

Naturellement, il faut que les caniveaux, tout particulièrement ceux dans lesquels on ne peut pénétrer, soient absolument à l'abri de toute invasion des eaux, car autrement, en été, les matériaux calorifuges qui sont souvent très hygroscopiques peuvent s'imprégner d'humidité et la durée des conduites s'en trouverait considérablement diminuée. Les conduites et enveloppes calorifuges seront en outre revêtues d'un enduit protecteur, de façon à avoir toutes garanties.

Comme les caniveaux dans lesquels on peut pénétrer ont une section plus grande que celle des caniveaux dans lesquels on ne peut pénétrer, on peut encore signaler le léger avantage qu'ont ces derniers, qu'à construction également bien faite les pertes de chaleur seront un peu moins fortes que dans les premiers.

En tout cas qu'il s'agisse de caniveaux dans lesquels on ne peut pénétrer ou de caniveaux dans lesquels on peut pénétrer, il faut prévoir un nombre suffisant de registres et de dispositifs d'évacuation. Aux endroits où la tuyauterie au lieu de suivre son trajet tout droit doit monter puis redescendre de suite, soit par exemple par suite de différences de niveau dans les plans et où par conséquent il peut se former des poches d'air nuisibles à la marche du système, il faut prévoir une évacuation d'air convenable. La possibilité de la formation de cette poche d'air aux points culminants des conduites dépend du diamètre, de la vitesse du courant d'eau, de la hauteur de laquelle l'air doit être entraîné vers en bas par la pression de l'eau et de conditions telles que la plus ou moins grande aspérité que présentent les parois des tuyaux, la grandeur des poches d'air, etc..., qui échappent à toute appréciation. Il s'ensuit qu'il ne serait guère possible de traiter analytiquement la question. C'est ici l'expérience qui doit fournir les données nécessaires. Au point

où en sont actuellement les données empiriques, on peut négliger de tenir compte des petites variations de niveau. Il semble aussi qu'il n'y a pas lieu de tenir compte de l'accumulation d'air dans les tuyaux présentant des diamètres de la dimension des colonnes de retour.

Il y a naturellement avantage, pour que l'installation et le fonctionnement soient économiques, à placer la station centrale au centre du système. Dans la plupart des cas des raisons d'esthétiques s'opposent à ce qu'il en soit ainsi. Mais il est possible dans une étendue plane d'installer au centre du système un réservoir de distribution que l'on raccordera à la station centrale. Une telle disposition a l'avantage de permettre de pouvoir créer de petits systèmes de distribution formant autant de circuits fermés qui fonctionnent tous toujours sous pression constante et par lesquels il est possible d'arriver au réglage général de la température de l'eau. La disposition présente encore aussi l'avantage que quand les divers bâtiments destinés à être desservis par une même installation sont construits successivement et à de longs intervalles, il est toujours possible, sans apporter aucun dérangement dans le fonctionnement de l'installation, de brancher des systèmes de distribution pour les bâtiments futurs, si l'on a déjà calculé le raccordement de la station centrale avec le réservoir de distribution pour la totalité des constructions.

Si l'eau est conduite directement de la station centrale aux bâtiments, il faut, si on prévoit des agrandissements, donner dès le début à tout le réseau de tuyauterie les dimensions que devraient avoir les tuyaux si tous les bâtiments étaient desservis de suite par l'installation. Il est important pour l'économie du fonctionnement que les bâtiments construits les premiers soient aussi près que possible de la station centrale et que les bâtiments que l'on prévoit devoir être les derniers construits soient à brancher aux tronçons extrêmes des conduites. On peut alors construire seulement plus tard ces tronçons si, après le dernier bâtiment actuellement construit, on installe des registres et des manomètres permettant de régler le raccordement de l'eau de départ et de l'eau de retour et à l'aide desquels on est à même d'obtenir aussi lors du fonctionnement peu important du commencement les mêmes rapports de pression dans les conduites de départ et de retour que ceux dont il faudra tenir compte quand l'installation fonctionnera à pleine charge.

On peut exécuter un chauffage à eau chaude à longue distance soit en utilisant l'action de la pompe uniquement pour forcer la circulation de l'eau dans les conduites à longue distance, soit

pour forcer aussi la circulation de l'eau dans les installations par groupes.

Dans le *premier* cas, les installations par groupes doivent fonctionner comme chauffages ordinaires à eau chaude sous l'action de la densité, le système de chauffage à longue distance proprement dit doit servir seulement au transport de la chaleur jusqu'aux différents bâtiments. Dans une exécution de ce genre, il faut d'abord faire en sorte qu'il y ait raccordement entre les conduites de départ et de retour de la tuyauterie de distribution dans les bâtiments et à cette tuyauterie de distribution brancher comme il convient les conduites de départ et de retour des installations par groupes. Ces dernières installations subissent l'action des rapports de pression occasionnés par l'installation totale, mais ces rapports de pression n'ont aucune part à la circulation de l'eau dans les bâtiments et leur seul effet est de maintenir la température de l'eau de la conduite de départ au degré nécessaire. Cette disposition présente, d'une part, le désavantage que les frais sont plus élevés que quand la pompe est également employée pour les installations par groupes; d'autre part, l'avantage que dans les installations à longue distance à parcours horizontal très long, on peut obtenir d'une façon parfaite le réglage général de la température de l'eau dans chaque bâtiment si la température de l'eau dans le tuyau de départ placé en terre est maintenue à une température plus élevée qu'il n'est nécessaire et si dans les bâtiments on donne à l'eau de départ la température nécessaire dans chaque cas en mélangeant dans des proportions convenables l'eau de retour à l'eau de départ. A vrai dire on enlève par là de nouveau à la station centrale le réglage général de la température de l'eau et on la transfère dans les divers bâtiments. Ce sont les conditions présentes qui décident dans chaque cas de l'emploi d'une disposition de ce genre.

Pour de grands bâtiments pour lesquels on doit prévoir un chauffage avec pompe, la disposition ci-dessus se recommande moins qu'une disposition dans laquelle on emploie la pression d'une pompe pour la circulation de l'eau, parce que dans cette disposition il est en tous cas nécessaire d'avoir un certain nombre de petites stations centrales disséminées dans le bâtiment, ce qui complique davantage l'entretien.

Dans le *deuxième* cas, soit donc dans le cas où l'action des pompes doit servir aussi au mouvement de l'eau dans les installations par groupes, on doit toujours maintenir à la même hauteur dans les divers bâtiments la différence de pression admise pour le mouvement de l'eau. Cette différence de pression ne doit par con-

séquent, quand on interrompt la circulation de l'eau dans un bâtiment, exercer aucune influence sur les conduites maîtresses de distribution. Par suite, il faut brancher les bâtiments de telle façon que les conduites de départ et de retour des installations se trouvant dans les bâtiments non seulement puissent être mises hors circuit des conduites maîtresses de distribution par les registres *ss* (voir fig. 53), mais aussi qu'elles soient pourvues avant ces registres d'une conduite de connexion *ab* qu'il est également possible de fermer. En installant en même temps des manomètres *mm* (manomètres différentiels) on peut alors annuler la différence de pression de marche entre l'eau de départ et l'eau de retour admise pour l'installation par groupes et quand un groupe est mis hors circuit de la circulation d'eau par l'ouverture conforme du dispositif de mise hors circuit de la conduite de connexion, rétablir dans cette conduite la même différence de pression.

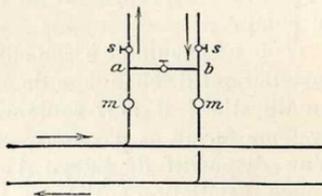


Fig. 53.

Comme tout chauffage par l'eau chaude, un chauffage avec pompe doit naturellement être raccordé à un vase d'expansion occupant le point culminant de l'installation. Pour ne pas sans nécessité augmenter pendant la marche dans toute l'installation la pression maxima amenée par les circonstances, on emploiera toujours un vase ouvert. A l'endroit où le vase est raccordé à l'installation, se trouve le point neutre de l'effet de la pompe, c'est-à-dire qu'elle ne doit refouler que jusque-là, à partir de là elle doit aspirer, si la pente ne lui amène pas l'eau. Le travail de la pompe est toujours le même, même là où le vase est raccordé, mais les rapports absolus de pression dans la conduite de distribution peuvent varier considérablement selon le raccordement du vase et les diamètres choisis pour les tuyaux. On peut dire en général que, comme la pompe doit autant que possible ne pas aspirer, il faut, à l'endroit où le vase d'expansion est raccordé à la conduite de distribution, que l'eau soit élevée si haut que la charge qui en résulte suffise pour faire aller l'eau de ce point à la pompe.

Comme on ne garantit pour les corps de chauffe (radiateurs) du commerce qu'une pression de 6 kilogrammes par centimètre carré, on doit par conséquent pour plus de sûreté ne pas soumettre les corps de chauffe à une pression de plus de 4 kilogrammes par centimètre carré. On se basera là-dessus en tenant compte de l'altitude des bâtiments, pour déterminer l'endroit où devra être le raccorde-

ment du vase d'expansion et quelles devront être les dimensions jusqu'à et depuis ce point.

D'après ce qui a été dit quand la conduite mise en terre est presque horizontale on devrait pour le travail des pompes prévoir, si la force de résistance des corps de chauffe à la pression le permet, le raccordement du vase d'expansion immédiatement avant la pompe.

Dans un chauffage à eau chaude à longue distance l'exécution des installations de chauffage de chacun des bâtiments n'éprouve aucune modification, il faut seulement faire de chaque installation un système fermé et par conséquent la munir en son point culminant d'un dispositif de purge d'air, si le vase d'expansion nécessaire pour l'installation entière ne forme justement pas son point culminant.

La distribution de l'eau dans les bâtiments et son transport aux corps de chauffe peut se faire, quand on emploie le système à deux tuyaux, soit par en haut soit par en bas; quand on emploie le système à un tuyau, règle générale seulement par en haut, car autrement les conduites de retour devraient être rassemblées au-dessus des corps de chauffe et allées en descendant, l'aspect extérieur des installations resterait donc le même que dans la distribution par en haut. On pourrait aussi à vrai dire brancher d'abord sur la conduite de distribution inférieure des conduites ascendantes formant des circuits fermés et allant jusqu'au-dessus des corps de chauffe, mais on créerait également par là un système à deux tuyaux et le coût de l'installation en deviendrait plus élevé. On ne peut pourtant passer sous silence que par suite des avantages du système à un tuyau il peut y avoir des cas où l'exécution du dernier système se recommande. L'examen des conditions d'exécution et le calcul décideront dans chaque cas particulier s'il faut employer pour les installations par groupes le système à deux tuyaux, ou le système à un tuyau d'aspect extérieur plus élégant.

On doit dire que d'une façon générale dans le chauffage avec pompe, l'action de la différence de température entre l'eau de départ et l'eau de retour influe moins sur le mouvement de l'eau que l'action de la pompe, par conséquent le chauffage est privé en partie du réglage automatique de la vitesse de l'eau et des précieuses qualités qui l'accompagnent. Il s'ensuit que dans le chauffage avec pompe, la distance séparant les différentes colonnes descendantes de la station centrale du bâtiment a sur le choix des dimensions des tuyaux une influence beaucoup plus grande que dans le chauffage par densité.

Quand il existe de grandes différences de pression dans les diverses colonnes descendantes, les taraudages de connexion des corps de chauffe arrivent dans le système à deux tuyaux à avoir un diamètre si petit qu'il peut arriver que le réglage de la vanne soit impossible dans les limites voulues. Il faut alors réduire la différence de pression par l'étranglement des colonnes descendantes, surtout de celles qui se trouvent le plus près de la station centrale du bâtiment.

Il convient dans le système à deux tuyaux, afin de disposer dans les conduites descendantes autant que possible d'une différence de température uniforme, de donner autant que possible une même longueur aux passages d'eau allant aux colonnes descendantes ou en venant.

Dans le système à un tuyau, les grandes différences de pression n'offrent que des avantages et l'on peut choisir à volonté les taraudages de connexion des corps de chauffe, ce que l'on peut considérer comme un grand avantage sur le système à deux tuyaux. Mais le système présente le désavantage que les corps de chauffe branchés en dérivation sur une même conduite dépendent les uns des autres pour ce qui concerne leur échauffement, par conséquent, quand on met des corps de chauffe hors circuit, il peut arriver, plus dans ce système que dans le système à deux tuyaux, que l'émission de chaleur des autres corps de chauffe augmente, si on a calculé l'installation avec des différences de température relativement grandes entre l'eau de départ et l'eau de retour. Pour les bâtiments dans lesquels le mode d'utilisation des locaux reste toujours le même, ce désavantage disparaît naturellement.

Il est par suite à recommander d'admettre dans le système à deux tuyaux une vitesse d'eau relativement faible, dans le système à un tuyau une vitesse relativement grande. Il est vrai qu'une grande vitesse de l'eau augmente considérablement le travail de la pompe, par conséquent aussi les frais d'exploitation, si l'on ne peut avoir à bon compte la force motrice (voir plus haut).

Quand le système de chauffage à longue distance a une grande étendue horizontale, il peut être utile, car alors il existe une grande différence de pression entre le commencement du tuyau de départ et la fin du tuyau de retour, d'employer le système à un tuyau dans les bâtiments les plus proches de la station centrale et le système à deux tuyaux dans les bâtiments les plus éloignés. Il est, en effet, quelque peu contradictoire de devoir produire de grandes différences de pression, et (comme dans le système à deux tuyaux) de ne pouvoir les utiliser dans les bâtiments près de la

station centrale et dans les colonnes descendantes, et de devoir proportionnellement les étrangler fortement.

La connexion des corps de chauffe peut se faire dans le système à deux tuyaux comme dans le système à un tuyau de la façon habituelle dans le chauffage à eau chaude ordinaire. Comme pourtant lors de la mise hors circuit des différents corps de chauffe la vitesse de l'eau dans le système varie davantage que dans le chauffage par densité, il se peut que l'uniformité de la distribution de la chaleur en soit influencée. A vrai dire, il paraît peu vraisemblable que ces influences deviennent gênantes. Mais pour s'opposer sûrement à leur action, on peut, dans le système à deux tuyaux, exécuter la connexion des corps de chauffe de telle façon que directement avant le corps de chauffe, le tuyau de départ soit raccordé au tuyau de retour au moyen d'un bout de tuyau intercalé entre ces deux tuyaux, et qu'au point de jonction avec le tuyau de départ il y ait un robinet à trois voies *a* (voir fig. 54) à l'endroit où se trouve ordinairement la vanne. Quand le corps de chauffe est mis hors circuit par le robinet, l'eau coule alors par le tuyau de raccord de sorte que quand il a été bien calculé, le mouvement de l'eau dans tout le système restera parfaitement uniforme.

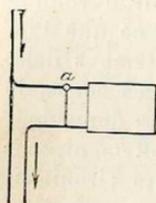


Fig. 54.

On voit assez, par ce qui précède, quel peut être le domaine d'application du chauffage à eau chaude à longue distance. L'exécution d'un chauffage à eau chaude à longue distance se recommandera toujours, non seulement pour des raisons d'ordre technique, mais aussi pour des raisons d'ordre économique, quand il s'agira de munir d'un chauffage à eau chaude alimenté par une chaudière située relativement loin, plusieurs bâtiments dans lesquels — à l'exception des bâtiments ménagers situés près de la chaufferie (cuisine, buanderie), etc., — on n'a pas besoin de vapeur, dans lesquels on doit ériger une station électrique spéciale pour lesdits bâtiments, et quand pour recevoir les conduites de distribution il ne peut être question de canaux assez grands pour qu'on y puisse pénétrer et où par contre il faut prévoir une installation à marche continue. Mais à part ces cas spéciaux, l'ingénieur exécutant devra prendre en considération le genre de bâtiments qu'il s'agit de chauffer et calculer le point de vue économique pour se rendre bien compte s'il faut proposer une installation de chauffage à eau chaude à longue distance ou à vapeur à longue distance.

Il est bon de signaler comme défectueux et très scabreux de

vouloir remplacer un chauffage à vapeur à longue distance par un chauffage à eau chaude à longue distance avec eau chauffée bien au delà du point d'ébullition, pour pouvoir en cas de besoin obtenir la vapeur nécessaire par réduction de pression ou par transmission indirecte de la chaleur. Abstraction faite du point de vue économique, de semblables installations exposent à de graves dangers par rupture des conduites ou autres défauts. Pour le cas où l'on exécuterait des installations de ce genre — ce qui à vrai dire s'est déjà produit, — il serait à souhaiter qu'elles fussent au moins soumises à l'approbation administrative et placées sous son contrôle et sa surveillance.

## II. — CONTENANCE D'EAU D'UN CHAUFFAGE A EAU CHAUDE

La plus ou moins grande quantité d'eau contenue dans un chauffage à eau chaude n'est pas sans influencer grandement le rendement de l'installation.

Comme l'eau possède une grande chaleur spécifique, il peut se produire que dans une *installation par groupes*, il soit à peu près impossible, quand on fait erreur dans le choix de la contenance d'eau, d'obtenir dans les pièces un réglage de la chaleur, rapide et proportionné aux besoins. Il faut par suite toujours admettre pour les corps de chauffe une contenance d'eau aussi minime que possible. Relativement à la contenance d'eau des radiateurs et de la tuyauterie d'une installation, voir B, I, 1, b.

Dans la chaudière de chauffage même il faut dans la plupart des cas faire en sorte que la réserve de chaleur soit très grande. On peut y arriver soit directement par une contenance d'eau convenable, qui rend insensible l'arrêt trop précipité du fonctionnement ou indirectement par un amoncellement de combustible qui se consume au fur et à mesure selon les besoins. Cette dernière disposition donne une marche continue.

Quand la chaudière est à marche interrompue, la mise en régime quotidienne dure environ trois heures, la température extérieure étant la plus basse, mais il ne faut compter que six heures environ de chauffage, quand la température extérieure est la température hivernale moyenne. La contenance d'eau de la chaudière et sa construction doivent donc être proportionnées à la durée d'utilisation des locaux. Si les locaux ne sont utilisés que dans la matinée ou s'ils sont éclairés au gaz, il faut admettre une quantité d'eau proportionnellement plus faible que quand les locaux sont utilisés tard dans la soirée et sont éclairés à l'électricité.

La contenance d'eau des chaudières d'un *chauffage à eau chaude à longue distance*, chaudières destinées à pourvoir de chaleur un certain nombre de bâtiments, doit être proportionnée au fonctionnement que doit avoir l'installation. Si l'on exige que pendant la nuit la température reste autant que possible uniforme dans les bâtiments, on peut atteindre ce but soit par la marche continue des chaudières, soit aussi, dans certaines limites seulement, par le fonctionnement continu de la pompe. Dans le premier cas, il n'est pas nécessaire que la contenance d'eau soit grande, dans le deuxième cas, par contre, il est à conseiller d'installer des chaudières à grand volume d'eau ou mieux encore des chaudières à contenance d'eau pas trop forte pour mise en train rapide et pour le service de nuit de grands accumulateurs de chaleur que l'on charge pendant le jour.

Dans les chauffages à eau chaude à longue distance il importe, par suite du long parcours que l'eau doit fournir jusqu'aux bâtiments, de pouvoir obtenir une augmentation ou une diminution particulièrement rapide de la température de l'eau. Mais comme on ne peut y arriver avec des chaudières à grand volume d'eau chauffées directement, il est bon soit de prendre de la vapeur comme auxiliaire, soit — ce qui paraît encore plus recommandable — de prévoir des dispositifs permettant d'amener à l'eau de retour plus ou moins d'eau de la chaudière. Le service des chaudières se trouve ainsi considérablement déchargé car il n'est plus d'aussi grande importance d'obtenir ou de maintenir l'eau de la chaudière à une certaine température, du moment que cette température reste toujours supérieure à celle de l'eau de retour de l'installation à longue distance.

### III. — CHAUDIÈRES D'UN CHAUFFAGE A EAU CHAUDE

(Voir planches 11, 12, 33 et 34.)

Sous la dénomination Chaudières de Chauffage on doit entendre tous les corps de chauffe absorbant la chaleur, ne se composant pas seulement d'un unique tuyau enroulé en spirale dont l'emploi restreint a déjà été signalé (voir p. 244) et recevant leur chaleur directement du combustible.

Pour la construction des chaudières on emploie principalement la fonte de fer et la tôle.

Dans les *chaudières en fonte* l'idée dominante est ordinairement de constituer les chaudières par l'assemblage d'éléments interchangeables, c'est-à-dire de construire ce qu'on appelle des « chau-

dières sectionnées ». Quand la construction est bien comprise, tous les éléments doivent se dilater exactement dans les mêmes conditions, car autrement il y aurait danger de rupture. Les éléments doivent également pouvoir être facilement remplacés. La plupart des chaudières en fonte que l'on trouve dans le commerce ont l'avantage de ne nécessiter aucune enveloppe de maçonnerie et d'être d'un faible encombrement. Comme ces chaudières ont donné de bons résultats au point de vue de la combustion et de la résistance, on les emploie de préférence ces derniers temps.

Les chaudières en fonte que l'on construit actuellement ont une surface de chauffe allant jusqu'à 20 mètres carrés environ. Dans des installations très importantes, pour lesquelles il serait par suite nécessaire d'avoir un grand nombre de chaudières en fonte, on devra donc donner la préférence aux chaudières en tôle.

Dans les *chaudières en tôle* les points de recouvrement ne doivent jamais être exposés directement au feu, surtout aux flammes directes, par suite on doit préférer les chaudières soudées aux chaudières rivées.

Dans toutes les chaudières il faut veiller à ce que l'eau refroidie arrive au point le plus bas et que l'eau réchauffée s'échappe au point le plus haut. C'est également au point le plus bas que doit se faire la vidange de la chaudière et de l'installation afin que toutes les impuretés puissent s'écouler avec l'eau quand on met la chaudière ou l'installation en vidange. Quand on néglige de se conformer à cette prescription, les impuretés se déposent au fond de la chaudière et peuvent être cause que la chaudière brûle et que pendant la marche de l'installation il se produise des bruits désagréables. — Dans les grandes chaudières en tôle, il faut prévoir des trous d'homme.

#### 4. — Classification des chaudières.

On distingue selon leur mode de fonctionnement :

a. CHAUDIÈRES POUR RAPIDE MISE EN TRAIN. — Ces sortes de chaudières supposent une faible contenance d'eau ; c'est à ce type qu'appartiennent la plupart des chaudières tubulaires.

Ces chaudières ne conviennent qu'aux chauffages par groupes et ne se recommandent que quand on exige un réchauffement rapide des locaux et que le refroidissement peut sans inconvénient se faire rapidement quand on arrête la marche de l'installation, donc principalement pour les locaux qu'on ne chauffe que quelques heures par jour. L'utilisation du feu est fréquemment défectueuse

dans ces chaudières par suite du trop grand écartement des tuyaux, des trajets trop courts des gaz de combustion et par suite de l'amoncellement des cendres sur les tuyaux.

Unies à des chaudières à grand volume d'eau pour constituer ce qu'on appelle des « chaudières combinées », elles permettent d'avoir une grande surface de chauffe sous un encombrement relativement faible et de réduire au strict minimum la contenance d'eau. Sous cette forme elles conviennent aux grandes installations pourvues d'une chaufferie spéciale, donc principalement dans les *chauffages à eau chaude à longue distance*.

*b. CHAUDIÈRES POUR LENTE MISE EN TRAIN.* — A cette catégorie, appartiennent en première ligne les chaudières cylindriques simples, en deuxième ligne les chaudières ignitubulaires ou chaudières de Cornouailles.

On n'emploie plus guère les chaudières cylindriques simples, car leur contenance d'eau est très grande par rapport à leur surface de chauffe, ce qui fait qu'elles ne permettent qu'une mise en train très lente; d'autre part leur encombrement est très grand. On ne peut donc guère les employer pour de grandes installations. Leur seul avantage était de continuer à chauffer très longtemps après le dernier chargement du foyer; mais le fonctionnement à marche continue remplit ce but d'une façon beaucoup plus parfaite.

Les chaudières ignitubulaires se recommandent presque toujours pour les grandes installations dans lesquelles les chaudières sectionnées en fonte paraissent ne pas pouvoir suffire; on doit admettre pour ces chaudières une contenance d'eau très grande, elles utilisent bien le feu. Comme les chaudières sont entièrement remplies d'eau, on place ordinairement les tubes de fumée au centre à travers la chaudière. On doit donner aux chaudières une légère pente vers l'arrière. Comme les chaudières doivent avoir un revêtement, on peut pour le calcul de la surface de chauffe, quand les tubes de fumée ne sont pas trop larges, considérer comme surface inactive, la surface de fond et comme surface de chauffe utile tout le reste de la surface. Quand la surface de fond est restreinte, il est souvent avantageux, comme indiqué au § *a*. de combiner ces chaudières avec des chaudières tubulaires (*Chauffage à eau chaude à longue distance*).

*c. CHAUDIÈRES POUR RAPIDE MISE EN TRAIN ET LENT REFROIDISSEMENT.* — Pour ces chaudières, il faudrait une très grande surface de chauffe et une grande contenance d'eau, deux choses qu'au point de vue économique il ne faut pas réunir. Quand on demande une construction de ce genre il est bon d'employer des chaudières à

très faible contenance d'eau combinées avec des chaudières sans foyer direct et constituées seulement comme une sorte de réservoir d'eau destiné à l'accumulation de la chaleur.

Les chaudières doivent être connectées de telle façon que l'échauffement du système de chauffage ait lieu d'abord avec la première, mais que l'échauffement de la contenance d'eau ait lieu avec la deuxième, ce qu'il est facile d'obtenir au moyen d'un dispositif d'arrêt (clapet d'étranglement, registre, etc.). Quand la chaudière est éteinte, les accumulateurs de chaleur sont alors des sources de chaleur utilisables à volonté pour le système de chauffage. Les accumulateurs de chaleur ont surtout une très grande importance dans les chauffages à eau chaude à longue distance, en partie pour pouvoir interrompre la marche de la chaudière pendant la nuit, sans pour cela cesser complètement l'afflux de chaleur dans les bâtiments, en partie pour rendre utilisable la vapeur d'échappement des machines (voir aussi § I, c).

*d. CHAUDIÈRES POUR MARCHÉ CONTINUE.* — Ces chaudières sont, quand elles sont destinées à des installations par groupes, pourvues d'un foyer à magasin. Ces chaudières doivent fonctionner la nuit sans aucun entretien, par conséquent — ce qu'on néglige très souvent dans la pratique — la grandeur du magasin de combustible doit être prévue en conséquence.

Les chaudières sectionnées en fonte sont presque toujours, par leur construction même, propres à la marche continue; les chaudières en tôle par contre doivent être munies d'un magasin de chargement spécial pour le combustible.

Dans les installations de grande étendue (chauffage à eau chaude à longue distance) il peut se faire, par suite de la grandeur des chaudières, qu'il soit nécessaire de charger les chaudières pendant la nuit, s'il faut maintenir dans les locaux une température toujours uniforme. Mais dans la plupart des cas on doit permettre un abaissement de température de quelques degrés pendant la nuit et il ne deviendra alors nécessaire que quand la température extérieure sera très basse d'entretenir la chaudière pendant la nuit.

*e. CHAUDIÈRES POUR BUTS SPÉCIAUX.* — Quand les chaudières n'ont à supporter qu'une faible pression et doivent avoir de grandes surfaces de chauffe sous un faible encombrement (serres), ou doivent être utilisées pour de petites installations, on emploie parfois dans la pratique des chaudières en fonte ou en tôle soudée de forme spéciale et de noms les plus divers (chaudière en tombeau, chaudière à dôme, etc.).

On construit aussi pour petites installations des chaudières-cui-

sinières (corps de chaudière installé dans la cuisinière) évitant un foyer spécial. Quand on emploie ce système on ne doit pas perdre de vue que le chauffage et la cuisson des aliments exigeront rarement simultanément la même intensité du foyer. Il peut donc se produire que dans un chauffage d'étage ou dans un chauffage d'une petite villa cette combinaison du chauffage et du fourneau de cuisine donne dans un cas complète satisfaction et que dans un autre cas ce soit une erreur complète.

## 2. — Accessoires des chaudières.

(Voir planche 13.)

Dans les installations par groupes, quand la chaudière n'est pas trop grande il convient de pouvoir régler le tirage non seulement au moyen d'un registre, mais aussi en agissant sur la porte du cendrier. Il est recommandé par suite de construire des portes d'allumage et des portes de cendrier fermant hermétiquement et d'adapter à cette dernière des dispositifs (trapillon, porte d'admission d'air) permettant de faire entrer l'air à volonté. Pour empêcher la sortie des gaz de combustion en cas de fermeture prématurée du registre et éviter les accidents qui pourraient en résulter, on doit prévoir dans tout registre un forage suffisamment grand. Les chaudières à marche continue doivent être pourvues de régulateurs automatiques de combustion laissant parvenir au combustible une quantité d'air de combustion plus ou moins grande selon la position qu'ils prendront d'après la température de l'eau proportionnellement à la température extérieure, c'est-à-dire donc proportionnellement aux besoins de chaleur. Pour mesurer la température de l'eau on emploie un thermomètre dont la boule de mercure se trouve dans une mince capsule en cuivre ou en fer remplie d'huile ou mieux de mercure et plongeant dans l'eau. Quand on emploie le mercure, il faut, pour empêcher qu'il s'évapore, en recouvrir la surface d'une couche d'huile.

L'alimentation des chaudières se fait, quand on dispose d'une conduite d'eau de ville, par cette conduite d'eau ; c'est la meilleure méthode. Quand on ne dispose d'aucune conduite d'eau on alimente par une pompe à main. Dans le cas de l'alimentation par la conduite d'eau il est préférable de faire alimenter à la main par le chauffeur plutôt que de faire alimenter automatiquement par un dispositif à flotteur installé sur le toit, car la durée de chacune des alimentations permet de reconnaître rapidement la présence d'inétanchéités dans l'installation. Il est recommandable en outre de ne pas raccorder, d'une façon permanente, la conduite d'alimentation à l'installa-

tion de chauffage mais de la raccorder chaque fois au moyen d'un tuyau mobile, c'est le meilleur moyen de pouvoir surveiller l'étanchéité du dispositif de fermeture. Dans certaines villes il est même défendu de raccorder d'une façon permanente la conduite d'eau à l'installation de chauffage.

Un tuyau avertisseur, branché sur le vase d'expansion à hauteur du niveau normal de l'eau (voir vase d'expansion) et allant à la chaufferie, indique au chauffeur quand il est nécessaire d'ajouter de l'eau au système. Ce remplissage ne doit se faire que quand l'installation est froide. Le tuyau avertisseur doit déboucher au-dessus d'un récipient d'eau et doit être muni d'un robinet que l'on tient fermé pendant le fonctionnement du chauffage afin que la portion d'eau dont s'est augmenté le volume par suite de l'échauffement ne s'écoule pas. Lors du remplissage le chauffeur doit d'abord laisser s'écouler l'eau qui se trouve dans le tuyau avertisseur puis ajouter de l'eau au système jusqu'à ce que l'eau s'écoule de nouveau du tuyau avertisseur. A la durée du remplissage, nécessaire au maximum tous les quinze jours, le chauffeur peut s'apercevoir de l'existence de fuites qui autrement passeraient inaperçues. Il vaut mieux construire ce tuyau avertisseur en cuivre ou en plomb et éviter le fer qui pourrait rouiller. Au lieu d'un tuyau avertisseur on peut, pour indiquer la hauteur d'eau dans le vase d'expansion, employer un manomètre très sensible installé dans la chaufferie; le tuyau avertisseur est préférable. Quand le vase d'expansion se trouve à une grande distance horizontale de la chaufferie il convient d'employer des dispositifs pouvant électriquement faire connaître au chauffeur dans sa chaufferie le niveau de l'eau dans le vase d'expansion.

Afin de pouvoir vider une installation il faut la munir autant que possible en son point le plus bas d'une tubulure de décharge susceptible d'être ouverte ou fermée à volonté et que l'on raccordera à son tour par un tuyau mobile à une conduite de décharge.

Quand un système comprend plusieurs chaudières, il faut naturellement les accoupler. Il est bon d'installer sur la conduite de retour de chacune des chaudières un registre permettant de mettre la chaudière hors circuit. Quand on place aussi des registres sur la conduite de départ, les chaudières doivent être raccordées à un tuyau spécial allant au vase d'expansion ou munies d'un autre dispositif de sûreté empêchant que la chaudière se fende si par inadvertance on allumait le feu en laissant les registres fermés.

Quand on emploie le chauffage à moyenne pression il est encore

nécessaire de disposer un manomètre, autant que possible avec dispositif d'alarme fonctionnant automatiquement quand la pression devient supérieure à la pression admissible.

Naturellement ce qui précède s'applique également aux chaudières des installations très étendues (chauffage à eau chaude à longue distance).

#### IV. — CORPS DE CHAUFFE D'UN CHAUFFAGE A EAU CHAUDE

(Voir planches 14, 15 et 16.)

##### 1. — Forme des corps de chauffe.

###### A. — CORPS DE CHAUFFE DANS LES PIÈCES A CHAUFFER

a) *Corps de chauffe en fonte.* — Dans les serres on emploie des conduites lisses ou à ailettes transversales et ces conduites répondent aux besoins. Dans les autres locaux on emploie des corps de chauffe soit d'une seule pièce en forme de plaque, de coffre ou de colonne avec ou sans ailettes verticales, soit constitués par différentes parties assemblées en rangée horizontale ou verticale sous forme d'éléments lisses, étroits en genre d'ailettes (corps de chauffe sectionnés, radiateurs) ou de courts tuyaux (éléments) à nervures (tuyaux à ailettes). Il faut toujours préférer l'accouplement dans le sens horizontal à l'accouplement dans le sens vertical parce que l'émission de chaleur est meilleure. Les corps de chauffe simples ou constitués par des éléments assemblés ne forment fréquemment qu'une cavité unique dans laquelle l'eau peut se mouvoir dans l'un ou l'autre sens à volonté. Il faut toujours donner la préférence aux corps de chauffe dans lesquels la circulation de l'eau suit un cours forcé soit par une cloison appropriée au but à atteindre, soit par des formes et connexions spéciales des différents éléments. Il faut aussi ranger dans cette dernière catégorie de corps de chauffe les radiateurs d'un emploi prépondérant actuellement. Les radiateurs se distinguent avantageusement des autres formes de corps de chauffe par la grande superficie verticale et la faible superficie horizontale de leur surface de chauffe. Dans les radiateurs, la distribution supérieure horizontale de l'eau devrait être toujours constituée par un tuyau lisse dont la limite supérieure ne serait pas plus basse que celle des différents éléments connectés l'un avec l'autre, afin de présenter toute garantie contre la formation de poches d'air qui nuisent très facilement à l'entrée de l'eau.

Dans les corps de chauffe pourvus de chicanes destinées à donner à



l'eau une direction déterminée — catégorie dans laquelle il faut donc aussi ranger les radiateurs — et dans les corps de chauffe sans chicanes quand ils ne sont pas sensiblement beaucoup plus larges que haut, l'entrée et la sortie de l'eau peuvent se faire du même côté. Dans les autres cas, il vaut mieux avoir l'entrée d'un côté et la sortie de l'autre.

Pour donner aux corps de chauffe en fonte un aspect plus décoratif on les recouvre fréquemment d'une enveloppe (voir p. 197); seuls les corps de chauffe à plaque et les radiateurs peuvent presque toujours être installés sans enveloppes. Quand les corps de chauffe présentent une surface extérieure ornée de dessins en relief et venus de fonte, — ornements que l'hygiène condamne car ils deviennent facilement des dépôts de poussière et ce point de vue devrait suffire à les faire rejeter — on leur donne aussi dans le commerce le nom de « Radiateurs ornés », quoiqu'il soit difficile de pouvoir les regarder comme un véritable ornement dans une pièce.

3) *Corps de chauffe en tôle.* — Il existe sous forme de tuyaux lisses horizontaux, des corps de chauffe parfaits tant au point de vue de l'hygiène qu'au point de vue du rendement calorifique. On les emploie très peu dans la pratique par suite de la difficulté de les loger dans les pièces et on les installe surtout dans les grandes salles d'hôpital. Ils ne sont pas à recommander pour les serres à cause de l'air humide de ces locaux. Les tuyaux en tôle constituent des corps de chauffe convenant parfaitement aux cabinets d'aisance, si l'on peut les installer de façon qu'ils traversent verticalement le local (tuyaux verticaux), car alors il règne sous le plafond une température sensiblement supérieure à celle existant au-dessus du plancher et cette température plus élevée favorise la ventilation du local.

Les autres corps de chauffe en tôle employés actuellement sont des corps de chauffe en forme de plaque et ceux qu'on appelle « poêles cylindriques » et « registres de tuyaux ». Dans la construction de tous les corps de chauffe, il faut exclure absolument toute soudure molle et l'emploi de caoutchouc, carton, etc., pour obtenir l'étanchéité des différentes parties des corps de chauffe. Tous les corps de chauffe doivent toujours être livrés recouverts d'une première couche de peinture (couche d'apprêt).

Les corps de chauffe à plaque, par suite de leur surface de chauffe presque exclusivement verticale et de leur faible volume d'eau, doivent être considérés comme de très bons corps de chauffe; les poêles cylindriques, affectant la forme d'un simple cylindre avec embase et chapiteau, contiennent beaucoup d'eau et ne sont par suite que rarement recommandables. On diminue le volume d'eau

et on augmente un peu la surface de chauffe en y logeant des tuyaux verticaux autour desquels l'eau circule et à travers lesquels passe l'air du local. Toutefois, même dans cette construction il est difficile d'arriver à la faible quantité d'eau que l'on désire avoir. Les poêles se composant seulement de deux cylindres concentriques entre lesquels coule l'eau sont à recommander. Cette construction est à vrai dire la plus chère, mais aussi celle dans laquelle la grandeur du volume d'eau reste livrée à la détermination du constructeur.

Les registres de tuyaux consistent en un certain nombre de tuyaux parallèles et raccordés aux deux extrémités par des coffres — presque toujours en fonte — dans lesquels l'eau est distribuée ou emmagasinée. Ces corps de chauffe ont fréquemment encore trop d'eau ; pour réduire cette eau à volonté et augmenter quelque peu la surface de chauffe, on fait passer à travers les tuyaux et les deux coffres d'extrémité des tuyaux encore plus faibles, de façon que l'air puisse circuler à travers ces tuyaux. Dans la pratique, on désigne des corps de chauffe de ce genre sous le nom de « registres à doubles tuyaux ». La forme des coffres est indifférente et peut être conforme au désir de chacun. Quand il existe plusieurs rangées de tuyaux placées les unes derrière les autres, il faut s'arranger de façon que l'air du local puisse venir en contact avec tous les tuyaux. Les registres de tuyaux ont soit une embase et un chapeau, soit une enveloppe grillagée.

Les corps de chauffe doivent naturellement supporter la pression de l'eau dans l'installation et offrir à ce point de vue une garantie suffisante, c'est un point qu'il ne faut pas oublier quand on choisit les corps de chauffe, surtout dans les chauffages à eau chaude à longue distance. La pression maxima garantie dans les radiateurs est ordinairement de 6 kilogrammes par centimètre carré. (Voir aussi Exemple 4 du Chauffage à eau chaude.)

#### B. — CORPS DE CHAUFFE DANS LES CHAMBRES DE CHAUFFE

La plupart des corps de chauffe cités au § a. peuvent aussi être employés pour le chauffage à air chaud par l'eau chaude ou par le réchauffement central de l'air de ventilation (aussi pour le rafraîchissement quand on protège suffisamment les surfaces extérieures contre la rouille). Parmi les corps de chauffe en fonte, ce sont les radiateurs qui se recommandent ici principalement ; les corps à ailettes sont moins recommandables car, par suite de la nécessité d'assembler un grand nombre d'éléments, ces sortes de corps de chauffe sont difficiles à nettoyer. Parmi les corps de chauffe en tôle, on emploie de préférence les tuyaux lisses enroulés en spirale.

En général, le réchauffement central de l'air se fait actuellement plus fréquemment par la vapeur que par l'eau, pourtant le réchauffement par l'eau s'emploiera bientôt davantage, par suite de la vogue que possède depuis peu le chauffage à eau chaude à longue distance. Pour maintenir les corps de chauffe aussi petits que possible, il est avantageux de faire passer l'air très rapidement devant ces corps de chauffe, donc d'employer la *pulsion*. Il est alors recommandé de donner à la conduite d'air une section aussi petite que possible et aussi de faire tourbillonner l'air afin que toutes les particules d'air viennent en contact avec la surface de chauffe. Comme corps de chauffe, on peut aussi employer des radiateurs, la disposition indiquée planche 16, figure 1 est la meilleure, ou une tuyauterie lisse, à peu près dans la forme représentée figures 2 et 3. Très avantageuse aussi est la disposition suivante recommandée pour la première fois par l'auteur (autant qu'il peut savoir), pour des installations de chauffage et qui a déjà donné de bons résultats, consistant en une simple chaudière traversée par des tuyaux à travers lesquels on fait passer l'air. La figure 4 représente la disposition que l'auteur a employée dans le « Laboratoire d'essais pour installations de chauffage et de ventilation » qu'il dirige à l'Ecole Technique Supérieure.

Si dans les constructions citées en dernier lieu, on maintient toujours l'eau de la chaudière à la température maxima, il n'est alors nécessaire que d'installer un dispositif pour mélanger l'air réchauffé avec l'air non réchauffé pour obtenir la température d'air demandée. Le service est réduit par là au strict minimum. Des essais comparatifs entre les différentes dispositions sont actuellement en cours au « Laboratoire d'essais ». Les résultats de ces essais seront publiés en leur temps.

Si la température de l'eau doit toujours être maintenue à son maximum, il faut alors, si la chaudière dessert simultanément un système ordinaire de chauffage direct par l'eau chaude, prévoir pour ce dernier un dispositif permettant d'ajouter à l'eau de départ autant d'eau de retour qu'il est nécessaire pour maintenir à tous moments dans la colonne montante la température au degré correspondant aux besoins de chaleur.

La figure 5, planche 16, représente une disposition imaginée par Junkers et convenant à vrai dire, pour l'eau seulement à refroidir l'air et pour la vapeur à réchauffer l'air. On a employé pour la construction de la surface de rafraîchissement ou de chauffe du cuivre étamé. La grande surface utile que possède l'appareil sous un faible encombrement donne toute garantie de pouvoir employer la disposition avec avantage, non seulement centralement, mais aussi pour des pièces séparées, par exemple pour des locaux de

travail qui doivent être chauffés et de temps à autre ou continuellement ventilés, le cas échéant aussi en été rafraîchis.

## 2. — Réglage de l'émission de chaleur des corps de chauffe.

(Voir planches 17 et 18).

L'émission de chaleur que doit fournir pour chaque cas le corps de chauffe nécessite une température moyenne déterminée et une quantité déterminée d'eau traversant le corps de chauffe. Comme les pièces d'un bâtiment sont soumises dans une certaine mesure aux influences atmosphériques (soleil, vent), mais que dans tous les corps de chauffe d'une installation l'eau entre avec à peu près la même température, cette température doit être déterminée d'après les besoins de chaleur des pièces les plus défavorablement situées, donc des pièces placées à l'ombre ou exposées au vent, et il faut amener proportionnellement moins d'eau aux corps de chauffe des pièces favorablement situées.

*La température de l'eau peut être réglée centralement pour tout le système* par le réglage de la marche du foyer et on peut, dans de certaines limites, régler automatiquement d'une manière satisfaisante la marche du foyer en munissant la chaudière d'un régulateur de combustion. L'installation de ce régulateur se recommande toujours.

*L'afflux d'eau aux corps de chauffe peut être également réglé centralement*, si pour l'eau de retour des pièces, exposées toujours aux mêmes conditions atmosphériques, on prévoit des conduites collectrices spéciales et si on munit chacune de ces conduites collectrices avant leur jonction en vue du raccordement à la chaudière, d'un dispositif de réglage (vanne, robinet d'étranglement, registre). Il faut par suite la plupart du temps installer des conduites collectrices séparées pour les pièces dont l'exposition est différente, mais il peut aussi arriver que par exemple, dans un bâtiment encastré dans d'autres bâtiments, protégé contre le vent, situé dans une rue relativement étroite et dont la façade est exposée au sud, seules les pièces supérieures soient exposées aux rayons directs du soleil, par conséquent aussi seules les conduites d'eau de retour des corps de chauffe placés dans ces pièces devront avoir une conduite collectrice spéciale réglable. Il peut aussi paraître bon d'avoir une semblable conduite collectrice, sans parler de son avantage de contrebalancer les influences atmosphériques, quand, dans un bâtiment, un grand nombre de pièces ne sont pas utilisées tous les jours, mais doivent toujours pouvoir l'être en même temps que les autres (salons de réception, salles



de réunion, etc.), car on peut alors de la chaufferie régler leur température sans nuire aux conditions de température dans les autres pièces.

Comme le réglage central d'ensemble doit être basé sur les besoins de chaleur des pièces utilisées, il faut que le chauffeur connaisse ces besoins de chaleur. Pour éviter que le chauffeur soit dans ce but obligé de venir dans les pièces, il est recommandé, même pour de petits bâtiments, d'installer des thermomètres à distance, indiquant dans la chaufferie la température de ces pièces. En supposant, qu'en marche régulière la température normale doive régner dans toutes les pièces, il faut pour déterminer la température maxima que l'eau doit avoir dans chaque cas, — température sur laquelle le chauffeur doit se baser pour disposer le régulateur de combustion — munir d'un thermomètre à longue distance seulement la pièce du bâtiment dont le chauffage subit le plus les influences atmosphériques ; par contre, pour le réglage de l'afflux d'eau aux corps de chauffe, chaque pièce d'un groupe de corps de chauffe doit être munie d'une conduite de retour séparée.

Si on renonce à régler centralement l'afflux d'eau aux corps de chauffe en séparant les conduites de retour comme dit ci-dessus, on doit régler le système et obtenir à *volonté* une température plus basse que la température normale des pièces en munissant les corps de chauffe de vanne, registre ou robinet : le réglage est donc local. Pour chaque corps de chauffe il ne faut qu'un dispositif de réglage installé pour le mieux à *la sortie* de l'eau ; si on installe aussi un dispositif de réglage à *l'arrivée*, ce dispositif ne sert qu'à un réglage unique tel que, quand les dispositifs inférieurs de tous les corps de chauffe dans toutes les pièces sont entièrement ouverts, on obtient exactement la température prescrite. On n'obtient plus tard à *volonté* une température plus basse que par la manœuvre du dispositif inférieur. Quand on n'installe qu'un dispositif de réglage supérieur, il peut arriver que quand on ferme ce dispositif le chauffage du corps de chauffe mis hors circuit se fasse par en bas.

Ces derniers temps se sont implantés aussi en Europe des « *Régulateurs de température* » introduits depuis déjà longtemps avec succès en Amérique. Ces régulateurs sont basés sur le réglage *automatique* de l'afflux d'eau au corps de chauffe de chacune des pièces, proportionnellement à la température désirée dans cette pièce. C'est dommage que le coût de ces régulateurs soit encore souvent un obstacle à son adoption, car quand ils sont bien construits, ils donnent toute sécurité que la température dans les pièces ne montera ou ne baissera pas au delà d'une limite fixée. L'emploi

de ces régulateurs permet de supprimer le réglage général de l'afflux d'eau aux corps de chauffe obtenu par l'installation de conduites collectrices séparées et par conséquent aussi l'installation de thermomètres à longue distance, nécessités par ce réglage. Mais actuellement on ne peut encore supprimer les thermomètres à longue distance destinés à permettre d'arriver à la température maxima de l'eau requise dans chaque cas et que l'on doit obtenir par la marche du foyer. Le fonctionnement des régulateurs automatiques de température ne peut donner satisfaction que si la température de l'eau se rapproche autant que possible des besoins de chaleur dans chaque cas, car si l'eau est amenée aux corps de chauffe à une température trop élevée, il peut se produire, bien que l'on ait fermé à temps les robinets, un surchauffement désagréable des pièces ayant pour cause que les corps de chauffe continuent à être chauffés par l'eau qu'ils contiennent.

Dans les régulateurs basés sur la dilatation d'un liquide, il faut naturellement prendre garde, quand on pose la conduite entre le récepteur de chaleur et le robinet du corps de chauffe, que cette conduite qui n'a que quelques millimètres de diamètre, ne puisse être atteinte par des courants d'air froid, venant par exemple des fenêtres fermant mal, des conduits d'air froid, etc. Si cette conduite gelaît, le régulateur serait dans l'impossibilité de fonctionner et si le robinet se trouvait justement fermé à ce moment, le gel de la conduite pourrait dans des conditions très défavorables avoir pour conséquence le gel du corps de chauffe en dépit du fonctionnement du corps de chauffe.

Il faudrait saluer comme un progrès remarquable de la technique du chauffage si l'on arrivait à exécuter des constructions parfaitement en état de régler *automatiquement la température maxima que doit avoir l'eau dans chaque cas*, d'après la température de la pièce dont l'échauffement est le plus influencé par les conditions atmosphériques ; constructions dont l'action pourrait amener aux corps de chauffe de l'eau chauffée à une température seulement supérieure de quelques degrés à celle correspondant aux besoins de chaleur.

Faute de régulateurs automatiques de température pour l'afflux d'eau aux corps de chauffe, il est recommandé pour les pièces exposées au froid surtout quand les corps de chauffe sont placés dans les allèges des fenêtres, de construire, quand on veut éviter le gel des appareils (voir aussi p. 248), les dispositifs de réglage de telle façon, que même quand ils sont extérieurement complètement fermés il y ait toujours un minime écoulement d'eau. Cette disposition n'écarte pas absolument tout danger de gel, car par suite de

sa faible vitesse d'écoulement dans le corps de chauffe, l'eau peut se refroidir par trop et quand les conditions sont très défavorables elle peut geler au point d'écoulement. Dans les cas où l'on doit compter avec de telles conditions défavorables, il est recommandé de maintenir chaude la partie inférieure du corps de chauffe par un tuyau partant de la conduite de départ et ne pouvant pas être mis hors circuit.

#### V. — TUYAUTERIE D'UN CHAUFFAGE A EAU CHAUDE

On a déjà traité, page 243 et suivantes, des dispositions à donner à la conduite amenant l'eau au corps de chauffe et la reprenant à la sortie du corps de chauffe.

Pour la construction de la tuyauterie, on emploie le cuivre, la fonte ou le fer forgé. Par suite de son prix très élevé, le cuivre n'est employé que dans des cas isolés ; c'est pourtant le métal qui permet la construction la plus propre et la plus appropriée au but à atteindre. Le raccord étanche des tuyaux se fait au moyen de brides.

Les tuyaux en fonte sont rarement employés parce qu'ils sont lourds, se cassent facilement et qu'il faut travailler avec des longueurs déterminées. La fonte est particulièrement propre à la construction des hauts tuyaux verticaux installés sur une plaque de fondation. On ne doit faire les raccords étanches qu'avec des brides et non avec des manchons.

Les tuyaux les plus employés sont les tuyaux en fer forgé ; on les courbe au feu, on les coupe et on les adapte aux besoins de la construction. On emploie ordinairement des tuyaux de gaz à forte paroi (tuyaux à manchon) diamètre allant jusqu'à environ 65 millimètres, des tuyaux soudés (tuyaux brevetés) diamètre intérieur environ 57 millimètres.

Les premiers sont raccordés étanches au moyen de manchons filetés droite et gauche ou seulement droite. Pour les coudes, les branchements, etc., des tuyaux en fer forgé, il existe dans le commerce des raccords tout préparés. Les tuyaux et raccords sont vendus dans le commerce d'après le diamètre *intérieur*.

Les tuyaux soudés brevetés sont raccordés étanches au moyen de brides, soit avec soudure préalable des lèvres au moyen d'une soudure dure ou mieux encore par emboîtement des tuyaux dans les brides. La matière plastique employée pour les joints d'étanchéité est ordinairement le caoutchouc avec garniture de chanvre ou de fils métalliques. Afin que le caoutchouc ne pénètre pas dans le

tuyau lors de la pose et ne diminue la section du tuyau, il est recommandé de mettre dans le tuyau au point de jonction une mince douille en tôle. Le cuivre est le métal convenant le mieux aux branchements, coudés, etc.; on emploie pourtant aussi fréquemment la fonte de fer.

Ces derniers temps on a fréquemment employé avec succès la soudure dans la construction des connexions et des branchements.

Les tuyaux sont vendus dans le commerce d'après le diamètre extérieur; en établissant le devis il faut avoir soin de toujours donner pour tous les tuyaux le diamètre intérieur et le diamètre extérieur.

Pour assurer la bonne exécution des installations, l'Union des constructeurs allemands de chauffage central (Verband deutscher Centralheizungs-Industrieller) s'est entendue avec un certain nombre d'usines métallurgiques pour mettre sur le marché des tuyaux dénommés « Verbandsröhren » (tuyaux de l'union), c'est-à-dire des tuyaux dont les épaisseurs de paroi sont prescrites, qui avant l'expédition sont éprouvés à une pression atmosphérique (tuyaux à manchon à 15 atmosphères, tuyaux brevetés à 25 atmosphères) et pour lesquels les usines garantissent que, traités comme il convient, ils peuvent supporter une courbure dans laquelle le rayon de l'arc est égal à 4 fois le diamètre intérieur du tuyau. Comme signe distinctif, les tuyaux de l'union (Verbandsröhren) portent une estampille indiquant également l'usine qui les a fabriqués. Les efforts de l'union des constructeurs allemands de chauffage pour assurer la bonne exécution des installations méritent d'être soutenus, l'auteur a dans ses tables pris également en considération le tuyau de l'union.

Quand les tuyaux traversent des murs ou des plafonds il faut les placer dans des douilles solidement maçonnées. On maintiendra les tuyaux ascendants au moyen de colliers, afin que les tuyaux soient libres et non fixés au mur. Quand le travail est bien fait, on peut placer les tuyaux à manchons dans des saignées que l'on recouvre soit d'une enveloppe mobile soit que l'on maçonne après avoir constaté par un chauffage de quelques jours que l'installation fonctionne parfaitement et que les joints sont absolument étanches. Les tuyaux à brides doivent être installés de façon qu'on puisse toujours les atteindre.

On pose les tuyaux horizontaux sur des consoles en fer ou mieux sur des rouleaux, ou on les suspend dans des colliers mobiles. Comme la dilatation des tuyaux après la mise en train se produit peu à peu, il ne faut compenser cette dilatation par l'intercalation de compensateurs que dans les longues conduites horizon-

tales continues. (Pour détails à ce sujet voir Chauffage à vapeur.)

Quand toute la tuyauterie est posée il faut d'abord l'essayer, ainsi que la chaudière et les corps de chauffe, sous pression d'eau froide. Cette pression, au point le plus bas de l'installation, est environ deux fois aussi forte que la pression *fournie* en cet endroit par la colonne d'eau. Il faut admettre qu'il n'existe aucune inélasticité si le manomètre pendant quinze minutes n'indique aucune baisse de pression. Il faut alors chauffer fortement et essayer par traction non pas seulement les brides qui pourraient gouter mais toutes les brides. Il faut également lors du chauffage se rendre compte de la circulation exacte de l'eau. On peint ensuite les tuyaux avec un enduit au minium puis on les recouvre d'une matière mauvaise conductrice de la chaleur (terre fossile, liège, soie, feutre, etc.); le feutre devenant rapidement le refuge des insectes, particulièrement des mites, on ne doit malgré ses grandes qualités isolantes ne l'employer que très prudemment, en tous cas, il faut recouvrir le feutre d'un bandage très serré et peint.

La tuyauterie d'un chauffage à eau chaude à longue distance doit également être essayée à froid et à une pression double de celle qu'elle aura à supporter dans l'installation, pour le reste on la traitera comme celle des installations par groupes.



## CHAPITRE XII

### CHAUFFAGE A EAU TRÈS CHAUDE

(Voir planche 19).

#### I. — DISPOSITION, EXÉCUTION ET DOMAINE D'APPLICATION

Le principe sur lequel repose le fonctionnement du chauffage à eau très chaude est le même que celui du chauffage à eau chaude, à la différence que les surfaces de chauffe absorbant et émettant la chaleur ainsi que la conduite se composent de tuyaux de même diamètre, soit règle générale 0,023 m. de diamètre intérieur et 0,033 m. de diamètre extérieur.

L'installation entière représente donc, par conséquent, un tuyau sans fin, dont une partie, ordinairement enroulée en spirale — dans la pratique on désigne cette partie sous le nom de « serpent » — est en contact avec les gaz de combustion, une partie, de disposition quelconque, est placée dans les locaux à chauffer.

Le diamètre intérieur étant faible, il n'y a aucun danger qu'une poche d'air puisse se former en un point de la masse comme ceci se produit dans le chauffage à eau chaude, les faibles quantités d'air sont entraînées avec l'eau. Ceci présente l'avantage de pouvoir, en cas de besoin, faire monter ou descendre les tuyaux, par contre, le désavantage que, s'il se forme de grandes poches d'air dans le tuyau exposé aux gaz de combustion, il peut se produire du bruit, des chocs, même une explosion par la formation subite de vapeur. Pour éviter autant que possible tout risque d'explosion, avant sa mise en service on essaie toute l'installation à une pression froide de 100 à 150 atmosphères.

Il faut veiller à ce que les tuyaux soient parfaitement propres à l'intérieur, afin que l'accumulation d'impuretés ne puisse boucher le tuyau et être cause de son éclatement en un point quelconque pendant la marche de l'installation, éclatement qui équivaut toujours à une explosion. Dans les premières années de l'exploitation

il est donc bon, par suite, de renouveler fréquemment l'eau de l'installation.

Afin que tout l'air s'échappe lors du remplissage, il faut procéder à ce remplissage, non au moyen de la conduite d'eau de ville, mais au moyen d'une pompe de remplissage en prenant la précaution que l'eau puisse se mouvoir seulement dans une direction de la tuyauterie, et qu'après le remplissage elle continue à circuler. Dans ce but, on emploie des dispositifs spéciaux, ordinairement les robinets dénommés « robinets droits pour pompes ».

Le tuyau absorbant la chaleur, le tuyau émettant la chaleur et le tuyau servant uniquement au transport de l'eau constituent ensemble ce qu'on appelle un « Système ». Il peut y avoir plusieurs systèmes accouplés en faisant entrer dans le tuyau absorbant du deuxième système l'eau de retour du premier système, etc., et enfin l'eau de retour du dernier système dans le tuyau absorbant du premier système. Les serpentins absorbant la chaleur ne sont alors exposés qu'à un seul et même courant de flammes. L'accouplement n'est recommandable que pour les locaux exigeant que le tuyau de chauffe soit d'une telle importance qu'il devient nécessaire d'employer plusieurs systèmes (salles).

On obtient des joints parfaitement étanches exclusivement par rapprochement des extrémités des deux tuyaux — une extrémité étant plane, l'autre taillée en biseau — au moyen de manchons filetés droit et gauche. Il ne faut en aucun cas employer des joints d'étanchéité, tels que l'interposition de bagues en cuivre par exemple.

On ne peut arriver à régler la chaleur comme dans le chauffage à eau chaude ; ce n'est qu'en donnant un trajet plus court à l'eau au moyen des robinets à deux voies et des robinets à trois voies construits à cet effet qu'on peut, dans un local, mettre hors circuit une partie du tuyau de chauffe, mais toujours aux dépens du maintien d'une chaleur uniforme dans les autres locaux. Un réglage direct, mais non recommandable, peut être obtenu par l'emploi d'enveloppe d'isolement (voir plus loin chauffage à vapeur).

On ne peut mesurer la température de l'eau quittant les serpentins de foyer qu'approximativement, en installant des thermomètres soit plongés dans des douilles remplies d'huile, soit mis en contact avec le tuyau par un amalgame de mercure dont le mercure se volatilise quand on chauffe.

Pour contenir le plus grand volume d'eau résultant de la dilatation provoquée par l'échauffement, on emploie comme dans le chauffage à eau chaude à moyenne pression, soit des vases d'expansion ouverts à l'air libre avec soupape de refoulement et d'aspi-



ration au débouché de la conduite, soit des tuyaux d'expansion clos (réservoirs d'air). Les premiers sont construits exactement comme dans le chauffage à eau chaude, les derniers se composent d'un nombre convenable de tuyaux verticaux et unis les uns aux autres d'un diamètre intérieur d'environ 0,06 m. à 0,07 m. La longueur totale de ces tuyaux doit avoir environ  $1/60$  jusqu'à  $1/50$  de la longueur du système de chauffe. Dans les vases d'expansion ouverts à l'air libre, il faut veiller à ce qu'ils puissent recevoir environ la moitié de la contenance d'eau de tout le système de chauffe.

Dans la pratique, on ne devrait employer que des tuyaux d'expansion. Leurs dimensions étant exactement calculées, la tension dans l'installation ne monte que proportionnellement à la température de l'eau (pour une température de l'eau de  $150^{\circ}$  en chiffres ronds 5 atm.), quand on emploie des vases d'expansion ouverts à l'air libre, il faut des soupapes de refoulement, qui en outre fréquemment sont chargées plus qu'il ne faut, c'est-à-dire de telle sorte qu'elles ne se soulèvent qu'à une pression équivalente à une tension de vapeur de 60-80 atmosphères. La pression provoquée par la charge règne aussi dans l'installation pendant la marche la plus faible, car l'eau se dilate sous l'action de la chaleur, et peut, en cas de rupture de la tuyauterie, avoir des suites très fâcheuses. Quand la marche n'est pas parfaitement surveillée, il peut aussi, par la soupape d'aspiration, entrer de l'air dans l'installation, ce qui oblige alors de pomper de nouveau.

Tout chauffage à eau très chaude doit être pourvu d'un manomètre.

Les tuyaux ne contenant qu'une minime quantité d'eau, il peut facilement se produire que l'eau gèle. On a essayé d'y remédier en mélangeant à l'eau des matières appropriées, mais ces mélanges ont ordinairement donné lieu à des inconvénients. La glycérine suinte par les manchons et sent mauvais, les solutions salines attaquent le tuyau et les parties en cuivre; d'après les expériences faites par l'auteur, l'alcool ( $1/3$  de la contenance des tuyaux), qu'on emploie très fréquemment, se sépare de l'eau dans le cas des vases d'expansion ouverts à l'air libre. Il faut en chercher la raison dans le point d'ébullition très bas de l'alcool, car lors du refroidissement de l'installation il se dégage des vapeurs d'alcool qui se condensent plus tard. Quand on emploie par contre des tuyaux d'expansion, on a à maintes reprises observé que quand le système est froid il y régnait une tension assez grande, car quand on ouvrait un manchon de fermeture, le liquide s'échappait sous forte pression. La cause en est que, par la décomposition de l'alcool, il se dégage des gaz. On devrait par suite ne pas employer l'alcool

pour les mélanges avec l'eau, on devrait peut-être même l'interdire administrativement, car les inconvénients susdits peuvent constituer un danger. Un nouveau produit « Calcidum » préparé par la fabrique de produits chimiques Busse, à Hannover-Linden, donne, dit-on, les meilleurs résultats, sans attaquer le fer. L'auteur a constaté dans ses essais qu'après un long contact du produit avec l'oxyde de fer, celui-ci est attaqué — à vrai dire très peu. On ne sait pas encore jusqu'à présent comment se comporte le produit à la chaleur.

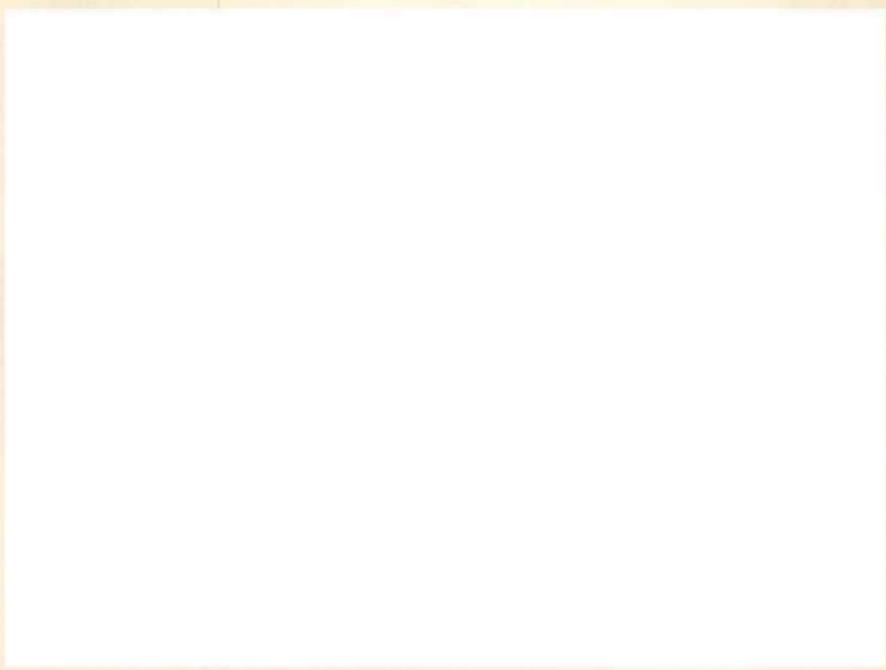
Pour les points entrant encore en question pour la disposition (passage à travers les parois, protection contre la déperdition de chaleur, scellement, etc.), nous renvoyons à la disposition des tuyaux dans le chauffage à eau chaude.

Les avantages du chauffage à eau très chaude consistent dans la distribution facile du tuyau de chauffage, et la possibilité de pouvoir faire monter ou descendre le tuyau selon les besoins, donc, en contournant les obstacles matériels, il convient par suite aux installations à faire dans les bâtiments déjà existants dans lesquels le chauffage central n'avait pas été prévu lors de la construction. Il permet aussi de chauffer rapidement les locaux par suite de sa faible contenance d'eau. Par contre, il y a toujours danger d'explosion et une exécution défectueuse du chauffage augmente encore considérablement les risques d'explosion. Le chauffage à eau très chaude, comme déjà dit, ne permet pas le réglage immédiat de la chaleur et pour plusieurs locaux à chauffer par une installation commune, il ne rend possible qu'une distribution de chaleur correspondant à ce qui est nécessaire pour avoir dans les locaux une quantité de chaleur déterminée, car pour toute autre quantité de chaleur, il faut chauffer l'eau à une autre température, mais l'émission de chaleur des divers tuyaux n'augmente pas ou ne diminue pas proportionnellement à ce changement de température. Il ne convient donc par suite réellement qu'à des locaux où il est possible d'avoir une installation fermée, dans laquelle la totalité de la chaleur dégagée du combustible ne doit être livrée qu'à un local. Afin de rendre peu sensible, dans le cas de plusieurs locaux chauffés par une installation, ce défaut du chauffage à eau très chaude il est recommandé de calculer toute la tuyauterie nécessaire pour la température extérieure la plus basse, donc pour les besoins de chaleur les plus grands, mais de prévoir la distribution de la tuyauterie pour les besoins de chaleur d'une température hivernale moyenne. L'utilisation de la chaleur du combustible n'est pas en général aussi bonne que dans le chauffage à eau chaude, car il faut donner aux conduits des gaz chauds une section ordi-

nairement plus grande par rapport à la surface de chauffe offerte, que la section nécessaire pour le passage des gaz chauds.

Le *domaine d'application* du chauffage à eau très chaude se limite principalement, d'après ce qui a été dit, aux grands locaux isolés employés périodiquement, locaux qu'il faut chauffer rapidement et pour lesquels l'on veut pouvoir, pendant ou après l'utilisation, refroidir rapidement l'installation, donc, par exemple, aux salles de réunion, aux églises, etc. Par suite de la possibilité de pouvoir à volonté donner à la tuyauterie à peu près toute direction, le chauffage à eau très chaude est, de tous les systèmes de chauffage central, celui qui présente le moins de difficulté pour la construction dans les vieux bâtiments. Il rend aussi souvent de bons services dans les installations de séchage et dans les installations de ventilation pour le réchauffement préalable de l'air de ventilation. Pour le chauffage direct des appartements et locaux utilisés uniformément, ce chauffage n'entre guère plus en ligne de compte, car il a été supplanté sous ce rapport par le chauffage à eau chaude et le chauffage à vapeur à basse pression.

## II. — CALCUL DU CHAUFFAGE A EAU TRÈS CHAUDE





## CHAPITRE XIII

### CHAUFFAGE PAR VAPEUR A HAUTE PRESSION

(Voir tables 20, 21 et 22).

#### A. — DISPOSITION ET EXECUTION DU CHAUFFAGE A VAPEUR A HAUTE PRESSION

##### I. — DOMAINE D'APPLICATION DU CHAUFFAGE PAR VAPEUR A HAUTE PRESSION. CHAUFFAGE A LONGUE DISTANCE

Le chauffage à vapeur est basé sur l'utilisation de la chaleur latente devenue libre par la condensation de la vapeur.

Par suite de la tension que la vapeur atteint par l'échauffement de l'eau à plus de  $100^{\circ}$  dans un corps de chauffe clos et par suite de l'importante quantité de chaleur rendue libre par la condensation de la vapeur (voir table 21), il est possible de transporter à de grandes distances de grandes quantités de chaleur et de les y utiliser. La condensation de la vapeur peut s'effectuer dans des corps de chauffe abandonnant à l'air ou à l'eau la chaleur absorbée. Quand dans le premier cas les corps de chauffe se trouvent dans les locaux à chauffer et réchauffent directement l'air ambiant, on a ainsi un *chauffage à vapeur direct*; si l'air réchauffé par contact avec les corps de chauffe est transporté dans les locaux à chauffer on a alors un *chauffage mixte, air chaud et vapeur*. Si par contre on a dans les locaux à chauffer des corps de chauffe remplis d'eau, on donne à l'installation, si l'eau est réchauffée directement par la vapeur, le nom de *chauffage mixte à eau et vapeur*, si l'eau est réchauffée en un point central et conduite aux corps de chauffe on a un *Chauffage mixte vapeur et eau chaude*.

Pour des raisons que nous exposerons plus loin ce n'est que dans certains cas (fabriques, etc.) que l'on emploie pour chauffer des locaux un chauffage à vapeur direct alimenté par de la vapeur à haute pression. On emploie ordinairement au lieu de vapeur à

haute pression de la vapeur à basse pression obtenue soit en réduisant la tension de la vapeur, soit directement. On utilise fréquemment pour le chauffage la vapeur d'échappement, mais il faut alors prévoir des dispositifs assurant automatiquement la quantité de vapeur nécessaire à la consommation de chaleur par un apport de vapeur vierge en cas de besoin (voir table 2). On emploie aussi pour le chauffage, de la vapeur amenée par une pompe installée à l'extrémité de l'installation à une tension inférieure à celle de l'atmosphère, on dit alors que l'on a un *chauffage par le vide*. Une semblable installation est devenue alors un chauffage par vapeur à basse pression (voir ce chauffage), son but est d'abaisser la température de la vapeur et de mieux approprier le chauffage aux exigences de l'hygiène.

La diversité de l'utilisation et de la transformation de la chaleur, la possibilité de transporter la chaleur et la force motrice à de longues distances, la diminution du nombre de foyers et leur suppression dans les locaux habités assurent une place privilégiée au chauffage à vapeur à haute pression dans les installations très étendues. Ceci ne veut pas dire qu'il faille recommander le chauffage à vapeur à haute pression comme chauffage à *longue distance*, dans tous les cas où il s'agit de pourvoir au chauffage d'un certain nombre de bâtiments, d'autant plus que ces derniers temps le chauffage à vapeur à haute pression a trouvé un important concurrent dans le chauffage à eau chaude à longue distance dont nous avons déjà donné tout au long à sa place les avantages et désavantages. Le transport de la chaleur ne se fait jamais sans perte de chaleur et les frais résultant de cette déperdition doivent être compensés par les avantages offerts par le système et par les économies réalisées. On doit considérer que les pertes de chaleur de la conduite maîtresse d'un système de chauffage à longue distance, quand sa température est plus élevée que la température extérieure la plus basse pour laquelle le système a été calculé, restent à peu près constantes, que par conséquent si la perte de chaleur de la conduite maîtresse est 4 p. 100 de la quantité totale de la chaleur transportée, quand la température extérieure est la plus basse, cette perte de chaleur est presque 8 p. 100 de la quantité totale de la chaleur transportée quand il ne faut pour réchauffer les locaux que la moitié de la quantité de vapeur. Par suite avant l'exécution d'un chauffage à vapeur à haute pression il faut toujours rechercher et calculer ces pertes et leur donner place prépondérante dans les considérations décidant du choix d'un système. Ses principaux avantages sur le chauffage à eau chaude résident dans la possibilité d'employer la chaleur de la vapeur non seulement pour le chauf-

fage et la ventilation des locaux, mais encore pour la cuisine, la buanderie, la salle de bain, pour chauffer l'eau des services de distribution d'eau chaude pour désinfecter, stériliser, etc., dans la possibilité d'employer la force de la vapeur pour actionner les machines, les pompes, etc.

*Les chauffages à longue distance*, comme nous l'avons déjà dit, sont surtout intéressants, si on y joint une station centrale pour la production de la lumière électrique, et il conviendrait à tous points de vue que les grandes sociétés d'électricité, chaque fois que les circonstances s'y prêtent, joignent à leur installation électrique une installation de chauffage à longue distance.

La consommation maxima de chaleur dans les bâtiments a lieu lors de l'allumage à la mise en train, dans les premières heures de la journée, la consommation maxima de lumière se produit quand le chauffage des bâtiments est en décroissance, c'est-à-dire dans les dernières heures de l'après-midi. Les pertes de chaleur de la chaudière d'un chauffage étendu sont dues principalement à la consommation inégale de chaleur aux différentes heures de la journée. En combinant les deux installations de chauffage et d'éclairage, on arrive à donner à la chaudière une marche plus régulière, si quand la consommation de chaleur diminue on emploie la surface de chaudière qui devient libre pour actionner les machines électriques soit pour produire directement la lumière, soit pour charger les accumulateurs. On doit donc déterminer l'importance de la batterie d'accumulateurs en partant de ce point de vue que la marche de la chaudière doit être chaque jour aussi régulière que possible. La meilleure façon de connaître les conditions de marche que l'on doit choisir est de rapporter graphiquement la courbe de la consommation de chaleur et celle de la consommation de lumière des bâtiments dans les différents mois de l'année. En unissant ces courbes par une horizontale représentant la valeur moyenne on peut voir les conditions auxquelles doivent répondre les accumulateurs.

Dans certains cas le chauffage par le gaz au moyen de gaz de générateur peut entrer en concurrence avec le chauffage par vapeur à haute pression et le chauffage à eau chaude, comme chauffages à longue distance. La différence la plus importante entre ces modes de chauffage consiste en ceci que le chauffage par vapeur et le chauffage par eau chaude sont des chauffages centraux, tandis que le chauffage par le gaz est un système de chauffage avec transport du combustible et non transport de la chaleur, donc un chauffage local, et par suite avec ce chauffage on est obligé d'avoir des foyers dans les bâtiments mêmes. Le chauffage par le gaz coûte peut-être moins cher d'installation, car on peut supprimer les coûteux caniveaux

destinés à recevoir les conduites, par contre, son installation dans les bâtiments constitue un danger d'explosion.

Là où il faut garantie absolue contre tout danger d'explosion et d'incendie, on ne peut penser à employer le chauffage par le gaz.

Le chauffage par vapeur à haute pression d'après ce qui précède convient principalement au transport de la chaleur à longue distance. Il faut l'écartier quand il s'agit de chauffer les locaux directement — on peut à la rigueur faire exception pour les installations industrielles (locaux de fabriques) — car par la température élevée des corps de chauffe, il ne répond pas aux exigences de l'hygiène, il ne permet pas de régler l'émission de chaleur des corps de chauffe d'une façon donnant toute garantie (voir § V, 2 de ce chapitre) et il n'est pas inodore. Il convient très bien au chauffage de l'air de ventilation quand la tension de la vapeur n'est pas trop haute (voir p. 208) surtout quand on choisit et dispose les corps de chauffe, comme il est indiqué à la table 16, en admettant une grande vitesse de l'air (voir p. 280). Pour toutes les installations dans lesquelles on aura des machines à actionner et des dispositifs pour cuire, laver, etc., à prévoir, il est à peine possible de se passer de vapeur à haute pression. En utilisant la chaleur de la vapeur d'échappement des machines on réduit considérablement les frais de la production de la force motrice par la vapeur. Partout où l'on installe de grandes usines électriques, on devrait prévoir pour le chauffage sous toutes ses formes l'utilisation de la chaleur de la vapeur d'échappement provenant des machines. Malheureusement les administrations municipales, on ne sait pourquoi, prennent encore trop peu en considération les économies considérables qu'elles pourraient ainsi réaliser sur les frais d'exploitation.

## II. — CHOIX DE LA TENSION DE LA VAPEUR

Comme l'unité de poids de vapeur contient presque la même quantité totale de chaleur, que la tension de la vapeur soit basse ou haute, on doit par principe ne pas admettre la tension de la vapeur plus forte qu'il est nécessaire. Quelle est la tension de vapeur la plus avantageuse? Quand le corps de chauffe chauffe directement les locaux (voir § I : applications) il faut autant que possible réduire la tension de la vapeur de façon à avoir une basse tension (0,1 atm. et au-dessous) et éviter la vapeur à haute tension. Quand le corps de chauffe est destiné au chauffage par vapeur et air chaud ou au réchauffement de l'eau, il faut admettre une tension plus élevée (0,5 — 1 et au-dessus), car par là on peut



maintenir de petites surfaces de chauffe et il est possible de régler les températures par d'autres moyens encore que par des robinets (voir § I) ; dans le cas de conduites de vapeur, une haute tension se recommande car l'installation est considérablement moins chère, les pertes de chaleur sont plus faibles par suite des plus petits diamètres nécessaires, et la formation d'eau de condensation qui peut donner lieu à des inconvénients de diverse nature se trouve diminuée. La chute de tension de la vapeur dans un tuyau dépend essentiellement des déperditions de chaleur et des résistances, la chute de température dépend des déperditions de chaleur. Si ces dernières ne sont pas assez grandes pour répondre à la chute de tension, il faut surchauffer la vapeur.

Quand les conduites sont à l'intérieur de locaux habités, il faut, en général, s'abstenir de choisir une haute tension de vapeur, d'une part pour diminuer les risques d'inétanchéité, d'autre part à cause de l'inconvénient que la basse tension que l'on cherche à avoir dans les corps de chauffe est réglée en un point central du bâtiment. Dans les chauffages à longue distance bien exécutés, on peut, pour les conduites, admettre sans crainte une tension de vapeur initiale de 6-8 atmosphères (surpression) ; pour avoir des diamètres aussi petits que possible, il est recommandable alors de prévoir pour la consommation de chaleur la plus grande une telle chute de pression dans la conduite qu'à l'extrémité de la conduite on n'atteint que la tension de vapeur maxima nécessaire dans le bâtiment. On ne peut que recommander la transformation qui se produit par là de la vapeur saturée en vapeur surchauffée. Relativement à la production de chutes subites de tension, voir paragraphe VI, 2 de ce chapitre.

### III. — DISPOSITION GÉNÉRALE D'UN CHAUFFAGE PAR VAPEUR A HAUTE PRESSION

Comme le chauffage à eau chaude, le chauffage à vapeur se compose de surfaces de chauffe absorbant la chaleur, de surfaces de chauffe émettant la chaleur, et de tuyaux pour la vapeur et pour l'eau de condensation.

On ne peut jamais arriver à protéger les tuyaux de vapeur contre les déperditions de chaleur (voir p. 219) au point de supprimer, au moins à la mise en marche de l'installation, toute condensation de vapeur, donc la formation d'eau de condensation. La vapeur tend à entraîner cette eau avec elle. S'il n'est pas possible d'évacuer cette eau avec une vitesse à peu près égale à celle de la vapeur, il

se produit des coups de bélier — il faut donc poser comme principe que les tuyaux de vapeur doivent être posés en pente.

Si l'on est obligé de s'écarter de ce principe, il faut, aux points où la vapeur cesse de descendre pour monter, prévoir une conduite d'évacuation de l'eau de condensation. Quand la conduite suit un long parcours horizontal, il est par suite ordinairement nécessaire de donner à la conduite de vapeur une disposition en forme de scie, c'est-à-dire de diviser la conduite en un certain nombre de longs tronçons pourvus d'une pente et de raccorder par un court tuyau vertical l'extrémité d'un tronçon avec le commencement de l'autre. On évacue alors l'eau de condensation au point le plus bas de chaque tronçon. Quand, dans l'intérieur d'un bâtiment, on doit faire monter une conduite de vapeur, il faut, autant que possible, poser le tuyau non pas verticalement, mais obliquement, car de cette façon on sépare davantage les parcours de l'eau et de la vapeur, l'écoulement de l'eau de condensation se faisant davantage dans la partie inférieure de la conduite.

D'après ce qui précède, il résulte que dans un chauffage direct par vapeur à haute pression, si exceptionnellement malgré les inconvénients signalés on doit employer ce système, le mieux est de conduire la vapeur d'abord collectivement jusqu'au point le plus élevé, puis de ce point à la conduite de distribution qui doit toujours être posée en pente. Cette conduite de distribution est raccordée aux colonnes descendantes desservant les divers corps de chauffe. Ce mode de distribution est préférable à celui consistant à disposer la conduite de distribution au-dessous des corps de chauffe et de la raccorder avec des tuyaux ascendants conduisant la vapeur aux corps de chauffe.

La disposition donnée par la figure 86 est par suite la meilleure disposition à donner aux colonnes desservant les corps de chauffe. Dans cette disposition la conduite de vapeur est descendante et distincte de la conduite d'évacuation de l'eau de condensation. La disposition, de la figure 87 est moins bonne, pourtant encore toujours de beaucoup meilleure à celle de la figure 88, car dans cette disposition, quoique l'eau et la vapeur circulent dans le même sens, la vapeur s'oppose à l'écoulement de l'eau de condensation des corps de chauffe ; cette disposition est aussi par suite à peu près abandonnée dans la pratique. La disposition la plus mauvaise est celle de la figure 89 car elle réunit tous les inconvénients mentionnés.

La vapeur, étant plus légère que l'air, doit autant que possible entrer dans les corps de chauffe par en haut, autrement il se pro-

duit un mélange de l'air et de la vapeur, ce qui amène une diminution de l'émission de chaleur du corps de chauffe. Dans le chauffage par vapeur à basse pression on s'efforce parfois à vrai dire d'y arriver : nous en expliquerons les raisons quand nous traiterons plus loin ce chauffage.

Il faut naturellement conduire aux corps de chauffe par la voie la plus courte la vapeur partant de la chaudière. Pour que la régularité de la marche ne soit pas trop influencée par les inéchantés qui pourraient se produire, on exécute parfois la conduite de distribution de vapeur en forme de cercle de diamètre uniforme disposée de façon que la totalité de la vapeur puisse être

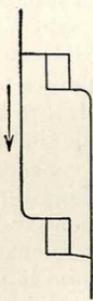


Fig. 86.

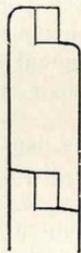


Fig. 87.

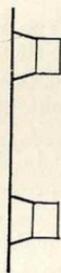


Fig. 88.

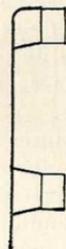


Fig. 89.

introduite dans la conduite de distribution soit d'un côté, soit de l'autre, soit des deux côtés. Cette disposition n'est pas à recommander au point de vue économique.

Tous les tuyaux qui n'ont pas à émettre de chaleur doivent être soigneusement protégés contre les déperditions de chaleur (voir p. 219).

Il faut recueillir l'eau de condensation et la conduire, autant que possible par sa propre pente, dans un réservoir d'où elle sera refoulée dans la chaudière comme eau d'alimentation.

Le mieux est de construire ces sortes de réservoir en fer (fonte émaillée). On les munit d'un trop-plein, d'un indicateur de hauteur d'eau et d'un alimentateur d'eau, utilisable à volonté.

Si le réservoir doit aussi recevoir l'eau de condensation de la vapeur d'échappement des machines, il faut auparavant séparer par des appareils appropriés l'huile entraînée par la vapeur ou l'eau (voir planche 22).

IV. — LES CHAUDIÈRES D'UN CHAUFFAGE A VAPEUR  
 A HAUTE PRESSION

La consommation de vapeur d'une installation de chauffage varie dans de grandes proportions selon les heures de la journée et selon la température extérieure. Chaque jour, lors de la mise en train, il faut une quantité de chaleur beaucoup plus grande que quand le régime est établi. Afin que les chaudières pour vapeur puissent autant que possible répondre à ces fluctuations, il faut leur donner une contenance d'eau suffisante. Par conséquent les chaudières à faible volume d'eau conviennent moins aux chauffages pour vapeur à haute pression que les chaudières à grand volume d'eau.

Il faut prendre pour base d'appréciation de la qualité d'une chaudière sa puissance de vaporisation, c'est-à-dire la puissance de transformer avec 1 kilogramme de combustible une certaine quantité d'eau à 0° en vapeur à 100°. La quantité de vapeur produite varie selon le combustible. Dans une installation moyenne elle doit être pour la tourbe de 3 à 4 kilogrammes, pour la lignite de 4 à 5, pour la houille de 6,5 à 8 kilogrammes. La puissance de vaporisation doit être garantie par le fournisseur. Sachant que la quantité totale de chaleur contenue dans 1 kilogramme de vapeur à 100° est de 637 calories, si 1 kilogramme de combustible produit 8 kilogrammes de vapeur, 1 kilogramme de combustible fournira  $8 \times 637 = 5105$  calories. On voit par là que la puissance de vaporisation atteint rapidement une limite qu'elle ne peut franchir, car on ne peut en aucun cas obtenir du combustible plus de chaleur que la quantité utilisable dégagée lors de la combustion. La puissance que possède une chaudière d'utiliser la chaleur des gaz chauds dépend essentiellement de la nature de la surface de chauffe et de la différence de température des gaz chauds et de l'eau de la chaudière. On accroît aussi la transmission de la chaleur en augmentant la circulation de l'eau de la chaudière.

Il existe dans la pratique différentes constructions ayant pour but d'accélérer la circulation de l'eau de la chaudière.

La *vaporisation et la transmission de la chaleur* sont en rapport direct : plus les gaz chauds sont chauds, plus est grande la quantité de chaleur transmise. La transmission de la chaleur croît en raison directe de l'élévation de la température des gaz chauds s'échappant dans la cheminée, dans les mêmes conditions la puissance de vaporisation diminue. L'augmentation de cette dernière

ne doit jamais avoir lieu aux dépens de la transmission de la chaleur.

On doit par suite recommander, si l'on veut avoir une marche économique, de ne pas faire arriver les gaz chauds dans la cheminée à une trop haute température (voir p. 192), d'accélérer la circulation de l'eau par une construction convenable des surfaces de chauffe, dans certains cas par l'emploi d'appareils appropriés et d'augmenter par là la puissance de vaporisation.

Il faut veiller à ce que la vapeur soit sèche à son entrée dans la conduite de vapeur, car autrement il pourrait en résulter des inconvénients économiques et autres. Une vive circulation de l'eau dans la chaudière et aussi une haute tension de la vapeur augmentent la possibilité des entraînements d'eau de la chaudière; il est alors nécessaire de prévoir des constructions appropriées pour prévenir ces inconvénients. Il est bon surtout dans les installations de chauffage à longue distance de prendre les mesures nécessaires pour que la *vapeur soit modérément surchauffée* avant qu'elle s'engage dans la tuyauterie afin d'être certain qu'aucun primage ne se produira après coup en dépit de toutes les précautions prises. En considération des pertes de chaleur, de la dilatation de la conduite par la chaleur, etc., mais surtout aussi à cause de la solidité plus ou moins grande que présentent les robinets et parties en bronze et en laiton, il faut comme limite de la température de la vapeur admettre au plus 200°. Pour surchauffer la vapeur on emploie avantageusement la chaleur des gaz d'échappement.

Il arrivera parfois que le local où doit être installée la chaudière soit assez exigü et qu'il faille par conséquent choisir des surfaces de chauffe aussi réduites que possible et faire arriver les gaz chauds dans la cheminée à une température plus élevée qu'il ne serait désirable au point de vue économique ou que par suite de la haute tension de la vapeur les gaz de fumée se dégageant dans la cheminée possèdent une température plus élevée que celle nécessitée par le tirage de la cheminée. Dans de tels cas il est recommandable de prévoir des dispositifs (économiseurs) ayant pour but de réchauffer, soit l'eau d'alimentation de la chaudière, soit l'eau destinée aux bains, etc., par conséquent de refroidir les gaz d'échappement à la température nécessaire au tirage de la cheminée, en utilisant la chaleur qu'ils peuvent encore contenir.

Les chaudières à vapeur sont rarement construites par les maisons qui exécutent les installations, c'est pourquoi nous ne nous étendrons pas ici sur la construction des chaudières à vapeur, leurs différents types et leurs accessoires ainsi que sur les règlements administratifs qui les régissent (essai de pression, etc.). Cette étude

sort du cadre de cet ouvrage et nous référons à ce sujet aux ouvrages spéciaux.

## V. — LES CORPS DE CHAUFFE

### D'UN CHAUFFAGE PAR VAPEUR A HAUTE PRESSION

#### 1. — Construction et équipement des corps de chauffe.

La construction et la forme des corps de chauffe d'un chauffage par vapeur à haute pression sont à peu près les mêmes que celles des corps de chauffe d'un chauffage à eau chaude.

Il faut seulement dans ces corps de chauffe veiller tout particulièrement à ce que, quand on y fait pénétrer la vapeur, l'air puisse s'échapper rapidement. Si l'air se mélange à la vapeur le mélange ne peut pas émettre autant de chaleur que la vapeur seule. Une simple tuyauterie est donc la meilleure forme à donner à un corps de chauffe, car dans la tuyauterie, la vapeur et l'air qui doit être évacué ne sont en contact que sur une petite surface, par conséquent ils trouvent peu occasion de se mélanger. Par contre, dans le chauffage à vapeur, il ne faut pas employer de corps de chauffe affectant la forme de colonnes.

La vapeur étant plus légère que l'air il faut introduire la vapeur dans les corps de chauffe par en haut (voir aussi p. 407).

Quand les corps de chauffe à petite chambre de vapeur sont munis de conduites distinctes pour la vapeur et pour l'eau de condensation (voir fig. 86) l'air s'échappe ordinairement sans encombre. Par contre, si une seule conduite sert au transport de la vapeur et à l'évacuation de l'eau de condensation (voir fig. 88), il faut munir les corps de chauffe de dispositifs pour l'évacuation de l'air. Ces dispositifs peuvent être soit de simples robinets, vis d'air (purgeurs d'air à main), etc., que l'on peut ouvrir à volonté, et qui nécessitent un service assez ennuyeux, soit des soupapes s'ouvrant ou se fermant automatiquement (purgeurs d'air automatiques) par la dilatation inégale de deux corps, selon qu'il règne dans le corps de chauffe une haute ou basse température (air ou vapeur). Ces purgeurs ne sont pas très recommandables car ils peuvent refuser de fonctionner et alors la vapeur s'échappe.

Quand on interrompt l'arrivée de la vapeur dans un corps de chauffe, ou quand on arrête la marche du système il se produit un vide suivi d'un afflux d'air, même si on ne donne pas immédiatement accès à l'air, seulement dans ce dernier cas il s'écoule un certain temps jusqu'à ce que l'installation soit remplie d'air. Les corps de chauffe qui par suite de leur forme et de la nature des matériaux servant à leur

construction ne peuvent pas résister à la pression de l'air extérieur, doivent être munis de soupapes automatiques pour l'entrée de l'air.

Relativement à la disposition du corps de chauffe, etc., nous renvoyons à ce qui a été dit page 194.

## 2. — Réglage des corps de chauffe.

On s'est efforcé de différentes manières de régler l'émission de chaleur des corps de chauffe mais on n'a pu parvenir à un réglage satisfaisant. *L'insuffisance du réglage est la principale des raisons qui font que le chauffage par vapeur à haute pression paraît peu recommandable pour le chauffage direct des locaux.*

Le réglage de la chaleur par le réglage, au moyen de robinets ou de valves, de la quantité de vapeur admise n'est possible que dans de larges limites, dans le cas où le débit de vapeur dépend de la différence de pression avant et après la soupape. Si la vanne est étranglée de façon à ne laisser entrer en cet endroit que peu de vapeur dans les corps de chauffe, cette vapeur se condense d'autant plus rapidement, car elle se répand sur une surface de chauffe calculée pour la quantité totale de vapeur. Il s'ensuit un accroissement de la différence de pression et ensuite un afflux de plus grandes quantités de vapeur que l'afflux qui devrait correspondre à la position de la vanne, les différences de pression restant constantes. Quand le même tuyau sert à la circulation de la vapeur et au retour de l'eau de condensation il entre encore de la vapeur par l'orifice donnant passage à l'eau de condensation, ce qui rend encore le réglage moins certain ; mais ceci se produit aussi quand il existe une conduite distincte pour la vapeur et une autre pour l'eau de condensation car cette dernière est ordinairement remplie aussi de vapeur. Pour prévenir au moins ce dernier inconvénient on munit fréquemment l'orifice de l'eau de condensation d'un clapet de retenue au lieu d'un clapet ordinaire. Ce clapet s'ouvre seulement à une certaine surpression dans le corps de chauffe, et peut dans certaines constructions être réglée à volonté pour l'une ou l'autre surpression. La surpression nécessaire est produite par une certaine quantité d'eau de condensation rassemblée dans le corps de chauffe. Ces clapets de retenue occasionnent du bruit lors de l'écoulement de l'eau et on ne peut par suite les recommander. Pour toutes ces raisons les régulateurs automatiques de chaleur (voir aussi p. 282) qui périodiquement quand la température du local dépasse une certaine limite arrêtent l'arrivée de la vapeur, ne donnent également pas complète satisfaction.

On a essayé de régler l'émission de chaleur des corps de chauffe



en mettant hors circuit une partie de la surface chauffante par le cantonnement de l'eau de condensation. On y arrive en agissant sur le clapet d'écoulement pour arrêter dans des proportions convenables l'écoulement de l'eau, mais cette manœuvre est très délicate, exige une surveillance continuelle et ne diminue que graduellement l'émission de chaleur du corps de chauffe.

Enfin le réglage par enveloppe d'isolement que l'on ouvre complètement ou partiellement selon les besoins n'est pas également très satisfaisant. On peut à propos de ce réglage faire à peu près les mêmes observations que celles faites au sujet du réglage par clapet car la température de l'air enfermé s'élève au fur et à mesure que l'on ferme l'enveloppe d'isolement, par conséquent l'air présent reçoit une poussée plus forte et il s'ensuit que la sortie de l'air devient plus importante. Au point de vue de l'hygiène les enveloppes d'isolement ne sont pas davantage recommandables.

Tout bien examiné, on peut dire que le réglage de la chaleur des corps de chauffe à vapeur à haute pression n'a pas encore donné jusqu'ici de résultats satisfaisants. On n'arrive à régler d'une façon suffisante la température des locaux à chauffer qu'en employant un certain nombre de corps de chauffe qu'on met hors circuit selon les besoins.

## VI. — LES CONDUITES D'UN CHAUFFAGE A VAPEUR A HAUTE PRESSION ET LEUR ÉQUIPEMENT

## CHAPITRE XIV

### CHAUFFAGE A VAPEUR A BASSE PRESSION

(Voir planches 23-26 et 34-35).

#### A. -- DISPOSITION ET EXÉCUTION DU CHAUFFAGE A VAPEUR A BASSE PRESSION

##### I. — DOMAINE D'APPLICATION DU CHAUFFAGE A VAPEUR A BASSE PRESSION ET CHOIX DE LA TENSION DE LA VAPEUR

Comme le nom même *chauffage à vapeur à basse pression* l'indique, ce système de chauffage utilise la vapeur à basse pression. On peut obtenir cette vapeur soit en réduisant la tension de la vapeur à haute pression, soit en la produisant directement.

Dans le premier cas le choix de la tension de la vapeur est indépendant des règlements administratifs, mais non la chaudière, dans l'autre cas, la chaudière est soustraite aux prescriptions administratives, mais la tension maxima ne doit pas être supérieure à 0,5 atm.

Si on obtient la transformation de la vapeur à haute pression en vapeur à basse pression en employant d'abord la vapeur vierge à haute pression comme force motrice, puis en se servant de la vapeur d'échappement provenant de la machine à vapeur comme vapeur à basse pression pour l'installation de chauffage, on donne ordinairement à ce système le nom de *chauffage par vapeur d'échappement*. Quand au contraire l'installation de chauffage fonctionne à une tension inférieure à la tension de l'atmosphère, on l'appelle *chauffage par le vide*.

Il n'est avantageux de tirer la vapeur à basse pression de la vapeur à haute pression que lorsqu'on a besoin de la vapeur à haute pression pour d'autres buts (par exemple force motrice de machine) ou quand il s'agit d'un chauffage à longue distance nécessitant l'emploi de vapeur à haute pression pour le transport de la vapeur aux différents points d'utilisation.

Le chauffage à vapeur à basse pression ne possède pas les graves inconvénients inhérents au chauffage à vapeur à haute pression en tant que système de chauffage direct ; il peut par suite concurrencer le chauffage à eau chaude. Les deux systèmes ont leurs avantages et leurs inconvénients et ce sont ces avantages et inconvénients qui décident de leur emploi selon le cas. Le chauffage à vapeur à basse pression a l'avantage d'échauffer plus vite les corps de chauffe tout en permettant un réglage presque aussi sûr de l'émission de la chaleur, si *tous les corps de chauffe fonctionnent*. Si ce n'est pas le cas, la conduite est trop forte pour les autres corps de chauffe et il arrive alors facilement, si on ne le prévient pas en disposant des appareils spéciaux, que la vapeur *pénètre*, c'est-à-dire qu'elle entre par certains corps de chauffe dans la conduite de retour et par conséquent le réglage ne fonctionne plus parfaitement (voir plus en détail § IV).

Le chauffage à vapeur à basse pression a en outre sur le chauffage à eau chaude l'avantage d'être beaucoup meilleur marché, par contre il a le désavantage, d'abord que lorsque le calcul n'est pas absolument exact et que l'installation n'est pas exécutée soigneusement, la circulation de la vapeur se fait avec bruit surtout pendant la période de mise en train, ensuite que la vapeur a toujours une température d'au moins 100°. On considère comme un désavantage du chauffage à vapeur à basse pression par rapport au chauffage à eau chaude que le réglage de l'émission de chaleur des corps de chauffe ne peut se faire que par le réglage local de l'entrée de la vapeur et *non* d'un seul coup pour l'installation entière par le réglage de la tension de la vapeur, comme dans le chauffage à eau chaude par le réglage de la température de l'eau. Théoriquement, il est également possible de régler l'émission de chaleur des corps de chauffe dans le chauffage à vapeur à basse pression, en ce sens que si on laisse entrer moins de vapeur on réduit aussi la quantité de chaleur fournie. Mais pratiquement il faut considérer le réglage général comme absolument impossible, car ce réglage nécessiterait des variations de pression de la vapeur très minimes, qu'il est impossible d'obtenir. L'augmentation ou la réduction de la pression de vapeur de 1 kilogramme par mètre carré correspond à une tension de seulement 0,0000967 atm. ; des écarts de pression aussi minimes ou encore plus petits ne peuvent jamais être atteints dans la pratique.

Comme la vapeur est plus légère que l'air, quand l'entrée de la vapeur dans les corps de chauffe a lieu par en haut, ces corps de chauffe ne sont complètement chauds qu'en plein fonctionnement ; quand on diminue l'afflux de vapeur la surface de chauffe se refroidit

dit dans sa partie inférieure. Quand les besoins de chaleur sont minimes, seule la partie supérieure du corps de chauffe est chaude, ce que, au point de vue de l'uniformité de la distribution de la chaleur dans les locaux, on ne peut considérer comme favorable. Par suite de cet inconvénient, il ne faut pas employer de hauts corps de chauffe dans le chauffage à vapeur à basse pression. Quand l'entrée de la vapeur dans les corps de chauffe se fait par en bas au lieu de se faire par en haut, on peut, par des dispositifs appropriés, mélanger la vapeur avec l'air qui se trouve déjà dans le corps de chauffe et faire circuler le mélange, ce qui permet d'obtenir un échauffement plus uniforme et relativement plus bas de toutes les surfaces de chauffe (Körting frères), pourtant il faut donner aux corps de chauffe une forme particulière permettant l'installation desdits dispositifs. On peut peut-être arriver au même résultat en mélangeant d'une manière générale de l'air à la vapeur à introduire dans les corps de chauffe (Brevet Körting frères). L'expérience montrera quelle confiance on peut avoir dans ce genre d'installation et à combien se montent les frais d'exploitation.

Comme l'hygiène exige que la température de la surface externe des corps de chauffe ne soit pas supérieure à 80° parce qu'autrement la poussière organique en contact avec cette surface se décompose, il faut, quand on veut mélanger de l'air à la vapeur, faire en sorte que ce mélange se fasse de telle façon que la température de 80° ne soit pas dépassée, même quand les besoins de chaleur atteignent leur maximum. Les corps de chauffe doivent donc avoir presque la même grandeur que ceux d'un chauffage à eau chaude. Il en résulte naturellement que le coût de l'installation se rapproche beaucoup de celui d'un chauffage à eau chaude.

Quoi qu'il en soit, il faut saluer avec joie les efforts faits pour arriver à régler la chaleur et l'émission de chaleur comme dans un chauffage à eau chaude, et leur importance est très grande. On n'a pas encore actuellement atteint la perfection comme dans le chauffage à eau chaude.

Le *gel* de l'installation, comme il se produit dans le chauffage à eau chaude, est impossible, car la vapeur même ne peut pas geler. Mais il peut très bien arriver que l'eau de condensation gèle et cela se produit facilement dans les installations qui, pendant la période de repos, peuvent se refroidir au-dessous de 0° (réchauffement de l'air dans les chauffages à air chaud, chauffages d'églises, etc.). Le gel a lieu alors pendant la mise en train de l'installation, parce que la vapeur pénétrant dans le système se condense rapidement, et que l'eau de condensation gèle après un très court trajet dans l'installation refroidie.

La durée de la conduite est presque illimitée dans un chauffage à eau chaude ; dans le chauffage à vapeur, on peut toujours craindre, comme déjà dit page 420, l'oxydation des conduites de retour. Les inconvénients constatés sous ce rapport par la pratique ont conduit en leur temps à construire des installations de chauffage à vapeur à basse pression dénommées « *Installations pauvres d'oxygène* ». On entend par là des installations dans lesquelles à la mise en train l'air ne peut pas s'échapper à l'extérieur, mais est conduit dans un réservoir d'où à l'arrêt ou à la diminution de la marche il retourne entièrement ou en partie dans la tuyauterie et les corps de chauffe (Système Käuffer). On espérait amener ainsi la consommation rapide de l'oxygène de l'air par suite de l'oxydation du fer et empêcher par là la propagation de la rouille du fer. Des analyses ont pourtant montré que le but n'est pas atteint, car surtout pendant l'été, il est impossible d'éviter l'échange de l'air intérieur avec l'extérieur. Si l'on veut être certain que la conduite ne s'oxydera pas, il faut ou la construire en cuivre, ce qui, à vrai dire, réduirait à néant l'avantage que possède l'installation d'être meilleur marché qu'un chauffage à eau chaude, ou à la fin de l'exploitation hivernale, remplir le système d'eau bouillie.

Par suite des faibles tensions de la vapeur, on peut, dans le chauffage à vapeur à basse pression, ramener à la chaudière directement, c'est-à-dire sans qu'il soit nécessaire d'avoir des appareils intermédiaires, l'eau de condensation. Comme il n'y a que de l'eau dans la conduite de retour, donc que toute la vapeur doit être condensée précédemment, l'eau doit entrer dans la chaudière audessous du dôme de vapeur. Naturellement, proportionnellement à la pression de la vapeur dans la chaudière, le niveau de l'eau dans la conduite de retour est plus élevé que dans la chaudière ; plus la tension de la vapeur est grande, plus la colonne d'eau est haute dans cette conduite. La colonne d'eau ne doit pas naturellement monter jusque dans les corps de chauffe, en conséquence, la tension de vapeur à maintenir doit être d'autant plus faible que la distance verticale de la chaudière aux corps de chauffe qu'elle alimente est plus faible.

Cette particularité, ainsi que la plus grande facilité de réglage, dont on parlera plus loin, de l'émission de chaleur des corps de chauffe quand la tension de la vapeur est faible et en outre le fonctionnement sans bruit de l'installation qui en résulte, conduisent à choisir la tension de vapeur la plus faible possible. On a pris une tension de plus en plus faible, c'est-à-dire jusqu'à 0,05 atm. et en dessous. Il est bon, en tous cas, que *toujours* la tension avant les vannes des corps de chauffe soit aussi faible que possible, tan-

dis que dans les conduites maîtresses, il peut plutôt régner une tension un peu plus haute. Le courant de vapeur fait principalement du bruit quand il se produit une chute de tension soudaine, donc lors de l'entrée de la vapeur dans les corps de chauffe. Plus la tension de la vapeur avant les vannes des corps de chauffe est grande, plus le passage libre de la vanne doit être petit, d'autant plus grande est la chute de tension.

Le *domaine d'application* du chauffage à vapeur à basse pression est très étendu. Si d'après ce qui a déjà été dit, ce système est très inférieur au chauffage à eau chaude pour le chauffage des habitations et locaux analogues, il doit être pris en considération partout où il s'agit de l'échauffement rapide et où, après arrêt de la marche de l'installation, on peut ou on désire obtenir un refroidissement rapide. Il convient par exemple aux théâtres, aux salles de réunion et de spectacle, aux hôtels où l'occupation des chambres varie fréquemment, aux églises, etc. Il ne convient pas moins à l'échauffement central de l'air, surtout dans les installations à pulsion, car alors par suite de la grande vitesse à laquelle l'air passe sur les surfaces de chauffe, la poussière ne peut atteindre la température nécessaire pour amener leur décomposition, et on peut aussi prévoir que, par suite de l'absorption croissante de la chaleur, la température des surfaces de chauffe répondra déjà aux conditions imposées par l'hygiène.

## II. — DISPOSITION GÉNÉRALE D'UN CHAUFFAGE A VAPEUR A BASSE PRESSION

La figure 91 montre les dispositions les plus usuelles de chauffage à vapeur à basse pression. Dans ces dispositions, la distribution de la vapeur se fait au-dessous des corps de chauffe, mais l'eau de condensation est rassemblée sur le côté droit du croquis au-dessus, sur le côté gauche au-dessous de la chaudière. Dans le premier cas, l'air chassé des corps de chauffe et des tuyaux par la vapeur pénètre dans les conduites de retour, pour s'échapper en *a* (*conduite de retour sèche*); dans le deuxième cas, dans lequel la conduite de retour est toujours pour la plus grande partie remplie d'eau (*conduite de retour mouillée*), il est nécessaire de prévoir pour les colonnes un évent spécial de faible section et placé au-dessus de la chaudière, par lequel l'air s'échappe également en *a*. Les conduites de retour sèches sont les plus fréquemment employées; les conduites mouillées sont surtout employées quand il n'existe pas de place suffisante pour les tuyauteries et qu'on ne

peut poser au-dessus de la chaudière que l'évent relativement mince. Mais les conduites de retour mouillées ont l'avantage d'offrir moins de danger d'oxydation.

On peut naturellement aussi conduire d'abord la conduite de vapeur au grenier — c'est le meilleur moyen d'empêcher toute production de circuit pendant le fonctionnement — puis la raccorder aux diverses colonnes. La disposition de la conduite de vapeur est alors exactement la même que celle de la conduite de départ d'un chauffage à eau chaude avec distribution par en haut de sorte que nous pouvons référer à la figure 47.

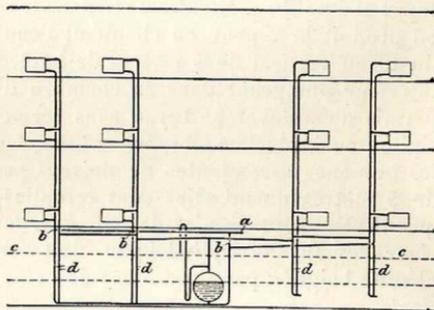


Fig. 91.

Le raccord des événements (*b*) doit toujours être *au-dessus* du niveau (*c*) le plus élevé auquel, quand l'installation fonctionne, peut atteindre l'eau dans la conduite de retour.

L'eau qui s'est condensée dans les colonnes de vapeur doit toujours être amenée par les colonnes mêmes à la conduite de retour. Dans ce but, on raccorde les colonnes à la conduite de retour par des connexions (*d*). Dans le cas de conduite de retour sèche, on donne à ces raccordements la forme d'un tuyau vertical montant et redescendant (boucle d'eau) afin que la vapeur ne puisse pas entrer dans la conduite de retour. La hauteur de ces boucles doit être assez grande pour que, si la vapeur entre d'un côté et chasse l'eau de l'autre côté, la colonne d'eau de l'autre côté suffise à empêcher le passage de la vapeur.

### III. — CHAUDIÈRES A VAPEUR D'UN CHAUFFAGE A VAPEUR A BASSE PRESSION ET LEUR ARMEMENT

(Voir Planches 23-26 et 34-35).

Pour soustraire les chaudières à vapeur d'un chauffage à vapeur à basse pression aux prescriptions, autorisations et surveillances continues auxquelles sont soumises les chaudières à vapeur à haute pression, il faut, conformément à la loi, les raccorder à un tuyau d'équilibre, sans fermeture possible, ouvert à l'air libre

pénétrant dans la chambre d'eau, d'une hauteur ne dépassant pas 5 mètres et d'un diamètre de moins de 8 centimètres ou les munir de tout autre dispositif de sûreté admis par l'administration. De la première condition il résulte que la tension de la vapeur ne peut pas être de plus de 0,5 atm., c'est-à-dire que si la tension de la vapeur devient supérieure, l'eau de la chaudière est chassée du tuyau d'équilibre. En Prusse<sup>1</sup>, dans les chaudières dans lesquelles on produit la vapeur en chauffant l'eau par feu direct, à la place du tuyau vertical de 5 mètres de haut, 8 centimètres de diamètre intérieur plongeant dans la chambre d'eau, il est ordinairement permis d'employer un tuyau sans fermeture possible en forme de siphon ou à plusieurs branches ascendantes et descendantes, dont les branches ascendantes ne doivent pas ensemble s'élever à plus de 5 mètres quand elles sont remplies d'eau, et à plus de 0,37 quand elles sont garnies de mercure, tandis que le diamètre intérieur des tuyaux cylindriques doit être partout, la surface de chauffe baignée par l'eau étant de :

1	mètre carré, d'au moins	28	millimètres.
2	—	30	—
3	—	35	—
4	—	40	—
5	—	45	—
6	—	50	—
7,5	—	55	—
8,5	—	60	—
10	—	65	—
11,5	—	70	—
13	—	75	—
de plus de 13	—	80	—

Si la section du tuyau d'équilibre ou d'une partie de ce tuyau n'est pas cylindrique, il faut prendre pour base une grandeur de section équivalente à la surface cylindrique du diamètre donné.

Les chaudières d'un chauffage à vapeur à basse pression ne diffèrent pas essentiellement de celles d'un chauffage à eau chaude, mais elles doivent naturellement posséder un dôme de vapeur et ce dôme ne doit pas être en contact avec les gaz chauds. Toutes les chaudières, dans lesquelles d'après leur forme on doit s'attendre à des entrainements d'eau, doivent être pourvues de collecteurs de vapeur dans lesquels l'eau entraînée se sépare de la vapeur avant que celle-ci pénètre dans la tuyauterie et retourne à la chaudière.

Le bon fonctionnement d'une chaudière à vapeur à basse pres-

<sup>1</sup> Pour les instructions en vigueur en France voir à l'appendice le décret du 9 octobre 1907.

sion dépend essentiellement du maintien dans la chaudière d'une tension de vapeur aussi uniforme que possible. Comme dans une installation de chauffage les besoins de chaleur sont exposés à varier dans de grandes proportions et souvent presque soudainement, il faut dans un chauffage à vapeur à basse pression que la production de la vapeur se conforme aussi rapidement que possible à ces variations, mais sans qu'il soit nécessaire d'augmenter ou de diminuer considérablement la tension de la vapeur. On ne peut en réglant à la main parvenir à régler la marche de la combustion comme il convient ; il est donc indispensable d'avoir recours à des *régulateurs automatiques de combustion*. Ces régulateurs constituent par conséquent une partie importante d'un chauffage à vapeur à basse pression et reposent sur l'utilisation de toute variation de la tension de vapeur exigée pour augmenter ou diminuer l'activité de la combustion, c'est-à-dire pour régler l'accès de l'air au combustible. Ce réglage peut se faire soit directement, soit indirectement en réglant l'écoulement des gaz de combustion. Dans ce dernier cas soit en étranglant comme il convient la section du canal de fumée, soit en modifiant le tirage de la cheminée en introduisant dans la cheminée une quantité convenable d'air. Dans le réglage direct de l'accès de l'air au combustible des inétabilités de la maçonnerie de la chaudière, aussi quand les cheminées sont très larges, des courants d'air froid constitués par l'air extérieur pénétrant dans la cheminée peuvent nuire à l'effet voulu ; dans le réglage de l'écoulement des gaz de combustion, par contre, il peut se produire en cas de soudaine et importante diminution des besoins de chaleur un refoulement des gaz de fumée vers la chambre de chauffe, même si le régulateur de combustion — ce qu'on observe toujours lors de l'exécution — ne ferme pas complètement la conduite de départ de fumée.

La plupart du temps les appareils en question sont construits de façon à régler en même temps l'accès de l'air au combustible et l'écoulement des gaz de fumée et de telle manière que le réglage de l'accès de l'air précède le réglage de l'écoulement des gaz.

Le fonctionnement des régulateurs de combustion connus jusqu'à présent est basé en partie sur la dilatation d'une membrane (ordinairement en caoutchouc) par l'augmentation de la pression de vapeur, en partie sur le refoulement d'un liquide provoqué par l'augmentation de la pression de la vapeur. Quand on emploie une membrane, celle-ci par suite de sa dilatation agit sur un dispositif de réglage (clapet, etc.) ; quand on fait intervenir le refoulement d'un liquide (eau, mercure, etc.), ce liquide peut par déplacement d'équilibre ou en soulevant un flotteur actionner un mécanisme.

L'eau de la chaudière même peut être utilisée directement comme liquide obturateur du canal d'air ou du canal de fumée en question. On emploie aussi fréquemment dans la pratique, pour arrêter définitivement l'air de combustion, l'eau chassée du tuyau d'équilibre quand la limite de tension est dépassée, de sorte que quand le régulateur de combustion refuse de fonctionner par exemple pendant la nuit le feu est en fin de compte éteint et la chaudière ne peut brûler.

Les régulateurs de combustion doivent être construits de façon à compenser les variations de la pression de l'air extérieur dans son influence sur l'afflux de la vapeur aux corps de chauffe, si leur réglage se fait à l'aide de la pression de l'air extérieur, et on doit considérer comme les meilleurs régulateurs de ce genre ceux qui possèdent le plus petit nombre de pièces mobiles. Les pièces mobiles peuvent s'user rapidement ou refuser de fonctionner.

Un régulateur de combustion ne peut naturellement pas remplir son rôle si on ne prend pas les dispositions nécessaires pour l'approvisionnement uniforme du combustible proportionnellement à la combustion. Par suite, il faut munir le foyer de tous les chauffages à vapeur à basse pression d'une réserve convenable de combustible, c'est-à-dire donc règle générale prévoir des foyers à magasin.

Le foyer à magasin permet aussi la marche de nuit, si la chaudière peut contenir la quantité de combustible suffisante. Si on prescrit la marche à feu continu, l'ingénieur doit surveiller l'exécution de cette condition, c'est-à-dire exiger qu'il ne soit pas nécessaire de charger la chaudière pendant la nuit, donc pendant un laps de temps d'au moins sept heures, quand la température extérieure est la plus basse. On n'accorde fréquemment pas assez d'attention à ce détail de construction.

L'installation d'un régulateur de combustion nécessite la fermeture hermétique de la porte d'allumage et de la porte du cendrier. En outre il faut munir la chaudière d'un indicateur de niveau d'eau, d'un manomètre avec point de repère du niveau d'eau maximum et minimum et autant que possible d'un sifflet d'alarme fonctionnant quand le niveau d'eau descend au-dessous du niveau minimum permis.

Comme déjà dit il faut s'attacher à obtenir de la vapeur aussi sèche que possible et en cas de besoin on doit en plus du collecteur de vapeur installer encore un séparateur d'eau.

IV. — CORPS DE CHAUFFE D'UN CHAUFFAGE A VAPEUR  
A BASSE PRESSION

(Voir Planches 14-16.)



## CHAPITRE XV

### A. — CHAUFFAGE MIXTE

(Voir planche 27).

#### I. — DISPOSITION GÉNÉRALE ET DOMAINE D'APPLICATION

Le chauffage mixte est un chauffage ordinaire à eau chaude, dans lequel l'eau dans la chaudière est chauffée non plus par feu direct mais par la vapeur. L'installation se compose par suite d'un chauffage à eau chaude et d'un chauffage à vapeur, à disposer et à calculer séparément conformément aux méthodes données précédemment.

Pour éviter des troubles de nature très diverse on ne doit pas chauffer l'eau en y introduisant directement la vapeur mais la chauffer indirectement par la vapeur au moyen de surfaces de chauffe à vapeur. Comme la transmission de la chaleur de la vapeur à l'eau se fait très rapidement, il n'est besoin que de surfaces de chauffe relativement petites et par conséquent aussi de petites chaudières de chauffe pour le chauffage de l'eau. Les surfaces de chauffe à vapeur employés ordinairement sont constituées par des tuyaux traversant la chaudière pour eau chaude.

Fréquemment d'ailleurs on n'emploie pas de chaudière, et on se contente d'intercaler dans la tuyauterie une sorte de récipient contenant un grand nombre de tuyaux en cuivre rangés uniformément, traversés par la vapeur et entourés par l'eau circulant en sens opposé de la vapeur (réchauffeur) — voir planche 27.

On donne ordinairement à l'eau la température désirée, correspondant aux besoins de chaleur, en mesurant à l'aide d'une vanne à commande automatique la quantité de vapeur introduite dans les tuyaux, soit directement par le réglage de l'afflux de la vapeur ou indirectement en cantonnant l'eau de condensation, de façon à soustraire à l'entrée de la vapeur une partie plus ou moins grande de la surface de chauffe baignée par l'eau. Comme la quantité de vapeur à faire affluer doit correspondre à des besoins de chaleur

variables, que la vanne doit donc fonctionner à différentes températures de l'eau, mais qu'actuellement il n'existe encore aucun appareil pouvant commander automatiquement la vanne selon les besoins, il est nécessaire pour maintenir l'eau à une température déterminée de disposer d'un dispositif se manœuvrant à la main et réglant le fonctionnement de la vanne.

En général il n'est pas possible d'arriver de façon absolument satisfaisante à maintenir l'eau à une température déterminée par le réglage de l'entrée de la vapeur, car dans la vapeur à basse pression une légère modification de la position de la vanne influe déjà considérablement sur la quantité de vapeur affluant dans le corps de chauffe, mais dans la vapeur à haute pression le réglage par des vannes est à peine possible (voir p. 412). Par suite dans les chaudières à eau chaude à tuyaux de vapeur — pour arriver à ce que la température de l'eau s'écarte peu de la température voulue — on sectionne la surface de chauffe ordinairement en deux, trois ou plusieurs parties fonctionnant indépendantes les unes des autres. Malgré cela, comme la vapeur a toujours plus de 100°, mais que dans un chauffage à basse pression par eau chaude l'eau ne doit pas être chauffée à plus de 80 ou 90°, il faut toujours prendre des précautions pour éviter le surchauffage de l'eau. Dans ce but, il est bon de prévoir en plus des régulateurs automatiques des dispositifs d'alarme fonctionnant aussitôt que la température permise est dépassée; les dispositifs les plus simples sont des thermomètres électriques reliés à une sonnerie.

On obtient un réglage de la température de l'eau meilleur que celui décrit ci-dessus — réglage malheureusement pas encore assez employé dans la pratique — en maintenant dans une petite chaudière une partie de l'eau toujours à la température maxima correspondant à la température de la vapeur et en mélangeant à l'eau en retour du chauffage à eau chaude autant d'eau provenant de cette chaudière qu'il est nécessaire pour que cette eau entre de nouveau à la température voulue dans la conduite de départ. Naturellement cette disposition ne dispense pas de l'installation d'appareils réglant automatiquement le mélange exact de l'eau, mais il est toujours plus facile de régler par des vannes des quantités d'eau que des quantités de vapeur et d'obtenir une température d'eau constante en mélangeant à l'eau refroidie de l'eau chauffée à une plus haute température, qu'en réchauffant à des surfaces de chauffe à vapeur l'eau refroidie, surtout si l'eau d'appoint possède une température toujours constante.

Le domaine d'application du chauffage mixte (eau chauffée par la vapeur) est assez étendu, car dans tous les cas où l'on a besoin

de la vapeur pour d'autres besoins, il y a aussi possibilité de réchauffer par la vapeur l'eau d'un chauffage à eau. C'est principalement quand il s'agit de munir d'un chauffage à eau chaude un grand nombre de bâtiments que l'on doit alimenter de chaleur d'un point central et quand on a besoin de la vapeur pour d'autres usages (force motrice, buanderie, bain, cuisine, désinfection, stérilisation, etc.) que le chauffage mixte entre en question — ces derniers temps ordinairement en concurrence avec le chauffage à eau chaude à longue distance. Mais dans de grands bâtiments comprenant des chauffages par groupes, le chauffage mixte est aussi fréquemment tout indiqué pour éviter d'avoir plusieurs foyers; ce chauffage convient quand dans un bâtiment on doit chauffer des pièces par un chauffage à eau chaude, d'autres par un chauffage à vapeur et quand on joint au chauffage une installation de ventilation de grande étendue.

Dans bien des cas (par exemple dans des bâtiments à qui en semaine une fabrique peut fournir de la vapeur), le chauffage mixte se recommande aussi pour de petites installations, mais il faut que l'installation soit telle qu'il soit possible de chauffer l'eau de la chaudière aussi bien par la vapeur que par feu direct.

## II. — CALCUL DU CHAUFFAGE MIXTE (EAU CHAUFFÉE PAR LA VAPEUR)

## B. — CHAUFFAGE COMBINÉ

(Voir planche 28).

Il peut être question de chauffage combiné, vapeur et eau, si, dans de grands bâtiments, il paraît désirable de n'avoir qu'un foyer, s'il est important de chauffer rapidement les locaux, et s'il doit rester de l'eau chaude à disposition dans les locaux quand on a arrêté la marche du système.

Dans ce but, on emploie deux types de corps de chauffe. Les corps de chauffe du premier type sont en partie remplis d'eau ; la vapeur pénètre au-dessus de cette eau. Dans chaque corps de chauffe il y a un ou plusieurs trop-pleins pour l'évacuation de l'eau de condensation qui s'y forme. La vapeur y entre en même temps et occasionne de cette manière un réchauffement rapide de l'eau.

Les corps de chauffe du deuxième type sont également remplis entièrement ou en partie d'eau, mais leur réchauffement se fait seulement par des surfaces de chauffe à vapeur, ordinairement des tuyaux. Il faut prendre les dispositions nécessaires pour qu'il soit possible d'ajouter de l'eau de temps à autre et que, quand les corps de chauffe sont très remplis ou complètement remplis d'eau, il puisse s'échapper une quantité d'eau correspondant à la dilatation. Dans ce but, on installe sur chaque corps de chauffe une cloche d'air, ou on raccorde tous les corps de chauffe à une cloche d'air collective ou vase d'expansion dans le grenier.

Jusqu'à ce que le régime soit établi, les corps de chauffe fonctionnent ordinairement avec bruit, tout particulièrement les corps de chauffe avec entrée de vapeur directe. Un autre désavantage est que, quand l'eau s'est échauffée dans les corps de chauffe, il n'est plus possible de régler la chaleur et que l'on ne peut emmagasiner qu'une quantité de chaleur relativement minime. Alors qu'il y a vingt-cinq ans le chauffage combiné, eau et vapeur, était très aimé, on ne peut actuellement que rarement l'employer à cause des défauts qui viennent d'être mentionnés. Il réunit, à proprement parler, à peu près tous les désavantages du chauffage à vapeur et du chauffage à eau, sans posséder leurs avantages propres.

On calcule ce chauffage comme un chauffage à vapeur, il faut toutefois avoir soin, en déterminant la grandeur de la chaudière à vapeur, de tenir compte des quantités de chaleur nécessaires pour l'échauffement de l'eau lors de la mise en train.

## CHAPITRE XVI

### CHAUFFAGE A AIR CHAUD

(Voir planches 28-33).

Par chauffage à air chaud, on désigne une installation de chauffage dans laquelle l'échauffement des locaux se fait uniquement par introduction d'air chaud.

Si le corps de chauffe nécessaire à l'échauffement d'un local se trouve dans le local ou à côté, on a un *chauffage local à air chaud*. On entoure le corps de chauffe d'une enveloppe fixe et l'air du local s'échauffe en passant devant le corps de chauffe. Si le corps de chauffe se trouve à un étage plus bas, on donne alors au système le nom de *chauffage central à air chaud* ou simplement de *chauffage à air chaud*. Tout ce qui suit se rapporte au chauffage central à air chaud.

Comme déjà dit page 225, on distingue le *chauffage à air chaud à feu direct* et le *chauffage à air chaud et eau* (l'eau chauffant l'air) ou à *air chaud et vapeur* (la vapeur chauffant l'eau). Comme la différence provient uniquement du type des corps de chauffe utilisés pour le réchauffement de l'air, on peut traiter ensemble ces systèmes.

#### A. — DISPOSITION ET EXÉCUTION DU CHAUFFAGE A AIR CHAUD

##### I. — GÉNÉRALITÉS ET DOMAINE D'APPLICATION DU CHAUFFAGE A AIR CHAUD

La *disposition* et l'*exécution* d'un chauffage à air chaud ne se différencient, si l'installation nécessite un renouvellement de l'air dans les locaux, en aucune façon d'une installation de ventilation, et à ce point de vue nous pouvons donc référer à la partie de cet ouvrage traitant de la ventilation.

Si le chauffage à air ne doit pas être combiné avec un renouvellement de l'air du local, le système se distingue d'une installation de ventilation uniquement par la conduite de retour de l'air d'évacuation à l'appareil de chauffe en vue d'un nouveau réchauffement et par l'introduction de l'air dans les locaux. On donne à ce mode de chauffage à air chaud le nom de *chauffage à air chaud avec circulation*. L'hygiène ne peut que déconseiller ce mode de chauffage, et il ne devrait être installé et utilisé par suite dans la pratique que pour le chauffage de très grands locaux (salles, églises, etc.) où l'on veut réduire les frais d'exploitation.

Les considérations qui suivent limitent le domaine *d'application du chauffage à air chaud*.

Comme l'échauffement d'un local par introduction d'air chaud n'est possible que si l'on ménage en même temps l'évacuation de l'air, le chauffage à air chaud — abstraction faite du chauffage à air chaud par circulation — combine le chauffage et la ventilation. Cette propriété peut être dans certains cas un avantage, dans d'autres, un inconvénient. Comme un local nécessite en effet pour son échauffement à une température prescrite de l'air d'apport, un renouvellement d'air absolument déterminé, il faudra, quand les besoins de chaleur seront très grands, pour obtenir la température désirée, et quand le local est rarement utilisé ou peu fréquenté, un renouvellement d'air inutilement grand et l'économie de l'exploitation en sera défavorablement influencée.

S'il s'agit de chauffer par un corps de chauffe commun un certain nombre de pièces nécessitant une ventilation d'une importance *déterminée* (écoles, etc.) et que doit satisfaire l'installation, chaque pièce exige pour l'air d'apport une température déterminée correspondant aux besoins de chaleur. Comme au corps de chauffe commun l'air ne peut être réchauffé qu'à *une* température unique, il faut donc prévoir pour chaque pièce le mélange d'une quantité convenable d'air réchauffé avec l'air non réchauffé, ce qui naturellement a pour conséquence de rendre le service d'autant plus difficile que l'occupation des locaux restant la même, le renouvellement de l'air ne doit pas être modifié, les besoins de chaleur étant pourtant sujets à de grandes variations selon la température extérieure. C'est la cause de la plupart des plaintes occasionnées par les chauffages à air chaud.

Il faut enfin faire remarquer que pour le renouvellement de l'air l'on ne dispose dans les chauffages à air chaud sans ventilateur que d'une force relativement faible et par suite si le bâtiment est exposé à des coups de vent l'échauffement des locaux est soumis à des influences gênantes. Si l'on peut de temps à autre se con-

tenter d'un renouvellement d'air plus faible que le renouvellement d'air exigé, on ne pourra pourtant en aucun cas se contenter d'une température insuffisante.

Il résulte de ce qui a été dit que pour des bâtiments très exposés au vent (villas, pavillons, etc.) il ne faut pas employer de chauffage à air chaud, en outre que ce chauffage n'est pas recommandable pour des locaux possédant de grands besoins de chaleur mais de faibles besoins de ventilation et que dans l'installation d'un chauffage à air chaud, autant que possible chaque pièce dans laquelle on doit maintenir un renouvellement d'air déterminé devrait avoir un corps de chauffe spécial.

Comme la réalisation de la dernière condition augmente les frais de l'installation quand les corps de chauffe sont chauffés directement (chauffage à air chaud à feu direct), rend plus difficile le service et occasionne des désavantages économiques, le chauffage qui convient pour les locaux avec renouvellement d'air prescrit est le chauffage à air chaud par eau ou vapeur (l'air étant chauffé par l'eau ou par la vapeur).

Convenablement employé et construit, le chauffage à air chaud est non seulement parfaitement à sa place dans beaucoup de cas, mais est encore le seul système de chauffage qui convienne et que l'on doive employer. C'est surtout vrai quand il s'agit de chauffer un local dans lequel doivent se réunir un grand nombre de personnes et que l'installation doit surtout servir, avant l'occupation du local à son échauffement et pendant l'occupation à sa ventilation ou même à son rafraîchissement (théâtres, salles de réunion enclavées, etc.).

Le reproche que l'on adresse souvent au chauffage à air chaud de *dessécher* l'air n'est pas fondé (d'après ce qui est dit page 40) ; par contre on ne peut nier que le renouvellement d'air, parfois très grand, que nécessite le local, exerce une action desséchante sur les objets en contact avec l'air, si on ne prend soin d'humidifier suffisamment l'air. De défectueuses constructions de chauffage à air chaud ont fréquemment conduit à déclarer la guerre au chauffage à air chaud. Il est du reste regrettable que la possession d'une installation de ventilation et de chauffage conduise des personnes inexpérimentées à se sentir expertes et à rendre en général des jugements absolument faux.

Comme les chauffages à air chaud à feu direct sont de beaucoup les chauffages centraux les meilleur marché, ils sont parfois, soit par ignorance ou manque de probité, recommandés à l'architecte pour des bâtiments pour lesquels ils sont absolument impropres et acceptés par ce dernier sans qu'il se soit rendu compte si l'exécu-

tion répond aux conditions hygiéniques, techniques et économiques. On doit absolument écarter les chauffages à air chaud dans lesquels les appareils de chauffage ne sont pas accessibles, dont la construction ne peut être contrôlée et qu'il est difficile, sinon impossible, de débarrasser de toute poussière, ceux qui doivent être poussés plus qu'il ne convient si on veut obtenir la chaleur nécessaire, de sorte que les surfaces de chauffe commencent à rougir, ceux dans lesquels l'air doit entrer dans les locaux à une haute température (voir plus loin), etc. De tous les systèmes de chauffage, les chauffages à air chaud sont ceux qui ont la plus grande influence sur la construction d'un bâtiment et par suite toute modification nécessaire ultérieurement ne peut être faite qu'avec les plus grandes difficultés. On ne saurait par suite trop mettre en garde contre les chauffages à air chaud défectueux.

## II. — APPAREILS DE CHAUFFAGE D'UN CHAUFFAGE A AIR CHAUD

a. CHAUFFAGE A AIR CHAUD PAR FEU DIRECT. — Tout poêle est apte à servir d'appareil de chauffe d'un chauffage à air chaud. Mais comme ordinairement plusieurs pièces doivent être chauffées simultanément par une chambre de chauffe, les appareils de chauffage à air chaud par feu direct sont plus grands que les poêles ordinaires et sont construits en vue de cette utilisation spéciale. La grandeur des appareils de chauffe est en elle-même illimitée, pourtant on recommande de ne pas admettre de surface de chauffe de plus de 30 mètres carrés environ et d'installer plutôt plusieurs appareils de chauffe l'un à côté de l'autre, car en cas de faibles besoins de chaleur, l'emploi d'appareils de chauffe trop grands nuit à l'exploitation économique du système.

La construction des appareils de chauffe (dénommés aussi *calorifères*) varie beaucoup; on emploie ordinairement la fonte, rarement la tôle ou la maçonnerie. Le fer emmagasine peu la chaleur. Comme fréquemment dans le chauffage à air chaud on doit emmagasiner la chaleur, il serait donc à souhaiter qu'on accordât plus d'attention que précédemment dans la construction des appareils destinés à chauffer l'air à l'emmagasination de la chaleur et pour cela qu'on munit l'appareil d'un foyer à grand magasin.

Tout d'abord les appareils de chauffe en fer se composèrent de tuyaux en fer lisses et réunis en un faisceau horizontal ou vertical à travers lesquels on faisait passer les gaz du foyer en les amenant par la voie la plus courte. Ces appareils donnaient une mauvaise utilisation du combustible, devenaient facilement incandescents

et des fuites se produisaient souvent aux joints. Pour obtenir une meilleure utilisation du combustible, on donna ensuite aux appareils de chauffe la forme de tuyaux horizontaux placés l'un à côté de l'autre, pour éviter l'incandescence, on les revêtit de chamotte ou on les munit d'ailettes extérieures.

On essaya de s'opposer à la rupture des conduites en les raccordant au moyen de joints mobiles, d'éviter les fuites en employant des brides horizontales non vissées fortement l'une sur l'autre, mais bien dressées ou en recouvrant de sable, d'une façon appropriée, les points de jonction des tuyaux. Le sable permettait en même temps la mobilité des tuyaux. On emploie beaucoup plus d'appareils de ce genre que ceux d'autre forme. Dans presque toutes les constructions, on s'efforce de former les appareils d'un certain nombre d'éléments afin de pouvoir employer selon les besoins une surface de chauffe plus ou moins grande et éviter les frais de modèle.

Un appareil construit d'après les règles techniques doit, abstraction faite du bon marché, remplir les conditions suivantes :

Faible encombrement ; propagation de la chaleur sur de grandes surfaces ; distribution uniforme de la chaleur dans l'appareil de chauffe et de la chaleur émise dans la chambre de chauffe ; toutes les surfaces de chauffe doivent être bien entourées par l'air ; les différentes parties doivent pouvoir se dilater ; joints peu nombreux ; nettoyage commode de la poussière ; enlèvement facile de la suie et des cendres — ce dernier nettoyage ne doit pouvoir se faire qu'en dehors de la chambre de chauffe.

Le réglage de la combustion se fait : 1° par des ouvertures dans la porte de cendrier à fermeture hermétique, ouvertures que l'on peut ouvrir ou fermer à volonté, en manœuvrant des registres, et 2° par des registres de coupe-tirage pouvant fermer au plus 9/10 de la section du conduit de fumée. Les registres de coupe-tirage obturant complètement la section devraient, à cause du danger qu'ils présentent, être interdits par l'administration, comme cela a déjà été fait pour les trappes de poêle autrefois si employées.

Pour compenser autant que possible les irrégularités de marche, il est recommandé d'avoir un foyer à marche continue (foyer à magasin) et de le munir autant que possible d'un régulateur automatique de tirage.

Tous les appareils doivent être facilement accessibles. Il faut donc par suite — et aussi pour éviter toute perte de chaleur —

munir la chambre de chauffe d'une double porte en fer de grandeur convenable, et prévoir au moins sur les deux longs côtés de l'appareil de chauffe des passages suffisamment larges (environ 1 mètre). Si on ne peut aller d'un côté à l'autre qu'en passant incommodément par-dessus l'appareil, on recommande d'installer une double porte pour la chambre de chauffe.

Il serait bon que la chambre de chauffe fût éclairée à la lumière du jour au moyen de doubles vitres ou à la lumière artificielle. Quand on éclaire au gaz il faut veiller à ce que ni le gaz d'éclairage ni les gaz de combustion ne puissent pénétrer la chambre de chauffe, c'est-à-dire qu'il faut que la lumière ne parvienne dans la chambre de chauffe que par une fenêtre. Pour ce qui concerne le reste de la construction de la chambre de chauffe se reporter au chapitre de la ventilation page 87.

*b. CHAUFFAGE DE L'AIR PAR L'EAU OU LA VAPEUR.* — La construction des appareils de chauffe ne diffère pas essentiellement de la construction déjà décrite dans le chauffage à eau chaude ou à vapeur, seulement on construit les appareils plus grands et sans tenir compte de leur aspect. On peut arriver à régler la chaleur d'une façon satisfaisante en étranglant ou en mettant hors circuit une partie de la surface de chauffe. L'utilisation de la chaleur est d'autant plus grande que la hauteur des corps de chauffe est petite. La meilleure forme à donner à ces corps de chauffe est celle d'un serpentín, mais les spires de ces serpentins doivent être disposées de telle façon qu'on puisse les nettoyer facilement de toute poussière et que l'air soit obligé d'entourer parfaitement les tuyaux. Un grand avantage du chauffage à air avec réchauffeur à eau ou à vapeur sur le chauffage à air à feu direct consiste en ce qu'on peut sans grande difficulté donner à chaque pièce ses propres corps de chauffe et sa propre petite chambre de chauffe, par conséquent on peut introduire dans les pièces sans avoir recours à des dispositifs de mélange des quantités d'air que l'on désire à la température nécessaire. Le mieux est alors de disposer les corps de chauffe correspondants au pied des conduits ascendants, de les entourer d'une enveloppe en fer ouverte en bas et vers l'orifice du conduit et pouvant se rabattre afin de faciliter le nettoyage, ou d'un châssis en bois garni de vitres. Pour qu'en marche on n'ait pas besoin de régler les corps de chauffe par des vannes, il faut d'un point central amener aux corps de chauffe l'air réchauffé à une température toujours constante (voir p. 112).

Il ne faut pas installer de chauffage à air chaud avec réchauffeur à eau sans s'entourer de certaines précautions, car si l'installation

n'est pas entretenue avec beaucoup de soin et bien surveillée il est possible que l'eau gèle quand l'air extérieur doit être réchauffé aux corps de chauffe. A vrai dire l'auteur ne connaît encore aucun cas où l'exécution d'un chauffage à air chaud avec réchauffeur à eau faite sur sa recommandation ait donné lieu à des ennuis de cette nature. Dans le chauffage à air chaud avec réchauffeur à vapeur, le gel des corps de chauffe peut aussi se produire si, comme dans le chauffage à vapeur à basse pression, l'entrée de la vapeur et l'émission de la chaleur sont réglées par des vannes et si la vapeur ne remplit pas toujours le corps de chauffe. Il est alors opportun d'installer deux corps de chauffe superposés et de donner au corps de chauffe inférieur une grandeur telle qu'il puisse être toujours maintenu rempli de vapeur et d'employer le corps de chauffe supérieur seul pour le réglage de la chaleur selon les besoins. L'air arrivant au corps de chauffe supérieur étant alors toujours réchauffé, l'eau de condensation ne peut geler.

Dans les chauffages à air chaud par pulsion (naturellement aussi dans les installations de ventilation par pulsion) on recommande pour le réchauffement central la disposition et l'exécution des corps de chauffe dont il a été parlé lors du chauffage à eau chaude. Nous référerons à ce sujet à la page 276.

### III. — LA CANALISATION D'UN CHAUFFAGE A AIR CHAUD

La disposition des conduits d'un chauffage à air chaud ne diffère en rien de celle d'une installation ne servant qu'à la ventilation, c'est pourquoi nous référerons à ce qui a été dit dans la partie de cet ouvrage traitant de la ventilation. Comme les conduits doivent transporter de l'air réchauffé à une température plus élevée que la température ambiante, il faut prendre les précautions nécessaires pour éviter tout refroidissement. L'extension horizontale des conduits est relativement très limitée si la circulation de l'air ne se fait que par différence de température; nous avons déjà parlé de ce point de vue lors des installations de ventilation. Si on emploie l'exploitation avec ventilateur (chauffage à air chaud par pulsion) on peut conduire l'air plus loin horizontalement, mais la question du refroidissement des conduits prend alors plus d'importance. (Voir p. 112.)

CHAUFFAGE

	Pages.
CHAPITRE VII	
PRODUCTION ET UTILISATION DE LA CHALEUR . . . . .	145
I. COMBUSTIBLES . . . . .	145
II. COMBUSTION ET PRODUCTION DE LA CHALEUR. . . . .	147
1. Grille et cendrier, (148). — 2. Chambre de combustion, (151). — 3. Réglage de la combustion, (151). — 4. Formation de la fumée : <i>a.</i> Forme et arrangement spéciaux de la grille, (153). — <i>b.</i> Charge- ment graduel du combustible, (153). — <i>c.</i> Apport d'air chaud au- dessus ou derrière l'autel, (154). — <i>d.</i> Installation de plusieurs grilles à côté les unes des autres, derrière les unes les autres ou au-dessus les unes des autres, (154). — <i>e.</i> Tirage renversé, (154). — <i>f.</i> Com- bustible soumis à une préparation spéciale, (154). — <i>g.</i> Foyer à gaz, (155).	
III. CHEMINÉE . . . . .	155
1. Calcul approximatif, (155). — 2. Calcul exact, (156). — 3. Exem- ples du calcul d'une cheminée, (161).	
CHAPITRE VIII	
QUANTITÉ DE CHALEUR NÉCESSAIRE POUR L'ÉCHAUFFEMENT D'UN LOCAL CLOS. . . . .	164
I. PROPAGATION DE LA CHALEUR EN GÉNÉRAL. . . . .	164
II. QUANTITÉ DE CHALEUR QUI, A L'ÉTAT DE RÉGIME ÉTABLI SE PERD, PAR HEURE, PAR LES CORPS D'ENCEINTE D'UNE PIÈCE (TRANSMISSION DE CHALEUR). . . . .	165
1. Pose de l'équation, (165). — 2. Détermination du coefficient de transmission, (168). — 3. Exemples de détermination des coefficients de transmission, (172). — 4. Détermination de la température exté- rieure : <i>a.</i> Température de l'air extérieur enveloppant le bâtiment, (178). — <i>b.</i> Température d'une pièce dépourvue de chauffage adja- cente à une pièce chauffée, (178). — 5. Détermination de la tempé- rature intérieure, (179). — 6. Suppléments de garantie, (180).	
III. QUANTITÉ DE CHALEUR QUE PERD UN LOCAL PAR L'ABSORPTION DES CORPS D'ENCEINTE (ABSORPTION DE CHALEUR) AVANT D'ATTEINDRE LA PÉRIODE DE RÉGIME ÉTABLI (DURÉE DE LA MISE EN TRAIN). . . . .	181
1. Locaux dont les dimensions ne sont pas très importantes, (181). — 2. Locaux de grandes dimensions occupés rarement et seulement pendant peu de temps (églises, grandes salles), (183).	
IV. CALCUL DES PERTES DE CHALEUR DANS LA PRATIQUE . . . . .	184
1. Énumération des pertes de chaleur, (184). — 2. Exemple d'un calcul de transmission de chaleur et de détermination de la tempé- rature d'une pièce non chauffée, (187).	

TABLE DES MATIÈRES

571

Pages.

CHAPITRE IX

GÉNÉRALITÉS SUR LES INSTALLATIONS  
DE CHAUFFAGE . . . . .

191

I. FOYERS ET SURFACES DE CHAUFFE POUR L'ABSORPTION DE LA CHALEUR (RÉCEPTEURS DE CHALEUR) . . . . .	192
II. CORPS DE CHAUFFE . . . . .	194
1. Disposition des corps de chauffe dans les locaux à chauffer, (194). — 2. Forme des corps de chauffe. Conservation de la pureté de l'air, (197). — 3. Enveloppe des corps de chauffe, (197).	
III. CALCUL DES SURFACES DE CHAUFFE . . . . .	198
1. Pose de l'équation, (198). — 2. Détermination du coefficient de transmission $k$ , (201). — 3. Détermination des surfaces de chauffe dans la pratique, (216). — Exemples de détermination des surfaces de chauffe, (217).	
IV. PROTECTION CONTRE LA DÉPERDITION DE CHALEUR . . . . .	219
V. FONCTIONNEMENT DES INSTALLATIONS DE CHAUFFAGE . . . . .	213
VI. DIVISION DES INSTALLATIONS DE CHAUFFAGE . . . . .	224

CHAPITRE X

CHAUFFAGE LOCAL . . . . .

227

I. CHAUFFAGE PAR CHEMINÉE . . . . .	227
II. CHAUFFAGE PAR POÈLE . . . . .	227
1. Poêles pour chauffage rapide mais momentané des locaux, (229). — 2. Poêles pour chauffage rapide et durable des locaux, (230). — 3. Poêles pour chauffage lent et durable des locaux, (230). — 4. Poêles pour marche de longue durée (poêles à feu continu), (231). — 5. Poêles pour chauffer et ventiler simultanément les locaux, (232). — 6. Détermination des dimensions des poêles, (233).	
III. CHAUFFAGE PAR CANAUX . . . . .	235
Construction et calcul, (234). — Exemple de calcul d'un chauffage par canaux, (235).	
IV. CHAUFFAGE PAR LE GAZ . . . . .	236
1. Domaine d'application du chauffage par le gaz, (236). — 2. Construction des poêles à gaz, (237). — 3. Installation des poêles à gaz, (239). — 4. Détermination de la grandeur des poêles à gaz, (241).	

CHAPITRE XI

CHAUFFAGE PAR L'EAU CHAUDE . . . . .

242

4. — DISPOSITION ET EXÉCUTION DU CHAUFFAGE A EAU CHAUDE.	243
I. DIFFÉRENTS MODES D'EXÉCUTION DU CHAUFFAGE A EAU CHAUDE ET DOMAINE D'APPLICATION . . . . .	243
1. Chauffage à eau chaude par différence de densité, (243). — 2. Chauffage à eau chaude à circulation accélérée, (249). — 3. Chau-	



fage à eau chaude fonctionnant avec pompe (chauffage à eau chaude à longue distance), (255).	
II. CONTENANCE D'EAU D'UN CHAUFFAGE A EAU CHAUDE . . . . .	269
III. CHAUDIÈRE D'UN CHAUFFAGE A EAU CHAUDE . . . . .	270
1. Classification des chaudières, (271) : <i>a.</i> Chaudières pour rapide mise en train, (271). — <i>b.</i> Chaudières pour lente mise en train, (272). — <i>c.</i> Chaudières pour rapide mise en train et lent refroidissement, (272). — <i>d.</i> Chaudières pour marche continue, (273). — <i>e.</i> Chaudières pour buts spéciaux, (273). — 2. Accessoires des chaudières, (274).	
IV. CORPS DE CHAUFFE D'UN CHAUFFAGE A EAU CHAUDE . . . . .	276
1. Forme des corps de chauffe : <i>A.</i> Corps de chauffe dans les pièces à chauffer, (276) : $\alpha$ Corps de chauffe en fonte, (276). — $\beta$ Corps de chauffe en tôle, (277). — <i>B.</i> Corps de chauffe dans les chambres de chauffe, (278).	
2. Réglage de l'émission de chaleur des corps de chauffe, (280).	
V. TUYAUTERIE D'UN CHAUFFAGE A EAU CHAUDE . . . . .	283
VI. LE VASE D'EXPANSION D'UN CHAUFFAGE A EAU CHAUDE . . . . .	285
<i>B.</i> — CALCUL DU CHAUFFAGE A EAU CHAUDE . . . . .	287
I. CALCUL ET DIMENSIONS DES CHAUDIÈRES . . . . .	287
1. Calcul des chaudières, (287). — <i>a.</i> Surface de chauffe pour la période de régime, (288). — <i>b.</i> Surface de chauffe pour la mise en train, (289). — 2. Dimensions des chaudières, (291).	
II. CALCUL DES CORPS DE CHAUFFE . . . . .	292
III. CALCUL DE LA TUYAUTERIE . . . . .	293
<i>A.</i> Théorie et son application aux différents systèmes de chauffage à eau chaude, (293) : 1. Chauffage à eau chaude par densité, (293) : <i>a.</i> Théorie, (293). — <i>b.</i> Simplifications pour l'application de la théorie, (299). — <i>c.</i> Application de la théorie à chacune des formes d'exécution du chauffage à eau chaude par densité, (306) : $\alpha$ Système à un seul tuyau, (308). — $\beta$ Le système à deux tuyaux, (319). — 2. Chauffage à eau chaude à circulation accélérée, (328). — 3. Chauffage à eau chaude et emploi des pompes (chauffage à eau chaude à longue distance), (329). — <i>B.</i> Application de la théorie à la pratique, (332). — <i>C.</i> Exemples de détermination du diamètre des tuyaux et de la distribution des surfaces de chauffe pour le projet et pour l'exécution, (341).	
CHAPITRE XII	
CHAUFFAGE A EAU TRÈS CHAUDE . . . . .	372
I. DISPOSITION, EXÉCUTION ET DOMAINE D'APPLICATION . . . . .	372
II. CALCUL DU CHAUFFAGE A EAU TRÈS CHAUDE . . . . .	377
<i>a.</i> Théorie, (377). — <i>b.</i> Application de la théorie : Chauffage d'une seule pièce, (381). — Chauffage de plusieurs pièces situées au même étage, (382). — Chauffage de plusieurs pièces situées à différents étages, (388).	
III. EXEMPLES DE CALCUL D'UN CHAUFFAGE A EAU TRÈS CHAUDE . . . . .	391
Chauffage d'une seule pièce, (391). — Chauffage de trois pièces	

## TABLE DES MATIÈRES

573  
Pages.

contiguës, (393) et (398). — Chauffage de plusieurs pièces situées à différents étages, (398).

### CHAPITRE XIII

#### CHAUFFAGE PAR VAPEUR A HAUTE PRESSION. . . . . 402

##### A. — DISPOSITION ET EXÉCUTION DU CHAUFFAGE A VAPEUR A HAUTE PRESSION . . . . . 402

I. DOMAINE D'APPLICATION DU CHAUFFAGE PAR VAPEUR A HAUTE PRESSION. CHAUFFAGE A LONGUE DISTANCE . . . . . 402

II. CHOIX DE LA TENSION DE LA VAPEUR . . . . . 405

III. DISPOSITION GÉNÉRALE D'UN CHAUFFAGE A VAPEUR A HAUTE PRESSION . . . . . 406

IV. LES CHAUDIÈRES D'UN CHAUFFAGE A VAPEUR A HAUTE PRESSION. . . . . 409

V. LES CORPS DE CHAUFFE D'UN CHAUFFAGE PAR VAPEUR A HAUTE PRESSION . . . . . 411  
I. Construction et équipement des corps de chauffe, (411). — 2. Réglage des corps de chauffe, (412).

VI. LES CONDUITES D'UN CHAUFFAGE A VAPEUR A HAUTE PRESSION ET LEUR ÉQUIPEMENT. . . . . 413

I. Disposition des conduites de vapeur, (413). — 2. Exécution des conduites de vapeur, (415). — 3. Disposition et exécution des conduites d'eau de condensation, (418).

##### B. — CALCUL DU CHAUFFAGE A VAPEUR A HAUTE PRESSION . . . . . 421

I. CALCUL DE LA CHAUDIÈRE A VAPEUR . . . . . 421

II. CALCUL DES CORPS DE CHAUFFE . . . . . 423

III. CALCUL DES CONDUITES DE VAPEUR . . . . . 423

A. Théorie, (423). — B. Application pratique de la théorie, (428). — C. Exemples de calcul d'une conduite de vapeur à haute pression, (431).

IV. CALCUL DES CONDUITES DE RETOUR . . . . . 440

### CHAPITRE XIV

#### CHAUFFAGE A VAPEUR A BASSE PRESSION . . . . . 442

##### A. — DISPOSITION ET EXÉCUTION DU CHAUFFAGE A VAPEUR A BASSE PRESSION . . . . . 442

I. DOMAINE D'APPLICATION DU CHAUFFAGE A VAPEUR A BASSE PRESSION ET CHOIX DE LA TENSION DE LA VAPEUR . . . . . 442

II. DISPOSITION GÉNÉRALE D'UN CHAUFFAGE A VAPEUR A BASSE PRESSION . . . . . 446

III. CHAUDIÈRES A VAPEUR D'UN CHAUFFAGE A VAPEUR A BASSE PRESSION ET LEUR ARMEMENT. . . . . 447

IV. CORPS DE CHAUFFE D'UN CHAUFFAGE A VAPEUR A BASSE PRESSION . . . . . 451

V. CONDUITES D'UN CHAUFFAGE A VAPEUR A BASSE PRESSION . . . . . 454

##### B. — CALCUL DU CHAUFFAGE A VAPEUR A BASSE PRESSION . . . . . 455

I. CALCUL DES CHAUDIÈRES A VAPEUR. . . . . 455



	Pages.
II. CALCUL DES CORPS DE CHAUFFE . . . . .	455
III. CALCUL DE LA CONDUITE . . . . .	455
<i>A.</i> Théorie, (456). — <i>B.</i> Application pratique de la théorie, (459).	
— <i>C.</i> Exemple de détermination de la conduite d'un chauffage à vapeur à basse pression, (464).	

## CHAPITRE XV

<i>A.</i> — CHAUFFAGE MIXTE . . . . .	
I. DISPOSITION GÉNÉRALE ET DOMAINE D'APPLICATION . . . . .	471
II. CALCUL DU CHAUFFAGE MIXTE . . . . .	473
<i>B.</i> — CHAUFFAGE COMBINÉ . . . . .	
	476

## CHAPITRE XVI

## CHAUFFAGE A AIR CHAUD. . . . . 477

<i>A.</i> — DISPOSITION ET EXÉCUTION D'UN CHAUFFAGE A AIR CHAUD. 477	
I. GÉNÉRALITÉS ET DOMAINE D'APPLICATION DU CHAUFFAGE A AIR CHAUD. . . . .	477
II. APPAREILS DE CHAUFFE D'UN CHAUFFAGE A AIR CHAUD . . . . .	480
<i>a.</i> Chauffage à air chaud par feu direct, (480). — <i>b.</i> Chauffage de l'air par l'eau ou la vapeur, (482).	
III. — CANALISATION D'UN CHAUFFAGE A AIR CHAUD. . . . .	483
<i>B.</i> — CALCUL DU CHAUFFAGE A AIR CHAUD . . . . .	
	484
I. CALCUL DES APPAREILS DE CHAUFFE. . . . .	484
<i>a.</i> Quantité de chaleur à livrer par l'appareil de chauffe, (484). —	
<i>b.</i> Grandeur de l'appareil de chauffe : $\alpha$ ) Chauffage à air chaud avec foyer, (485). — $\beta$ ) Chauffage à air chaud avec réchauffeur à eau ou à vapeur, (486).	
II. CALCUL DES PERTES DE CHALEUR D'UN CONDUIT . . . . .	487
III. CALCUL DES SECTIONS DES CONDUITS ET DE LA QUANTITÉ D'AIR NÉCESSAIRE. 487	
1 <sup>er</sup> Cas : Le renouvellement d'air dans les locaux à chauffer n'est pas prescrit : <i>a.</i> Renouvellement d'air nécessaire pour l'échauffement d'un local, (488). — <i>b.</i> Quantité d'air à prendre à l'extérieur, la température extérieure étant la plus basse, (488). — <i>c.</i> Quantité d'air à réchauffer à l'appareil de chauffe, (488). — <i>d.</i> Quantité d'air à prendre pour base du calcul des sections des conduits, (488). — <i>e.</i> Températures à prendre pour base du calcul des sections des conduits, (491). — 2 <sup>e</sup> Cas : Le renouvellement d'air dans les locaux à chauffer est prescrit : <i>a.</i> Détermination de la température d'afflux de l'air d'apport pour les plus grands besoins de chaleur en admettant le renouvellement d'air prescrit ou en fixant le renouvellement d'air nécessaire à la température extérieure la plus basse, (491). — <i>b.</i> Quantité d'air à prendre à l'extérieur quand la température extérieure est la plus basse, (492). — <i>c.</i> Quantité d'air à réchauffer à l'appareil de chauffe, (492). — <i>d.</i> Quantité d'air à prendre pour base du calcul des	

