autour de lui ; sa force élastique diminue, au point de ne plus faire équilibre à la pression atmosphérique, qui s'exerce au-dessus du piston P : celui-ci retombe alors jusqu'au bas de sa course. En même temps, la masse P'P' remonte, l'air est de nouveau exposé au bec de gaz, et le mouvement de va-et-vient continue. Il est facilité et régularisé par un volant, qu'on pousse à la main pour la mise en marche.

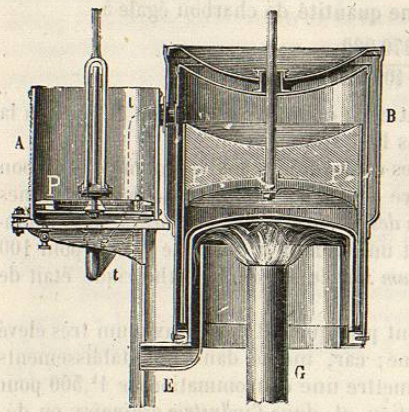

Fig. 810.

3° *Inconvénients des moteurs à air chaud.* — Les meilleures machines construites d'après ce principe sont celles de Stirling et d'Ericsson. Elles ont fonctionné assez longtemps pour qu'on pût apprécier leur utilité pratique. Leur coefficient économique a pu être élevé jusqu'à la valeur limite de $\frac{1}{2}$. Mais elles ont l'inconvénient d'être volumineuses et encombrantes. De plus, l'air surchauffé a présenté l'inconvénient imprévu d'attaquer les métaux et de détériorer rapidement les organes ; ce dernier inconvénient a empêché les machines à air chaud de réussir dans la pratique.

830. **Moteurs à gaz.** — On tend à leur substituer des *moteurs à gaz*, qui présentent les mêmes avantages, mais non le même inconvénient. Ce sont des espèces de machines à air chaud, dans lesquelles l'échauffement de l'air est produit par la combustion d'une certaine quantité de gaz de houille. Le premier appareil de ce genre est le moteur Lenoir ; les plus employés aujourd'hui sont le moteur Bisschop et le moteur Otto.

Dans le moteur Lenoir, un mélange gazeux, formé de 10 parties de gaz d'éclairage pour 90 parties d'air, est amené dans un corps de pompe où on l'enflamme à l'aide des étincelles d'une bobine de Ruhmkorff. Deux tiroirs placés latéralement servent tour à tour à l'admission du mélange détonant et à l'évacuation des produits gazeux de la combustion. Le corps de pompe est préservé d'un échauffement trop intense à l'aide d'une circulation continue d'eau froide. C'est une machine à double effet et à cylindre horizontal.

Dans les moteurs Bisschop et Otto le mélange gazeux a à peu près la même composition ; mais il est enflammé par un bec de gaz allumé, dit *allumeur*, avec lequel il est mis en contact par un mécanisme convenable.

Dans le premier de ces moteurs (qui n'est employé que pour des forces inférieures à 1 cheval), il y a aspiration de gaz, suivie d'une inflammation et, par suite d'une impulsion, à chaque coup de piston. Dans l'une et dans l'autre, le mouvement est entretenu et régularisé par un volant.

Ces moteurs à gaz présentent l'avantage de se mettre en train sans la préparation préalable qu'exige une machine à vapeur, et ils se prêtent très bien à un emploi intermittent de la force. Mais jusqu'à présent ils ne sont pas d'un usage pratique pour des forces supérieures à 8 chevaux-vapeur.

CHAPITRE XIX

APPLICATIONS DES LOIS DE LA CHALEUR. — CHAUFFAGE ET VENTILATION.

831. **Différentes sortes de chauffage.** — Le *chauffage* a pour objet d'utiliser, dans l'économie domestique et dans l'industrie, les sources de chaleur que nous offre la nature.

La source de chaleur principalement en usage jusqu'à nos jours est la combustion du bois, du charbon, de la houille, du coke, de la tourbe et de l'anthracite. Depuis quelques années on utilise pour le chauffage le gaz d'éclairage et les huiles essentielles.

D'après les appareils qui servent à la combustion, on peut distinguer cinq systèmes de chauffage : 1° chauffage à foyer extérieur (*cheminées*) ; 2° chauffage à foyer intérieur (*poêles*) ; 3° chauffage par l'air chaud (*calorifères à air*) ; 4° chauffage par la vapeur (*calorifères à vapeur*) ; 5° chauffage par la circulation d'eau chaude (*calorifères à eau*).

832. **Cheminées.** — *Description.* — On sait que les cheminées sont des foyers ouverts, adossés à un mur et surmontés d'un tuyau par lequel se dégagent les produits de la combustion.

Historique. — Leur invention paraît dater du premier siècle de l'ère chrétienne. Dans les temps plus reculés, le foyer était placé au milieu de la pièce à chauffer, et la fumée s'échappait par une ouverture pratiquée sur le comble des habitations. C'est pourquoi Vitruve défend d'enrichir d'ouvrages somptueux les appartements d'hiver, afin qu'ils ne soient pas endommagés par la fumée et par la suie.

Les premières cheminées, quoique placées contre les murs, n'étaient pas entourées de chambranles, mais seulement surmontées d'une *hotte* par laquelle se dégageait la fumée. Ce n'est que dans les temps modernes qu'on a donné aux cheminées la forme qu'elles ont aujourd'hui. Ce sont des physiciens qui les ont successivement perfectionnées, et particulièrement Philibert Delorme, Gauger, Franklin, Montgolfier et Rumford.

Avantages et inconvénients. — Quelques perfectionnements qu'on ait apportés à la construction des cheminées, elles sont encore le mode de chauffage le plus imparfait et le plus dispendieux ; car elles n'utilisent, avec le bois, que 6 pour 100 de la chaleur totale dégagée par le combustible, et 13 pour 100 avec le coke et la houille : cela provient de ce que, le courant d'air nécessaire à la combustion entraînant toujours une portion considérable de la chaleur produite, celle-ci va se perdre en grande partie dans l'at-

mosphère. C'est ce qui avait fait dire à Franklin que, si l'on voulait, pour une quantité de combustible donnée, obtenir *le moins de chaleur possible*, il faudrait adopter les cheminées. Néanmoins elles sont et seront toujours le mode de chauffage le plus agréable et le plus sain, à cause de la présence du feu et du renouvellement continu qu'elles entretiennent dans l'air des appartements.

833. **Tirage des cheminées.** — *Définition.* — On entend par *tirage* d'une cheminée un courant de bas en haut qui s'établit dans le tuyau par l'effet de l'ascension des produits de la combustion; quand le courant est rapide et continu, on dit que la cheminée *tire* bien.

Le tirage est dû à la différence des températures de l'intérieur et de l'extérieur du tuyau. Les gaz qui le remplissent étant moins denses que l'air de l'appartement, l'équilibre est impossible. En effet, le poids de la colonne gazeuse CD (fig. 811), du tuyau, étant moindre que celui de la colonne d'air extérieure AB, de même hauteur, il en résulte, de l'extérieur vers l'intérieur, un excès de pression qui expulse les produits de la combustion d'autant plus rapidement que la différence de poids entre les deux masses gazeuses est plus grande.

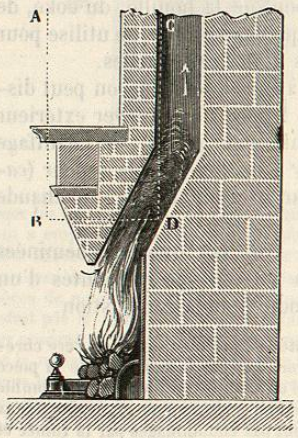

Fig. 811.

On constate très bien l'existence des courants que font naître dans les gaz les différences de température, au moyen de l'expérience suivante. On ouvre une porte mettant en communication une pièce chauffée avec une autre pièce qui ne l'est pas, puis on tient, vers le haut de la porte, une bougie allumée; on voit alors la flamme se diriger de la pièce chaude vers la pièce froide. Au contraire, si l'on pose la bougie sur le sol, la flamme se dirige de la pièce froide vers la pièce chaude. Ces deux effets sont dus à un courant d'air chaud qui s'échappe par le haut de la porte, tandis que l'air froid et plus dense qui vient le remplacer arrive par le bas.

Conditions d'un bon tirage. — Pour avoir un bon tirage, une cheminée doit satisfaire aux conditions suivantes.

1° La section du tuyau doit avoir la dimension strictement nécessaire pour l'écoulement des produits de la combustion; autrement, si cette section est trop grande, il s'établit à la fois des courants ascendants et des courants descendants, et la cheminée *fume*. Il est bon de placer au sommet du tuyau une *buse* (ou ajutage) conique plus étroite que lui, afin que la fumée sorte avec une vitesse suffisante pour résister à l'action du vent.

2° Le tuyau de la cheminée doit être suffisamment élevé; car, le tirage ayant pour cause l'excès de la pression extérieure sur la pression intérieure dans le tuyau, cet excès de pression sera d'autant plus grand que la colonne d'air échauffé sera plus haute.

3° L'air extérieur doit pouvoir pénétrer dans l'appartement où est la cheminée assez rapidement pour répondre à l'appel du foyer. Dans un appartement hermétiquement fermé, la combustion ne pourrait se prolonger, ou il s'établirait des courants d'air descendants qui rabattraient la fumée. L'air entre ordinairement en quantité suffisante par les joints des portes et des croisées.

4° On doit éviter de faire communiquer entre eux deux tuyaux de cheminée; car si l'un tire plus que l'autre, il peut se produire un courant d'air descendant qui ramène la fumée.

834. **Poêles.** — *Description.* — Les *poêles* sont des appareils de chauffage à foyer isolé, placés au milieu même de la masse d'air qu'on veut chauffer, en sorte que la chaleur rayonne dans toutes les directions autour du foyer. A la partie inférieure est la prise d'air nécessaire à la combustion, dont les produits se dégagent à la partie supérieure, par des tuyaux de tôle plus ou moins longs.

Avantages et inconvénients. — Les produits gazeux n'arrivant ainsi au dehors que très refroidis, on parvient à utiliser la presque totalité de la chaleur développée : aussi ce mode de chauffage est-il plus économique; mais il est loin d'être aussi salubre que les cheminées, car il ne donne qu'une ventilation très faible, et même nulle, surtout quand la prise d'air se fait à l'extérieur, comme cela a lieu dans les poêles suédois. Les poêles ont, en outre, l'inconvénient de répandre une odeur désagréable et des émanations délétères, surtout lorsqu'ils sont de fonte ou de tôle. Cela peut être attribué à la décomposition des matières organiques de l'ai par leur contact avec les parois chaudes des tuyaux, et aussi aux gaz du foyer, pour lesquels la fonte devient perméable à une température élevée.

835. **Chauffage à la vapeur.** — La propriété qu'ont les vapeurs de restituer leur chaleur de vaporisation lorsqu'elles se condensent a été utilisée pour le chauffage des bains, des ateliers, des édifices publics, des serres, des étuves. Pour cela on produit la vapeur dans des chaudières analogues à celles des machines à vapeur; puis on la fait circuler dans des tuyaux placés dans le lieu qu'il s'agit de chauffer. La vapeur se condense dans ces tuyaux et

leur cède toute sa chaleur latente, qui devient libre au moment de la condensation. Cette chaleur se transmet ensuite à l'air extérieur ou au liquide dans lequel sont placés les tuyaux de conduite.

836. **Chauffage par l'air chaud.** — *Calorifères à air.* — Le chauffage par l'air chaud consiste à chauffer de l'air dans la partie inférieure d'un édifice, et à le laisser ensuite s'élever jusqu'aux étages supérieurs, en vertu de sa moindre densité, par des tuyaux de conduite placés dans les murs.

Description du calorifère. — L'appareil est disposé comme le montre la figure 812. Un fourneau F, établi dans les caves, contient, à la suite les uns des autres, un système de tubes recourbés AB, dont un seul est visible dans le

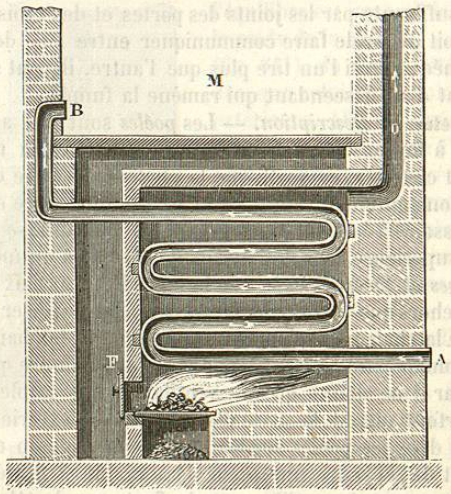

Fig 812.

dessin. C'est par l'orifice inférieur A, appelé la *prise d'air*, que l'air extérieur pénètre dans les tubes ; là il s'échauffe, et, s'élevant dans le sens des flèches, pénètre dans les appartements M par l'orifice supérieur B, qu'on nomme *bouche de chaleur*. Dans les différents étages, chaque pièce a ainsi une ou plusieurs bouches de chaleur, qu'il faut se placer le plus bas possible, l'air chaud tendant toujours à monter.

Le conduit O est un tuyau de cheminée ordinaire par lequel se dégagent du fourneau les produits de la combustion.

Avantages et inconvénients. — Les *calorifères à air* sont beaucoup plus économiques que les cheminées ; mais comme ils ne peuvent ventiler aussi bien les appartements, on doit avoir soin

de placer en haut de ceux-ci des bouches de départ pour donner dégagement à l'air vicié.

837. **Chauffage par circulation d'eau chaude.** — *Calorifères à eau.* — Le chauffage par circulation d'eau chaude consiste en un mouvement circulatoire continu d'eau qui, après s'être échauffée dans une chaudière, s'élève dans une série de tubes, puis, après s'être refroidie, revient à la chaudière par une série semblable.

Description du calorifère. — Le premier appareil propre à ce genre de chauffage fut inventé par Bonnemain, en France, vers la fin du siècle dernier. La figure 813 représente la disposition adoptée par M. Léon Duvoir pour chauf-

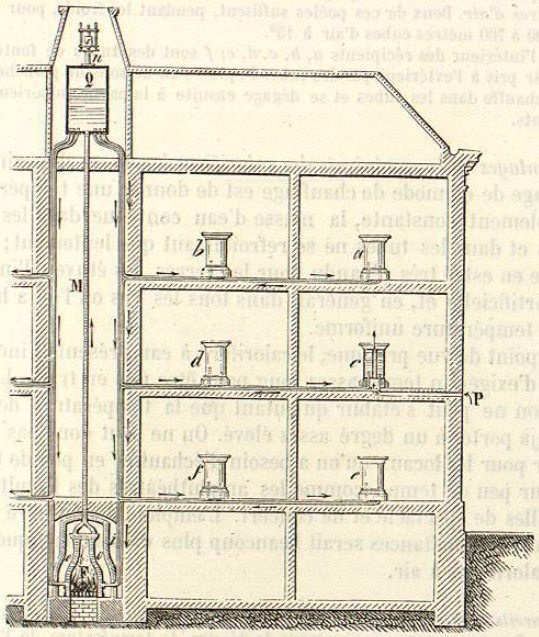

Fig. 813.

fer un édifice de plusieurs étages. L'appareil de chauffage est dans les caves; il consiste en une chaudière *oo*, en forme de cloche et à foyer intérieur F. A la partie supérieure de la chaudière est fixé un long tube M, qui se rend à un réservoir Q, placé dans les combles de l'édifice qu'on veut chauffer. Ce réservoir porte, à sa partie supérieure, une tubulure *n* fermée par une soupape *s* qu'on charge plus ou moins, de manière à limiter la tension de la vapeur dans l'intérieur de l'appareil.

La chaudière et le tube M étant remplis d'eau, ainsi qu'une partie du réservoir Q, à mesure que l'eau s'échauffe dans la chaudière, il se produit, dans le tube M un courant ascendant d'eau chaude jusqu'au réservoir Q, tandis qu'en même temps s'établissent des courants descendants d'eau moins chaude et plus dense, partant de la partie inférieure de ce réservoir, et se rendant respectivement par autant de tubes dans des récipients *b*, *a*, remplis d'eau. Puis de ceux-ci partent de nouveaux tubes dans lesquels le courant descendant se continue jusqu'à d'autres récipients *d*, *c*, et *f*, *e*; enfin, de ces derniers, le courant se continue, par des tubes de retour, jusqu'à la partie inférieure de la chaudière.

Pendant ce double parcours, l'eau chaude cédant sa chaleur sensible aux tubes et aux récipients, ceux-ci s'échauffent et deviennent de véritables poêles à eau. On en calcule facilement le nombre et les dimensions, pour chauffer un espace déterminé, en s'appuyant sur cette donnée à la fois théorique et empirique, que *un litre d'eau suffit pour communiquer une bonne température à 3200 litres d'air*. Deux de ces poêles suffisent, pendant les froids, pour entretenir 600 à 700 mètres cubes d'air à 15°.

Dans l'intérieur des récipients *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f* sont des tubes de fonte remplis d'air pris à l'extérieur par des tubes P, placés au-dessous du plancher. Cet air s'échauffe dans les tubes et se dégage ensuite à la partie supérieure des récipients.

Avantages et inconvénients des calorifères à eau. — Le principal avantage de ce mode de chauffage est de donner une température sensiblement constante, la masse d'eau contenue dans les récipients et dans les tubes ne se refroidissant que lentement; aussi l'usage en est-il très répandu pour les serres, les étuves, l'incubation artificielle et, en général, dans tous les cas où l'on a besoin d'une température uniforme.

Au point de vue pratique, le calorifère à eau présente l'inconvénient d'exiger un temps assez long pour être mis en train. La circulation ne peut s'établir qu'autant que la température de l'eau est déjà portée à un degré assez élevé. On ne peut donc pas l'employer pour les locaux qu'on a besoin d'échauffer en peu de temps et pour peu de temps, comme les amphithéâtres des Facultés ou les salles de spectacle et de concert. L'emploi du calorifère à eau dans ces circonstances serait beaucoup plus dispendieux que celui des calorifères à air.

Appareils à basse pression et *appareils à haute pression.* — Dans le calorifère de Bonnemain, que nous venons de décrire, la température de l'eau ne dépasse jamais et atteint à peine celle de l'eau bouillante. Il est le type des appareils dits *à basse pression.*

On a construit d'autres calorifères à eau, d'après le système de M. Perkins, où le liquide est porté à des températures de beaucoup supérieures à celles de l'eau bouillante (jusqu'à 300°). Ce sont les appareils *à haute pression.* Mais ce système de chauffage, qui est très avantageux au point de vue du rendement calorifique, présente de graves inconvénients. D'abord, il peut causer des incendies, en provoquant la combustion des pièces en bois voisines des tuyaux. De plus, il peut se produire des fuites par les joints ou les fissures des tuyaux, à

cause de la haute tension de la vapeur d'eau à ces températures élevées, et alors la vapeur qui s'échappe peut occasionner des explosions ou des ruptures dangereuses [1].

1. Voir dans Guillemin, *Monde physique*, t. IV, des détails intéressants sur les différents modes de chauffage.