Description et *fonctionnement.* — La vapeur d'eau arrive de la chaudière par le *tuyau* VV, lorsque le robinet qui le commande est tourné convenablement. Cette vapeur est à une haute pression, celle de la chaudière, et, comme elle est forcée de sortir par le très petit orifice de la *tuyère tt*, elle y prend une grande vitesse. A sa sortie, elle rencontre l'eau, qui vient du réservoir d'alimentation, par le *tuyau* EE ; elle pousse cette eau devant elle, tout en s'y condensant, et produit ainsi une *aspiration continue* qui fait monter le liquide par le *tuyau* E et maintient la *boîte à eau cc* toujours pleine. En

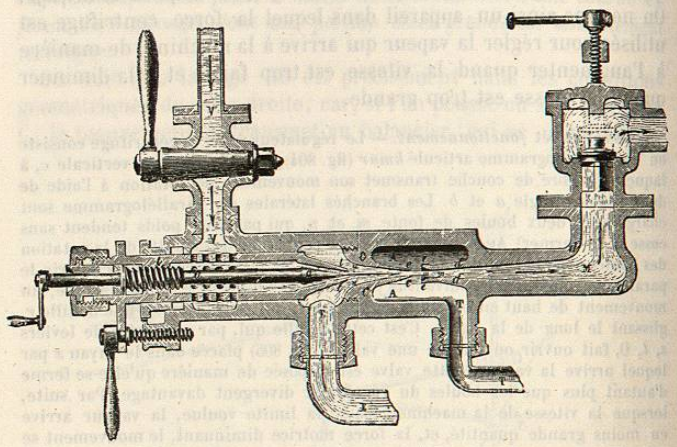

Fig. 808.

même temps, l'eau qui a reçu l'impulsion du jet de vapeur, mélangée à celle qui résulte de la condensation du jet, pénètre dans le tube divergent *dd*, y chemine en perdant peu à peu de sa vitesse initiale, et arrive, avec une vitesse convenable, dans le tuyau d'alimentation M qui la conduit directement à la chaudière. Quant à l'eau non entraînée par le jet, et à l'air qui a pu se dégager de l'eau, ils se rendent dans l'espace annulaire AA, et s'échappent par le *tuyau de déversement* TT.

La *tige filetée*, *aa*, qui se meut au moyen d'une manivelle, sert à régler le volume de vapeur débité par le cône *uu*, et, par suite, la vitesse du jet : c'est ce qu'on appelle l'*aiguille*. La vapeur pénètre dans le tube *u* par de petits trous, percés sur le pourtour de ce dernier. Enfin, la vitesse du courant d'eau qui afflue du réservoir dans la boîte à eau *cc*, est réglée elle-même à l'aide d'un levier, qui fait avancer ou reculer la *tuyère tt* parallèlement à son axe.

Avantages de l'injecteur. — La théorie complète et rigoureuse de cet appareil serait fort difficile à établir. L'inventeur, Giffard, en a donné une théorie approximative dans sa *Notice théorique et pratique sur l'Injecteur automoteur*. Cet appareil présente un grand nombre d'avantages pratiques :

1° Il s'adapte aisément à toutes les chaudières ;

2° Il fonctionne automatiquement, avec une grande régularité, en n'absorbant qu'une faible quantité de chaleur, $\frac{1}{600}$ environ de celle qui est fournie à la chaudière.

3° Il supprime le travail de la pompe à air ;

4° Il dispense de réchauffer l'eau d'alimentation.

826. **Locomotives.** — On appelle *machines locomotives*, ou simplement *locomotives*, des machines à vapeur qui, montées sur un train de voiture, se déplacent elles-mêmes en transmettant le mouvement aux roues.

Les locomotives sont à bielle articulée ; mais le volant des machines fixes y est supprimé. La forme du générateur y est aussi complètement modifiée. Les parties principales de ces machines sont le *châssis*, la *boîte à feu*, le *corps cylindrique* de la chaudière, la *boîte à fumée*, les *cylindres à vapeur* avec leurs tiroirs, les *roues motrices* et l'*alimentation*.

Description d'ensemble. — Le châssis est un cadre de bois de chêne porté par les essieux des roues et soutenant lui-même toutes les parties de la machine. Le dessin (fig. 809) représente le mécanicien qui dirige la locomotive, monté sur la plate-forme de tôle qui recouvre le châssis, au moment où il se dispose à ouvrir la *prise de vapeur* I, placée dans la partie supérieure de la boîte à feu Z. A la partie supérieure de celle-ci est le foyer, d'où la flamme et les produits de la combustion se rendent dans la boîte à fumée Y, puis dans le tuyau de la cheminée, après avoir traversé 125 tubes de cuivre, plongés dans l'eau de la chaudière.

LÉGENDE EXPLICATIVE DE LA FIGURE 809.

A. Tuyau de cuivre rouge recevant la vapeur par l'extrémité I, et se bifurquant à l'autre extrémité pour la conduire aux deux cylindres qui contiennent les pistons moteurs.
B. Poignée du levier de changement de marche. Elle transmet le mouvement à la tringle C, qui le communique à la distribution de vapeur.
C. Tringle de changement de marche.
D. Partie inférieure de la boîte à feu contenant les grilles du foyer.
E. Tuyau d'échappement de la vapeur après que celle-ci a agi sur les pistons.
F. Cylindre de fonte renfermant un piston moteur. De chaque côté de la locomotive il y en a un pareil. C'est afin de laisser apercevoir le piston qu'on a dessiné le cylindre entr'ouvert.
G. Tringle qui sert à ouvrir le tiroir I pour laisser passer la vapeur dans le tube A. Dans le dessin le mécanicien tient à la main le levier qui fait tourner cette tringle.
H. Robinet de vidange de la chaudière.
I. Tiroir s'ouvrant et se fermant à la main pour la prise de vapeur.
K. Grande bielle motrice à fourchette réunissant la tête de la tige du piston à la manivelle M de la grande roue.
L. Lampe à réflecteur servant à indiquer, pendant la nuit, l'approche de la locomotive.

M. Manivelle qui transmet à l'essieu de la grande roue le mouvement du piston.
N. Bouton d'attelage du tender qui suit la locomotive.
O. Porte du foyer par laquelle le chauffeur introduit le coke.
P. Piston métallique dont la tige s'articule à la bielle K.
Q. Tuyau de tôle par lequel se dégage la fumée, ainsi que la vapeur qui sort des cylindres.
R, R. Tuyaux conduisant l'eau du tender à deux pompes foulantes qui alimentent la chaudière, mais qui ne sont pas visibles dans le dessin.
S. Chasse-pierres destiné à écarter les pierres ou tout autre objet encombrant la voie.
T, T. Ressorts qui supportent la chaudière.
U, U. Rails de fer maintenus sur la voie par des coussinets de fonte fixés sur des traverses de bois.
V. Encadrement de la boite à étoupe des cylindres.
X, X. Corps de la chaudière, recouvert de douves d'acajou destinées à diminuer la perte de chaleur par leur faible conductibilité. On voit, au-dessous du tube A, jusqu'où s'élève le niveau de l'eau dans la chaudière. Au milieu même de l'eau sont des tubes de cuivre *a*, dans lesquels passent les produits de la combustion pour se rendre dans la boite à fumée.
Y. Boite à fumée dans laquelle débouchent les tubes *a*.
Z, Z. Boite à feu surmontée d'un dôme dans lequel se rend la vapeur.
a. Tubes de cuivre au nombre de 125, ouverts aux deux bouts, et se terminant d'une part à la boite à feu, de l'autre à la boite à fumée. Ce sont ces tubes qui transmettent la chaleur du foyer à l'eau de la chaudière et la vaporisent. Cette chaudière est dite *tubulaire*.
b. Secteur-guide placé sur le côté de la boite à feu, et portant des crans dans lesquels peut engrener le bras de levier B. Le cran extrême d'avant correspond à la marche en avant; le cran extrême d'arrière à la marche en arrière; le cran du milieu est un point mort. Les crans intermédiaires entre celui-ci et les écrans extrêmes donnent la détente pour la marche en avant ou en arrière.
e. Étuis contenant des ressorts à boudin qui règlent le jeu des soupapes *i*.
g. Sifflet d'alarme se faisant entendre à 2000 mètres.
i. Soupapes de sûreté.
m, *m*. Marchepieds pour monter sur le tablier de la locomotive.
n. Tube de cristal placé devant le mécanicien, et indiquant le niveau de l'eau dans la chaudière, avec laquelle il communique par les deux bouts.
r, *r*. Guides qui maintiennent rectiligne le mouvement de la tête du piston.
t, *t*. Robinets de purge après la mise en train et l'échauffement des cylindres.
v. Tringle qui transmet le mouvement aux robinets de purge.

827. **Classification des machines à vapeur.** — 1° *Machines à basse, à haute et à moyenne pression.* — Une machine est dite à *basse pression*, lorsque la pression de la vapeur n'y dépasse pas 1 atmosphère et $\frac{1}{4}$; à *moyenne pression*, lorsque la tension est comprise entre 2 et 4 atmosphères; et à *haute pression*, quand la pression surpasse 4 atmosphères.

2° *Machines à détente et sans détente.* — Si la vapeur arrive en plein sur le piston pendant toute la durée de sa course, sa force élastique reste sensiblement la même et l'on dit que la vapeur

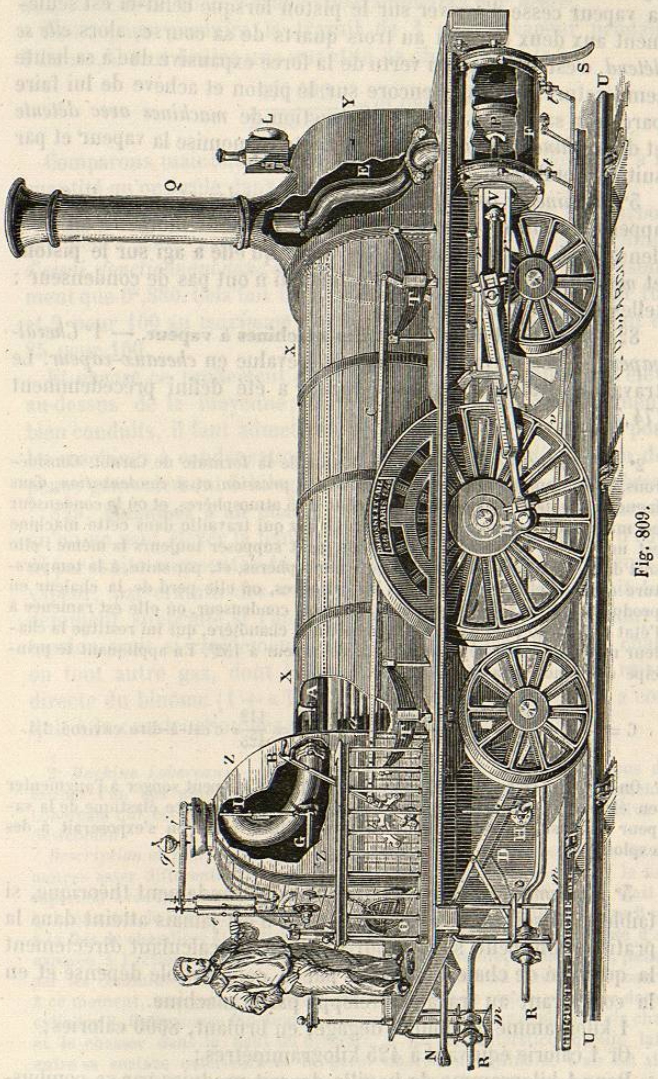

Fig. 809.

agit *sans détente;* mais si, par une disposition convenable du tiroir, la vapeur cesse d'arriver sur le piston lorsque celui-ci est seulement aux deux tiers ou au trois quarts de sa course, alors *elle se détend*, c'est-à-dire qu'en vertu de la force expansive due à sa haute température, elle agit encore sur le piston et achève de lui faire parcourir sa course. De là la distinction de *machines avec détente* et de *machines sans détente*. La détente économise la vapeur et par suite le combustible.

3° *Machines à condensation* ou *sans condensation*. — Enfin on appelle *machines à condensation* celles qui sont munies d'un condenseur où la vapeur se liquéfie après qu'elle a agi sur le piston, et *machines sans condensation* celles qui n'ont pas de condenseur : telles sont les locomotives.

828. **Travail** et **Rendement des machines à vapeur.** — 1° *Cheval-vapeur*. — Le travail des machines s'évalue en *chevaux-vapeur*. Le travail équivalent à un *cheval-vapeur* a été défini précédemment (74,3°).

2° *Rendement théorique*. — On le déduit de la formule de Carnot. Considérons, par exemple, une *machine à haute pression* et *à condensation*, dans laquelle la vapeur d'eau agit à la tension de 5 atmosphères, et où le condenseur est maintenu à la température de 40°. Le gaz qui travaille dans cette machine est une masse de vapeur d'eau qu'on peut supposer toujours la même : elle sort de la chaudière à la tension de 5 atmosphères, et, par suite, à la température de 152°; elle se détend dans les cylindres, où elle perd de la chaleur en produisant du travail, puis elle se rend au condenseur, où elle est ramenée à l'état d'eau à 40°, enfin elle est ramenée à la chaudière, qui lui restitue la chaleur nécessaire pour repasser à l'état de vapeur à 152°. En appliquant le principe de Carnot, on a

$$C = \frac{273 + 152 - (273 + 40)}{273 + 152} = \frac{425 - 313}{425} = \frac{112}{425}, \text{ c'est-à-dire environ } 1/4.$$

On voit que ce rendement est assez faible. On ne peut songer à l'augmenter en élevant la température maximum, parce que la force élastique de la vapeur croît si rapidement avec sa température, que l'on s'exposerait à des explosions.

3° *Rendement pratique*. — D'ailleurs ce rendement théorique, si faible qu'il soit, est un maximum qui n'est jamais atteint dans la pratique. On peut s'en rendre compte en calculant directement la quantité de chaleur dégagée par le combustible dépensé et en la comparant au travail développé par la machine.

1 kilogramme de houille dégage, en brûlant, 8000 calories;

Or 1 calorie équivaut à 425 kilogrammètres;

Donc 1 kilogramme de houille devrait produire par sa combustion $8000 \times 425 = 3\,400\,000$ kilogrammètres.

Or 1 cheval-vapeur équivaut à 75 kilogrammètres *par seconde* ou à $75 \times 60 \times 60 = 270\,000$ kilogrammètres *par heure;*

Donc, pour produire le travail de 1 cheval-vapeur pendant 1 heure, il faut brûler une quantité de charbon égale à

$$\frac{270\,000}{3\,400\,000} = 0^{k},080.$$

Comparons maintenant cette quantité de charbon *théorique* à la quantité qu'on brûle dans la pratique.

Les *meilleures* machines consomment 1 kilogramme de charbon par heure pour produire 1 cheval-vapeur. Quelques machines *d'essai, fonctionnant dans des conditions exceptionnelles*, ne consomment que $0^{k},880$. Cela fait un rendement qui varie entre 8 pour 100 et 9 pour 100 au *maximum :* or le rendement théorique était de 25 pour 100.

Et encore ce rendement pratique est-il un maximum très élevé au-dessus de la moyenne; car, même dans les établissements bien conduits, il faut admettre une consommation de $1^{k},300$ pour les machines à condensation, et, *dans l'industrie ordinaire*, on dépense généralement 3 kilogrammes et plus par *heure* et par *cheval*.

829. **Machines à air chaud.** — 1° *Principe*. — Nous avons dit qu'on ne peut élever la température maximum de la vapeur d'eau, ni par suite augmenter le coefficient économique des moteurs à vapeur, par crainte des explosions. Cet inconvénient serait évidemment supprimé si l'on substituait à la vapeur d'eau, dont la tension croît si rapidement avec la température, de l'air chaud ou tout autre gaz, dont la force élastique ne croît qu'en raison directe du binôme $(1 + \alpha T)$. C'est cette considération qui a conduit à la construction des *moteurs à air chaud*.

2° *Machine Lobereau*. — Pour en faire comprendre le principe, nous décrirons l'un des plus simples parmi ces moteurs : c'est la petite machine Lobereau, qui est à simple effet, comme la machine à vapeur primitive de Newcomen.

Description et *fonctionnement*. — Imaginons deux cylindres A et B, de diamètres assez différents (fig. 810). Le plus petit, A, communique par le fond supérieur avec l'atmosphère, et par une tubulure H avec le cylindre B. C'est lui qui constitue le corps de pompe où se meut le piston P. L'autre cylindre B sert à la fois de chaudière et de distributeur. C'est là, en effet, que la masse d'air, exposée à l'action directe d'un bec de gaz *b*, s'échauffe, se dilate, et, passant par les conduits *tt* sous le piston P, le soulève jusqu'au haut de sa course. A ce moment, une masse de plâtre P'P', en forme de piston, s'abaisse dans le cylindre B. Cette masse fonctionne comme un tiroir, pour déplacer l'air chaud et le chasser dans le haut du cylindre B par les interstices qu'elle laisse entre sa surface extérieure et la paroi interne du cylindre. L'air est alors refroidi, à la fois par l'interposition d'un corps mauvais conducteur entre lui et la source de chaleur, et puis par un courant d'eau froide qui circule

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.

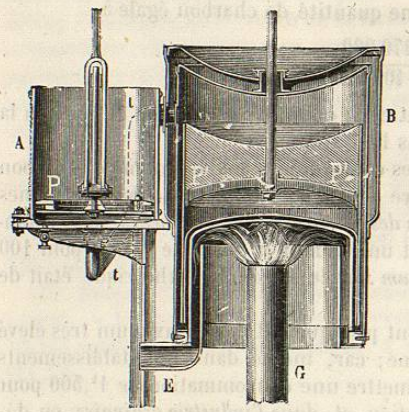

Fig. 810.

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-