

Fig. 155.

saire de la renouveler plusieurs fois quand la distillation doit durer un certain temps; ce qui se fait à l'aide d'un tuyau *tt'* surmonté d'un entonnoir, et dont l'extrémité inférieure arrive au fond du vase ABGH. On peut se servir de l'eau échauffée par la condensation de la vapeur pour alimenter la chaudière de l'alambic, ce qui économise le combustible.

Résumé.

I. Les vapeurs se distinguent des gaz ordinaires par la facilité avec laquelle elles se liquéfient, soit par un léger abaissement de température, soit par un accroissement de pression.

II. Les vapeurs, dans le vide, se forment instantanément.

III. Quand une vapeur, saturant un espace donné, est en contact avec son liquide générateur, elle est toujours à son maximum de tension ou de force élastique.

IV. Entre 0° et 100°, on mesure le maximum de force élastique des vapeurs au moyen de l'appareil barométrique de Dalton : au-dessus de 100°, on le mesure en déterminant la température à laquelle l'eau bout sous des pressions connues; au-dessous de 0° on emploie deux baromètres, dont l'un contient une petite quantité d'eau et est entouré à sa partie supérieure d'un mélange réfrigérant.

V. Un espace étant donné, la tension, et, par suite, la quantité de la vapeur nécessaire pour le saturer sont toujours les mêmes, que cet espace soit vide ou occupé par un gaz.

VI. Lorsqu'une vapeur se répand dans un espace déjà rempli de gaz, sa force élastique s'ajoute à celle du gaz avec lequel elle se mélange.

VII. L'ébullition est le passage rapide et tumultueux d'un liquide à l'état de vapeur. Ce phénomène est soumis aux deux lois suivantes : 1° quand un liquide bout, sa température reste constante pendant toute la durée de l'ébullition; 2° la vapeur qui se dégage à la surface d'un liquide en ébullition possède une force élastique précisément égale à la pression de l'atmosphère qui l'entoure.

VIII. La température à laquelle se produit l'ébullition dépend : 1° de la nature du liquide; 2° de la nature du vase; 3° des substances en dissolution dans le liquide; 4° de la pression.

IX. La *distillation* est une opération par laquelle on réduit un liquide en vapeur pour le condenser ensuite. Cette opération se fait au moyen de l'alambic ou appareil distillatoire, composé essentiellement de trois parties : la cucurbite, le chapiteau et le serpentin.

CHAPITRE XV.

Chaleur latente des vapeurs. Froid produit par l'évaporation. —
Machines à vapeur. Équivalent mécanique de la chaleur.

Chaleur latente des vapeurs. Froid produit par l'évaporation.

187. *Chaleur latente des vapeurs.* — Nous venons de voir que la température d'un liquide reste stationnaire pendant toute la durée de son ébullition. Donc toute la chaleur que le liquide reçoit du foyer, à partir du moment où il commence à bouillir, est uniquement employée à opérer sa transformation en vapeur. Cette chaleur est très-considérable. Ainsi, Despretz a démontré que la quantité de chaleur nécessaire pour vaporiser 1 kilogramme d'eau à 100° serait capable d'élever un poids égal d'eau liquide de 0° à 540°, ou, ce qui est la même chose, de porter de 0° à 100° 5 kilogr. 400 d'eau liquide. Cette chaleur, dite *chaleur latente de vaporisation*, est donc égale, pour l'eau, à 540 calories. Elle varie avec les divers liquides; ainsi pour l'alcool elle n'est que de 208 calories; pour l'acide acétique de 102; pour l'éther sulfurique de 91, etc.

Nous disons encore, pour nous conformer au langage reçu, que cette chaleur devient *latente*; mais ici, comme pour la fusion, elle ne fait que se transformer en force mécanique, ayant pour principal effet la séparation et l'écartement des molécules du liquide mis en vapeur.

188. *Expérience de Leslie*. — Lorsqu'un liquide s'évapore à la température ordinaire, il enlève une grande quantité de chaleur aux corps avec lesquels il est en contact : de là le refroidissement qui se produit à la surface de ces corps, et qui est d'autant plus considérable que l'évaporation est plus rapide. C'est ce qui explique la sensation de froid assez vive que l'on éprouve en sortant du bain, et le froid plus vif encore que déterminent quelques gouttes d'éther versées sur la main ou sur toute autre région du corps. De même, quand l'eau s'évapore dans le vide, le froid produit par la partie qui se volatilise suffit pour congeler celle qui échappe à l'évaporation, ainsi que le démontre l'*expérience de Leslie*.

Pour faire cette expérience, on prend (fig. 131) un vase en verre V qui contient de l'acide sulfurique concentré et au-dessus duquel est suspendue une petite capsule en liège c, recouverte intérieurement d'une couche de noir de fumée. On verse un peu d'eau dans cette capsule et on place le tout sous le récipient d'une machine pneumatique, dans lequel on fait le vide aussi exact-

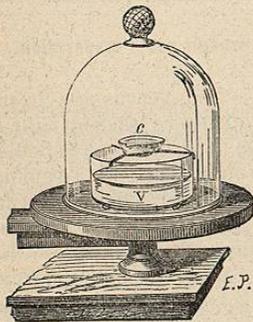


Fig. 136.

* Le refroidissement produit par l'évaporation des liquides volatils a été utilisé dans ces derniers temps pour la fabrication industrielle de la glace, au moyen d'un appareil dit *appareil Carré*, fondé sur l'évaporation du

189. *Marmite de Papin*. — Pour qu'un liquide soumis à l'action de la chaleur entre en ébullition, il faut que le vase qui le renferme soit largement ouvert, afin que la vapeur puisse librement s'en dégager et se répandre dans l'espace. Si le vase est complètement fermé, l'ébullition est impossible, et on voit alors la température du liquide s'élever de plus en plus, en même temps qu'augmentent, suivant les rapports que nous avons précédemment indiqués (180), la tension et, par suite, la densité de la vapeur qui se produit. La *marmite de Papin** a pour but de mettre ce fait en évidence.

Cet appareil (fig. 137) se compose d'un vase cylindrique en bronze A, à parois épaisses, muni d'un couvercle de même métal pouvant se fixer très-solidement au moyen d'une vis de pression C. Près du bord du couvercle est un petit orifice o que bouche exactement un disque métallique. Un levier L, mobile à son extrémité cc, presse sur le disque obturateur avec une force d'autant plus grande que le poids p, dont la position peut varier à volonté, est plus près de son extrémité libre. On place ce poids de manière que le disque soit soulevé et donne issue à la vapeur, lorsque celle-ci a atteint une tension telle qu'il y aurait menace de rupture de la chaudière si elle la dépassait. On évite ainsi le danger d'une explosion; ce qui justifie le nom de *souape de sûreté*, sous lequel on désigne ce mécanisme.

Pour faire fonctionner la marmite de Papin, on la remplit

gaz ammoniac préalablement liquéfié par la pression. Une solution aqueuse de gaz ammoniac est placée dans une chaudière qui communique par un tube avec un récipient annulaire exactement clos, et entourant un vase central dans lequel se trouve l'eau que l'on veut congeler. En chauffant la solution ammoniacale contenue dans la chaudière, le gaz s'en dégage, et se rend dans le récipient annulaire, où il se liquéfie par sa propre pression. Si l'on éteint alors le feu qui chauffait la chaudière, la pression intérieure diminuant aussitôt, le liquide ammoniacal condensé dans le récipient reprend l'état gazeux et retourne dans la chaudière, où il se redissout dans l'eau qui y est restée. Mais cette évaporation rapide du liquide ammoniac ne pouvant se faire qu'en enlevant à l'eau contenue dans le vase central sa chaleur latente, cette eau se congèle et se convertit en peu de temps en une colonne de glace compacte. Celle-ci étant enlevée et remplacée par une nouvelle quantité d'eau, il suffit de rallumer le feu sous la chaudière pour reproduire les mêmes effets, et, par suite, un nouveau bloc de glace.

* Denis Papin, médecin français, né à Blois en 1650, mort en 1710. Le premier il fit connaître la force motrice de la vapeur et le parti qu'on pouvait en tirer. Aussi le considère-t-on, à juste titre, comme l'inventeur de la machine à vapeur.

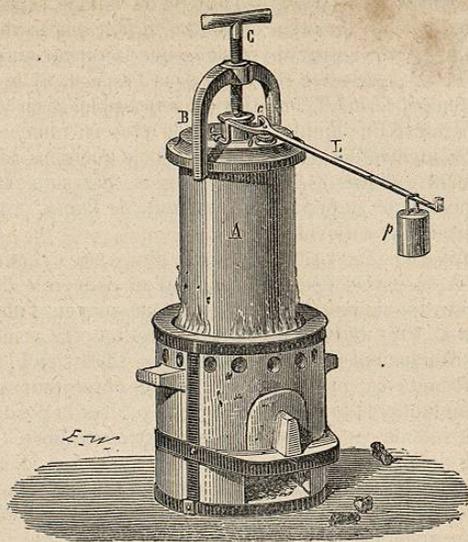


Fig. 137.

d'eau aux deux tiers environ, et, après l'avoir fermée, on la place sur un fourneau. Le liquide a bientôt dépassé la température de 100° , et s'échauffe d'autant plus que la soupape est plus fortement chargée. La température de l'eau pourra s'élever, par exemple, à 135° , si la charge de la soupape correspond à une tension de 3 atmosphères; elle montera jusqu'à 160° , si la charge équivaut à 6 atmosphères, etc.

Si l'on ouvre alors la soupape, un jet de vapeur s'échappe avec bruit et s'élève, en s'élargissant, à une grande hauteur. L'eau du vase, qui jusqu'alors n'avait pas bouilli, entre aussitôt en ébullition, et sa température s'abaisse promptement à 100° .

On a employé la marmite de Papin pour augmenter l'action dissolvante de certains liquides et pour obtenir en peu de temps la cuisson des substances alimentaires : de là le nom de *digesteur* qu'on lui avait donné dans le commerce. Toutefois son usage ne s'est pas répandu dans le public, en raison des dangers auxquels il expose entre des mains inexpérimentées.

190. Condensation. — On désigne sous ce nom le retour de la vapeur à l'état liquide. Le refroidissement et la compression sont les deux causes principales de ce phénomène.

Lorsque les vapeurs se condensent, elles abandonnent leur chaleur latente, qui redevient sensible. Une expérience fort simple démontre qu'il suffit de 490 grammes environ de vapeur d'eau bouillante dirigée dans 1 kilogr. d'eau à 0° , pour élever la température de cette eau jusqu'à 100° .

191. Chauffage à la vapeur. — Cette propriété des vapeurs de restituer leur chaleur latente, lorsqu'elles se condensent, a été utilisée dans plusieurs circonstances, et en particulier dans le chauffage des bains, des lieux d'habitation, des édifices publics, des serres et des étuves. Les appareils à l'aide desquels on établit ce mode de chauffage se composent en général d'une chaudière, où la vapeur se produit, et d'un système de tuyaux dans lesquels elle circule et se condense, en cédant au milieu environnant sa chaleur latente, qui redevient sensible*.

Problème. Dans 62 kilogrammes d'eau à 8° , on fait condenser 3 kilogrammes de vapeur à 100° ; on demande quelle sera la température de la masse liquide.

Les 3 kilogr. de vapeur à 100° contiennent 300 calories ou unités de chaleur sensible, plus 540×3 unités de chaleur latente qui redevient sensible par la condensation; total 1920.

Les 62 kilogr. d'eau à 8° renferment 62×8 unités de chaleur = 496.

Donc la quantité de chaleur contenue dans la masse liquide après le passage de la vapeur sera égale à $1920 + 496 = 2416$ calories.

En appliquant la formule précédente $q = mc$ (165), nous aurons

$$t = \frac{q}{mc} = \frac{2416}{65} = 37^{\circ},17.$$

* Parmi les divers systèmes de chauffage vulgairement employés nous citerons encore le chauffage par circulation d'eau chaude et le chauffage par l'air chaud. Le premier est fondé sur la grande chaleur spécifique de l'eau, laquelle permet à ce liquide chauffé à une température voisine de 100° et circulant dans un système de tuyaux convenablement disposés, de céder facilement à l'air ambiant une quantité de chaleur suffisante pour obtenir la température voulue. Le second consiste à diriger dans les appartements de l'air pris au dehors et préalablement chauffé dans un calorifère, généralement placé dans le sous-sol du bâtiment.

Machines à vapeur. Équivalent mécanique de la chaleur.

192. *Machines à vapeur.* — Les machines à vapeur sont des instruments qui ont pour but de convertir la chaleur en travail mécanique par l'intermédiaire des vapeurs.

Toute machine à vapeur se compose essentiellement de trois parties : 1° de la *chaudière*, ou appareil destiné à la production de la vapeur ; 2° d'un *cylindre* ou corps de pompe dans lequel se trouve un piston que la vapeur met en mouvement ; 3° d'un appareil destiné à la transmission du mouvement.

1° L'appareil destiné à la production de la vapeur se compose ordinairement d'une *chaudière* CD (fig. 138), en tôle épaisse, communiquant par deux larges tubes T, T, avec deux cylindres BB, nommés *bouilleurs*, placés au-dessous et recevant directement la flamme du foyer F. Cette flamme, après avoir passé d'abord sous les deux bouilleurs, s'engage entre ceux-ci et la chaudière, puis s'échappe par la cheminée A. Un registre *g* et à l'extrémité libre de laquelle est un contre-poids *h*, sert à régler le tirage de la cheminée.

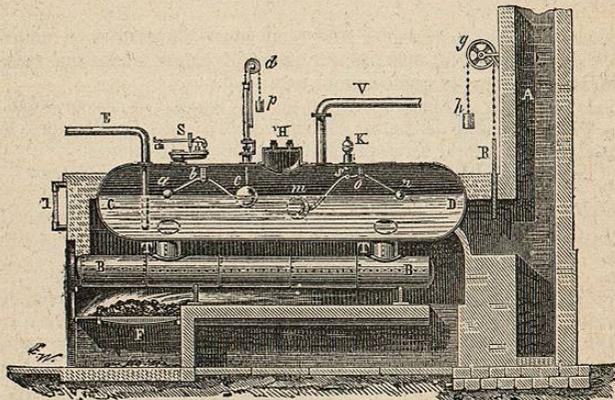


Fig. 138.

La chaudière doit être à moitié remplie d'eau et les deux bouilleurs en totalité ; un tube E sert à introduire cette eau

dans l'appareil et à la renouveler à mesure qu'elle s'épuise pendant le travail de la machine. La vapeur produite dans les bouilleurs monte dans la chaudière par les tubes T, T, en même temps que l'eau de la chaudière descend par ces mêmes tubes dans les bouilleurs, où elle se vaporise à son tour, et ainsi de suite. Cette vapeur s'amasse et se concentre dans la partie supérieure de la chaudière, d'où un tube V la conduit dans le *cylindre* ou *corps de pompe*, où elle doit produire son effet sur le piston.

Diverses précautions sont prises pour empêcher les explosions. Il importe d'abord que le niveau de l'eau dans la chaudière se maintienne à une hauteur à peu près constante. On comprend, en effet, que si ce niveau descendait trop bas et qu'on vint ensuite à verser de l'eau dans la chaudière, les parois surchauffées pourraient développer instantanément une quantité de vapeur suffisante pour la faire éclater.

Un *tube indicateur* I, en verre épais et communiquant par deux conduits métalliques avec l'eau et avec la vapeur de la chaudière, indique sans cesse le niveau du liquide, qui est nécessairement le même dans le tube et dans la chaudière. De plus, un *flotteur indicateur* a b c, dont la grosse boule c flotte sur l'eau, indique encore les variations de niveau au moyen d'une tige attachée à cette boule et terminée extérieurement par une petite chaîne d, qui supporte un contre-poids p placé devant une règle graduée. Enfin, un autre appareil m o n, dit *flotteur d'alarme*, a pour but de parer au manque de vigilance de la personne chargée de surveiller la machine. La grosse boule m plonge entièrement dans l'eau, et sa tige m o ferme en s une ouverture de la chaudière. Si le niveau de l'eau baisse d'une quantité assez considérable, la boule m, en s'abaissant elle-même, rend libre l'ouverture, et la vapeur, s'échappant aussitôt, vient frapper contre les bords d'une petite cloche en bronze K et fait entendre un sifflement aigu qui avertit du danger.

L'abaissement du niveau de l'eau dans la chaudière n'est pas la seule cause qui puisse produire l'explosion. Une trop forte tension de la vapeur peut également déterminer cet accident.

C'est pourquoi on adapte à la machine un *manomètre* qui indique à chaque instant le degré de tension de la vapeur, et de plus une *soupape de sûreté* S qui a pour but de livrer passage à la vapeur toutes les fois que sa force élastique dépasse la tension maximum que les parois de la chaudière peuvent sup-

porter. Cette soupape consiste en une ouverture conique fermée par un cône tronqué que maintient en place un levier horizontal, à l'extrémité duquel est attaché un poids déterminé selon le degré de résistance de la chaudière. Si la tension dépasse la pression produite par le poids, celui-ci est soulevé et la vapeur s'échappe aussitôt, jusqu'à ce que sa tension revienne à son degré normal.

Enfin une ouverture circulaire H, assez grande pour livrer passage à un ouvrier, et nommée pour cette raison *trou d'homme*, est pratiquée à la partie supérieure de la chaudière afin d'en permettre le nettoyage et l'enlèvement des dépôts calcaires que laissent toujours les eaux que l'on emploie pour le service de la machine.

2° Le *cylindre* ou corps de pompe est l'appareil destiné à utiliser la force motrice de la vapeur que lui amène le tube V (fig. 138). Il se compose (fig. 139) d'un cylindre dans lequel glisse à frottement un piston P surmonté d'une tige R destinée à transmettre son mouvement de va-et-vient. Pour que ce mouvement se produise, il faut que la vapeur arrive alternativement au-dessus et au-dessous du piston, et qu'à chaque mouvement, soit d'élévation, soit d'abaissement de ce piston, la vapeur qui l'a engendré soit immédiatement dispersée ou détruite. On obtient ce résultat en faisant communiquer cette vapeur, soit avec l'atmosphère, où elle se perd, soit avec un récipient G vide d'air et rempli d'eau froide, où elle se condense, et que l'on nomme pour cette raison *condenseur*.

La vapeur, arrivant de la chaudière par le tube B, est d'abord reçue dans une capacité I, appelée *boîte à vapeur*, qui communique avec le corps de pompe par les deux ouvertures E et F et avec le condenseur G par le conduit M. Pour que cette vapeur passe alternativement sur les deux faces du piston et se rende ensuite dans le condenseur, une pièce métallique CBD, nommée *tiroir* et ayant la forme d'un demi-cylindre dont la section est représentée en K, est disposée dans la boîte à vapeur de manière que ses deux extrémités saillantes C et D viennent tour à tour se placer au-dessus et au-dessous des orifices E et F du cylindre. Ce tiroir est mis en mouvement par la machine elle-même au moyen d'une tige T. Dans la figure 139, les deux extrémités saillantes du tiroir sont représentées au-dessus des ouvertures E et F. La vapeur de la chaudière arrive donc par l'ouverture E sur le piston P, qu'elle fait descendre,

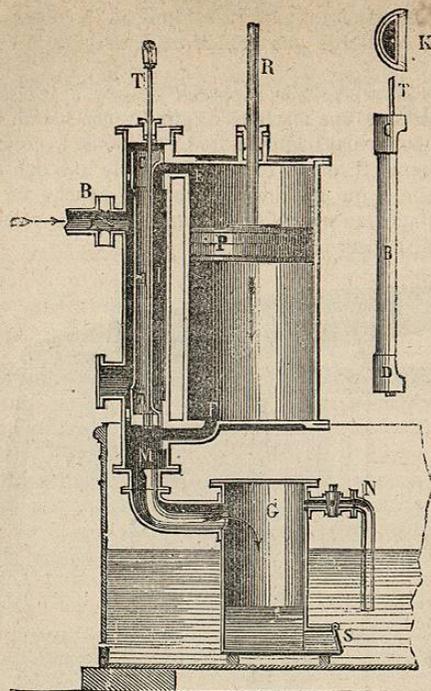


Fig. 139.

tandis que la vapeur, qui précédemment a soulevé le piston en agissant sur sa face inférieure, s'échappe par l'orifice F et se rend en passant par le conduit M dans le condenseur.

3° L'appareil destiné à la transmission du mouvement varie selon que le cylindre est disposé verticalement ou horizontalement.

La fig. 140 représente l'appareil destiné à transmettre le mouvement dans une machine à *cylindre vertical*. AB est un *balancier* que la tige du piston met en mouvement au moyen d'une articulation A. Une pièce métallique BCD nommée *bielle*, fixée à l'autre extrémité du levier, transmet le mouvement à l'*arbre de couche* G. Le mouvement rectiligne

de la tige du piston est ainsi transformé en un mouvement circulaire que régularise une grande roue en fonte VV nommée *volant*.

La fig. 141 représente l'appareil destiné à transmettre le mouvement dans une machine à *cylindre horizontal*. La tige P du piston, mobile dans le cylindre C, s'articule avec une pièce en fer à cheval D, dont l'extrémité B porte une tige qui tient lieu de bielle et qui imprime à l'arbre de couche un mouvement de rotation au moyen de la manivelle M. Un volant V sert encore à régulariser le mouvement.

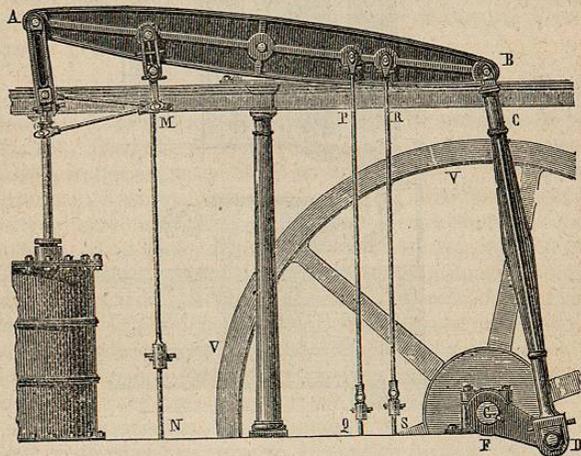


Fig. 140.

Dans la figure 140 les trois tiges MN, PQ et RS, attachées au balancier dont elles reçoivent le mouvement, servent à faire manoeuvrer trois pompes. La tige MN est en rapport avec une *pompe à air*, laquelle a pour but de faire d'abord le vide dans le condenseur avec lequel elle communique par la soupape S (fig. 139), et d'enlever ensuite l'eau échauffée par la vapeur qui s'y est condensée; cette eau est remplacée à mesure par de l'eau froide que la pression atmosphérique fait jaillir par le tube N. La tige PQ fait mouvoir la *pompe alimentaire*, qui a pour fonction de maintenir l'eau de la chaudière à un niveau constant. La tige RS communique avec la *pompe à eau froide*, laquelle

élève l'eau d'une prise quelconque et la verse dans un réservoir entourant le condenseur.

Dans la figure 141, la pompe alimentaire P et la pompe à eau froide P' sont mises en mouvement par un axe RR' que fait tourner une courroie sans fin communiquant avec l'arbre de couche.

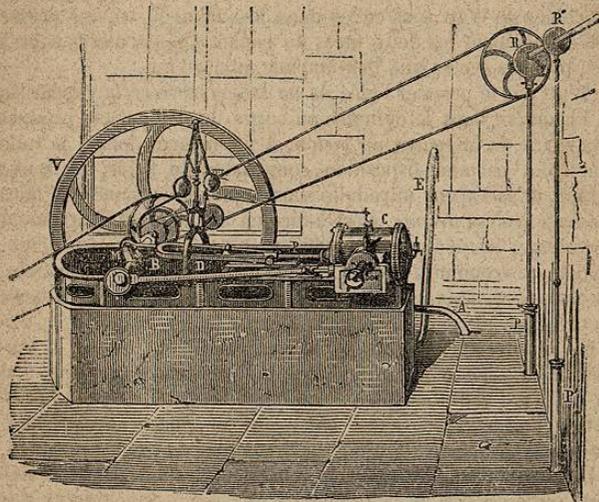


Fig. 141.

Toutes les machines à vapeur ne sont pas pourvues de condenseur. La vapeur, après avoir produit son effet, s'échappe alors dans l'atmosphère, ce qui dispense de la pompe à air. Quelquefois cette vapeur est dirigée par un tube E (fig. 141) dans un réservoir rempli d'eau froide où elle se condense en échauffant l'eau, dont on se sert ensuite pour alimenter la chaudière, ce qui produit une économie de combustible.

C'est l'arbre de couche qui, dans les *machines fixes*, met en jeu les différents rouages, de manière à produire le travail auquel ils sont destinés. Dans les *machines mobiles*, comme les locomotives, les navires, etc., l'arbre de couche se termine par deux roues, ou par une *hélice*, espèce de vis placée à l'arrière du bâtiment, et qui, en tournant rapidement dans l'eau, pousse le navire devant elle.

On divise les machines à vapeur en machines à *simple effet* et à *double effet*, et en machines à *basse, moyenne et haute pression*.

Les machines à simple effet sont celles dans lesquelles le piston ne reçoit la vapeur que sur sa face supérieure et remonte au moyen d'un contre-poids. Les machines à double effet ou machines de Watt sont celles dans lesquelles la vapeur presse alternativement les deux faces du piston. Ces dernières sont à peu près les seules que l'on emploie aujourd'hui.

Watt eut le premier l'idée de ne laisser arriver la vapeur de la chaudière dans le cylindre ou corps de pompe que *pendant une partie de la course du piston*. A un moment donné, le tube d'arrivée, par une disposition convenable du tiroir, se trouve fermé, et la vapeur introduite sous le piston continue à le faire mouvoir par sa *détente*, c'est-à-dire en augmentant simplement de volume, jusqu'à ce que le piston soit au bout de sa course. La détente économise donc la vapeur et par suite le combustible. On nomme *machines à détente* celles qui sont construites d'après ce principe.

On dit qu'une machine est à basse pression, quand la tension de la vapeur qui la fait mouvoir ne s'élève que très-peu au-dessus d'une atmosphère. La machine est à moyenne pression, quand elle fonctionne entre une et quatre atmosphères. Au-dessus de quatre atmosphères la machine est à haute pression.

La puissance d'une machine à vapeur ne dépend pas seulement de la tension de la vapeur, mais encore de l'étendue des surfaces du piston sur lesquelles la pression s'opère. On comprend ainsi qu'une machine à basse pression puisse être aussi forte et même beaucoup plus forte qu'une machine à haute pression; il suffit pour cela que les deux faces du piston soient suffisamment grandes.

195. Cheval-vapeur. — L'unité de force qui sert à mesurer la puissance d'une machine est désignée sous le nom de *cheval-vapeur*: c'est l'effort nécessaire pour soulever, d'un mouvement continu, 75 kilogrammes à un mètre de hauteur par seconde, ou, ce qui revient au même, un travail de 75 *kilogrammètres* effectué en une seconde. Ainsi une machine de 10 chevaux est celle qui est capable de soulever à un mètre de hauteur par seconde 750 kilogrammes, ou dont le travail, en une seconde, équivaut à 750 *kilogrammètres*.

194. Équivalent mécanique de la chaleur. — Nous avons déjà dit qu'une partie de la chaleur employée dans les machines à vapeur disparaît et se *transforme en mouvement*. Or la relation qui existe entre la quantité de chaleur détruite et le travail mécanique produit est ce qu'on appelle l'*équivalent mécanique de la chaleur*.

Il résulte d'expériences très-précises faites par M. Joule que l'équivalent mécanique de la chaleur est égal à 425 kilogrammètres, ce qui veut dire que l'*unité de chaleur* ou calorie, c'est-à-dire la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1 degré centigr. 1 kilogramme d'eau, *produit, en se transformant en mouvement, une force capable d'élever 425 kilogrammes à un mètre de hauteur et réciproquement*.

Résumé.

I. On désigne sous le nom de *chaleur latente des vapeurs* la chaleur qu'un liquide absorbe et rend latente lorsqu'il se vaporise.

II. La chaleur absorbée par les vapeurs et devenue latente est très-considérable. Ainsi, la quantité de chaleur nécessaire pour vaporiser un kilogramme d'eau, sous la pression ordinaire, est capable d'élever de 0 à 100° 5 kilog. 400^{es} d'eau liquide.

III. La *condensation* est le retour de la vapeur à l'état liquide. Elle peut être produite soit par le refroidissement, soit par la pression.

IV. Quand la vapeur se condense, elle abandonne sa chaleur latente, qui redevient sensible.

V. La force élastique de la vapeur d'eau sert à communiquer le mouvement à des machines dites *machines à vapeur*. Toute machine à vapeur se compose essentiellement de trois parties : 1° la chaudière; 2° le cylindre; 3° l'appareil destiné à transmettre le mouvement.

VI. On divise les machines à vapeur en machines à *simple effet* et à *double effet*, et en machines à *basse, moyenne et haute pression*.

VII. L'unité de force qui sert à mesurer la puissance d'une machine est le *cheval-vapeur*: on entend par ce mot l'effort nécessaire pour soulever d'un mouvement continu 75 kilogrammes à un mètre de hauteur par seconde.