

VII. On appelle *chaleur latente de fusion* la chaleur qu'un corps absorbe et rend insensible au thermomètre pour passer de l'état solide à l'état liquide.

VIII. Quand un corps repasse de l'état liquide à l'état solide, il dégage toute la chaleur latente qu'il avait absorbée. Celle-ci redevient alors sensible.

IX. Quand les liquides se solidifient lentement, ils cristallisent, c'est-à-dire qu'ils prennent des formes géométriques régulières.

X. Les mélanges réfrigérants ont pour but de produire artificiellement du froid. Ils sont formés en général de substances solides dont l'affinité réciproque détermine la fusion rapide, et, par suite, l'absorption d'une grande quantité de chaleur. Ex : sel marin et glace pilée.

#### CHAPITRE XIV.

Formation des vapeurs dans le vide. Vapeurs saturantes et non saturantes. Maximum de tension. — Mesure du maximum de tension de la vapeur d'eau à diverses températures par la méthode de Dalton. — Tables. — Mélange des gaz et des vapeurs. — Évaporation. — Ébullition. — Distillation.

Formation des vapeurs dans le vide. Vapeurs saturantes et non saturantes. Maximum de tension.

177. *Passage de l'état liquide à l'état de vapeur.* — Presque tous les liquides peuvent se transformer, soit spontanément, soit par l'action de la chaleur, en fluides élastiques auxquels on a donné le nom de *vapeurs*.

Les vapeurs sont de véritables gaz dont la *tension* ou la force élastique croît avec la température; mais elles se distinguent des gaz ordinaires par la facilité avec laquelle elles repassent à l'état liquide, soit par un léger abaissement de température, soit par un accroissement de pression. Quelques liquides, comme l'eau, l'alcool, l'éther, sont très-volatils, c'est-à-dire qu'ils se transforment facilement en vapeurs à toutes les températures. D'autres, au contraire, n'émettent des vapeurs à la température ordinaire qu'en fort petite quantité et très-lentement, tel est le mercure. Enfin il en est qui, au-dessous d'une cer-

taine température, ne donnent plus de vapeurs appréciables : de ce nombre sont les huiles grasses et l'acide sulfurique concentré.

Certains corps solides, l'iode et le camphre, par exemple, se réduisent en vapeurs sans passer par l'état liquide. On dit alors que ces corps se *subliment*, pour indiquer que leurs vapeurs se condensent en parcelles cristallines dans le haut des vases qui les renferment.

178. *Formation des vapeurs dans le vide.* — La pression atmosphérique est un obstacle au passage des liquides à l'état de vapeur. Voilà pourquoi un liquide exposé à l'air ne se volatilise que lentement. *Dans le vide*, au contraire, *la formation des vapeurs est instantanée*. Pour le démontrer on prend (fig. 430) deux baromètres A et B, plongeant dans la même cuvette C, et dont les deux niveaux sont, par conséquent, sur un même plan horizontal. Si l'on introduit alors dans l'un des baromètres B quelques gouttes d'un liquide, volatil, comme l'eau, l'alcool, l'éther, etc., on voit qu'à l'instant même où le liquide, après avoir traversé la colonne mercurielle, arrive dans le vide barométrique, le niveau du mercure s'abaisse, comme le montre la figure. Or, cette dépression du mercure ne peut être le résultat du poids du liquide introduit, puisque ce poids n'est qu'une fraction très-petite de celui du mercure déplacé. Il y a donc eu *formation instantanée* de vapeur dont la force élastique a refoulé la colonne mercurielle.

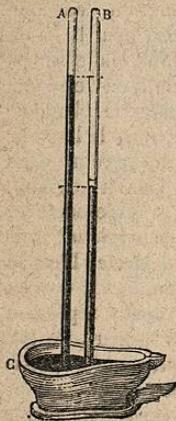


Fig. 130.

179. *Vapeurs saturantes et non saturantes.* — Lorsque, dans l'expérience précédente, on a introduit dans le baromètre une quantité de liquide suffisante pour qu'il en reste un excès en contact avec la vapeur formée, on dit que cette vapeur est *saturante*, attendu que la chambre barométrique en renferme tout ce qu'elle peut en contenir à la température de l'expérience : il y a donc *saturation* de l'espace donné. Lorsque la quantité de liquide est, au contraire, trop petite pour qu'il en reste quelque trace après sa vaporisation, on dit que la vapeur

est *non saturante*, par la raison que l'espace peut alors ne pas en contenir la quantité suffisante pour en être saturé.

180. *Maximum de tension des vapeurs.* — Quand un espace donné est saturé de vapeur, à une température déterminée, et qu'il contient du liquide en excès, la vapeur prend d'elle-même son *maximum de force élastique ou de tension*. Ce maximum, ainsi que nous le verrons bientôt, varie avec la température, mais il est indépendant de la pression. En effet, si l'on augmente la pression, une partie de la vapeur repasse immédiatement à l'état liquide; si on la diminue, une partie du liquide en excès se vaporise aussitôt. Or, la force élastique de la vapeur reste la même dans les deux cas.

On fait l'expérience avec un baromètre plongeant dans une cuvette profonde, analogue à celui dont on se sert pour la loi de Mariotte (fig. 78, p. 424). On introduit dans le tube une quantité d'éther suffisante pour qu'au-dessus du mercure il en reste une couche d'un centimètre environ à l'état liquide, la chambre barométrique étant saturée de vapeur. On note alors la hauteur du mercure dans le tube, au-dessus du niveau du mercure dans la cuvette. Cela fait, si on enfonce le tube dans la cuvette, afin d'augmenter la pression sur la vapeur, ou si on le soulève, afin de la diminuer, on observe que *la hauteur de la colonne mercurielle au-dessus du niveau extérieur reste la même*. Dans le premier cas, l'espace occupé par la vapeur diminue et la couche d'éther augmente, parce qu'une partie de la vapeur repasse à l'état liquide; dans le second cas, le contraire a lieu: ce qui prouve que *la force élastique d'une vapeur saturante, c'est-à-dire d'une vapeur saturant un espace donné et restant en contact avec son liquide générateur, se maintient invariable, quelle que soit la pression, pourvu que la température demeure constante*.

Si la quantité de liquide était insuffisante pour qu'il en restât un excès après sa vaporisation, on verrait alors, en soulevant et en abaissant successivement le tube, la tension ou la force élastique de la vapeur varier en raison inverse de son volume; ce qui démontre que la force élastique d'une vapeur *non saturante* est soumise, comme les gaz proprement dits, à la loi de Mariotte. Il n'y a donc, comme on le voit, aucune différence essentielle entre les gaz et les vapeurs. Les gaz, en réalité, ne sont autre chose que des vapeurs qui, à la température et sous la pression ordinaires, sont plus ou moins éloignées de leur point de saturation.

Mesure de la force élastique maximum de la vapeur d'eau à diverses températures.

181. *Mesure de la force élastique maximum de la vapeur d'eau à diverses températures.* — La force élastique maximum de la vapeur d'eau varie considérablement avec la température. Entre 0° et 100°, on la mesure au moyen de l'appareil de Dalton.

*Appareil de Dalton. Tables.* — L'appareil de Dalton (fig. 131) se compose de deux baromètres A et B, plongeant dans la même cuvette C en fonte et enveloppés dans un manchon en verre M. Ce manchon repose sur le mercure et contient de l'eau dont on peut élever progressivement la température à l'aide d'un fourneau F placé sous la cuvette. Un thermomètre T donne à chaque instant la température du liquide. On introduit dans l'un des

baromètres, B par exemple, une petite couche d'eau E, exactement privée d'air, puis on chauffe l'eau du manchon, en ayant soin de l'agiter à chaque instant pour y répandre uniformément la chaleur. Or, à mesure que la température s'élève, une partie de l'eau contenue dans le baromètre à vapeur B se vaporise, et l'on voit le niveau du mercure baisser de plus en plus. La différence de hauteur entre ce niveau et le niveau constant *h* du mercure dans le baromètre A donne, pour chaque température, la mesure de la force élastique maximum de la vapeur d'eau. Quand l'eau du manchon est portée à 100°, c'est-à-dire à la température de l'ébullition de l'eau à l'air libre, le mercure du baromètre à vapeur est déprimé jusqu'au niveau extérieur de la cuvette; ce qui prouve que *la force élastique de la vapeur d'eau à la température de l'é-*

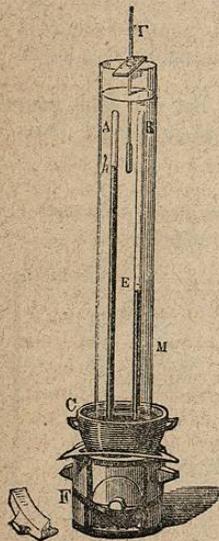


Fig. 131.

bullition de ce liquide, à l'air libre, est égale à la pression atmosphérique. Ce principe est vrai pour tous les autres liquides : ainsi la force élastique de la vapeur d'éther est égale à la pression atmosphérique, à la température de 35°, qui est celle de l'ébullition de ce liquide ; celle de la vapeur d'alcool à 79°, du mercure à 360°, etc.

Dans cette expérience, la dépression du mercure ne peut être prise pour mesure de la force élastique maximum de la vapeur qu'à la condition de subir la correction nécessaire pour ramener à 0° la température du mercure dans les deux tubes (voy. 140). Il faut tenir compte également du poids de la petite colonne de liquide E que supporte le mercure dans le tube B, et enfin des actions capillaires dues aux courbures différentes des surfaces du mercure et du liquide sur lequel on expérimente.

La force élastique de la vapeur d'eau au-dessus de 400° a été mesurée d'une manière très-exacte par Dulong et Arago, en déterminant la température à laquelle l'eau bout sous des pressions connues. De son côté, Gay-Lussac a mesuré la force élastique de la vapeur d'eau, au-dessous de 0°, au moyen de deux baromètres, dont l'un, contenant une petite quantité d'eau, était entouré, à sa partie supérieure, d'un petit manchon dans lequel était un mélange réfrigérant.

Voici les résultats des expériences qui ont été faites pour déterminer la force élastique maximum de la vapeur d'eau, depuis la température — 20° jusqu'à 200°.

Tableau des forces élastiques de la vapeur d'eau, à diverses températures, exprimées en millimètres de mercure.

Températures.	Tensions.	Températures.	Tensions.
	m m		m m
— 20	0,93	60	148,79
— 10	2,09	80	354,64
0	4,60	90	525,45
+ 10	9,16	100	760.....
20	17,39	121	2 atmosph.
40	54,91	135	3 atmosph.
50	91,98	160	6 atmosph.
		200	15 atmosph.

On voit, par ce tableau, que la force élastique de la vapeur d'eau, au-dessus de 50°, croît beaucoup plus rapidement que la température. Mais la loi de cette progression n'est pas connue.

### Mélange des gaz et des vapeurs.

182. Le mélange des gaz et des vapeurs est soumis aux deux lois suivantes :

1° Un espace étant donné, la tension maximum et, par suite, la quantité de la vapeur nécessaire pour le saturer, sont toujours les mêmes, à température égale, que cet espace soit vide ou qu'il soit occupé par un gaz.

2° 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, ou, en d'autres termes, la force élastique d'un mélange de gaz et de vapeur est égale à la somme des forces élastiques qu'auraient séparément le gaz et la vapeur, si chacun d'eux occupait seul le volume du mélange.

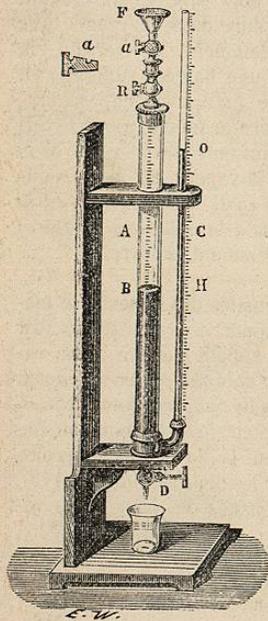


Fig. 132.

Physique.

On démontre ces deux lois à l'aide de l'appareil suivant, imaginé par Gay-Lussac et représenté par la fig. 132. Cet appareil se compose d'un large tube de verre A, divisé en parties d'égale capacité et communiquant avec un tube plus étroit C, ouvert à son extrémité supérieure, et divisé en parties d'égale longueur. Le premier tube A se termine par deux robinets en fer R et D. L'appareil étant plein de mercure, on y introduit une certaine quantité d'air ou de gaz sec. Il suffit pour cela de visser sur le robinet R un ballon rempli d'air ou de tout autre gaz desséché et d'ouvrir les deux

robinets R et D. Une partie du mercure remplissant le tube s'écoule par le robinet inférieur D et est aussitôt remplacé par l'air du ballon. On ferme alors les robinets, et on verse du mercure dans le petit tube C, jusqu'à ce que les deux niveaux B et H soient à la même hauteur. De cette manière, l'air ou le gaz emprisonné entre l'extrémité supérieure du tube A et le niveau du mercure B a une élasticité égale à la pression atmosphérique. Cela fait, on visse à la place du ballon un petit entonnoir F, muni d'un robinet *a*, qui diffère des robinets ordinaires en ce sens qu'au lieu d'être percé de part en part il porte seulement une petite cavité. On remplit l'entonnoir du liquide que l'on veut vaporiser, puis, après avoir ouvert le robinet R, on tourne le robinet *a* de manière que sa cavité se remplisse de liquide et le verse ensuite dans l'espace A. On continue ainsi jusqu'à ce que cet espace soit complètement saturé de vapeur, c'est-à-dire jusqu'à ce que le mercure cesse de s'abaisser dans le grand tube A et de monter dans le petit tube C. Ce résultat obtenu, on ramène le niveau du mercure dans le grand tube A au point B où il se trouvait précédemment, en versant du mercure dans le petit tube C jusqu'à une hauteur suffisante O. Le gaz a conservé la force élastique qu'il avait auparavant, puisque son volume primitif est encore le même; donc la différence HO que l'on observe maintenant entre les deux niveaux du mercure représente la tension de la vapeur qu'on y a ajoutée. Or, cette tension est précisément égale à celle qu'aurait la même vapeur dans le vide barométrique à la même température; ce qui démontre les deux lois précédemment énoncées.

**185. Densité des vapeurs.** — Les densités des vapeurs se mesurent, comme celles des gaz, par rapport à la densité de l'air prise pour unité : par conséquent on appelle densité d'une vapeur le rapport entre les poids de deux volumes égaux de vapeur et d'air, pris dans les mêmes conditions de température et de pression. Le procédé que l'on emploie pour la détermination des densités des vapeurs est le même, sauf la forme des appareils, que celui dont on se sert pour mesurer les densités des gaz (143). Les chiffres suivants indiquent les densités des principales vapeurs :

Eau . . . . .	0,622	Soufre . . . . .	2,206
Alcool . . . . .	1,613	Mercure . . . . .	6,976
Éther . . . . .	2,586	Iode . . . . .	8,716

### Évaporation. Ébullition. Distillation.

**184. Évaporation.** — Lorsqu'un liquide est exposé au contact de l'air, sa surface laisse dégager lentement des vapeurs qui se répandent dans l'atmosphère. C'est en vertu de ce phénomène, connu sous le nom d'évaporation, que de l'eau placée dans un vase ouvert disparaît complètement au bout d'un certain temps, laissant au fond du vase les substances fixes qu'elle pouvait tenir en dissolution. Le séchage du linge exposé à l'air, l'extraction du sel marin dans les marais salants, la cristallisation par voie humide\*, reposent sur cette propriété.

Plusieurs circonstances favorisent l'évaporation des liquides : telles sont l'élévation de la température, la diminution de pression extérieure, la sécheresse de l'air, son agitation et enfin l'étendue de la surface d'évaporation.

**185. Ébullition.** — On entend par ébullition (fig. 133) le passage rapide et tumultueux d'un liquide à l'état de vapeur, se dégageant du sein même de la masse liquide sous la

forme de grosses bulles qui viennent crever à la surface. Ce phénomène, quel que soit le liquide qui le présente, est soumis aux deux lois suivantes :

1<sup>o</sup> Pour un même liquide, placé dans les mêmes conditions, l'ébullition se produit toujours à une même température. Cette température reste invariable pendant toute la durée de l'ébullition.

2<sup>o</sup> 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 naturelle ou artificielle qui l'entoure.



Fig. 133.

\* Voyez la Chimie.

Plusieurs causes peuvent faire varier la température à laquelle l'ébullition se produit. Ces causes sont : 1° la nature du liquide; 2° la nature du vase; 3° les substances tenues en dissolution dans le liquide; 4° la pression extérieure.

1° *Nature du liquide.* La température de l'ébullition est loin d'être la même pour chaque liquide, sous la pression atmosphérique. Ainsi, l'eau bout sous la pression de 0<sup>m</sup>,76, à 100°; l'éther à 35,66; l'alcool à 79°; le mercure à 360, etc.

2° *Nature du vase.* Dans un ballon de verre, l'eau bout à une température plus élevée que dans un vase métallique. Ainsi, quand la surface intérieure du ballon de verre est bien polie, la température de l'ébullition de l'eau peut s'élever à 101, 102, 103 et même jusqu'à 106°. Mais il suffit de projeter un petit fragment de métal au fond du ballon pour ramener aussitôt la température de l'ébullition à 100°. On attribue ce phénomène à l'affinité du verre pour l'eau.

3° *Substances tenues en dissolution.* Les substances dissoutes dans un liquide, lorsqu'elles ne sont pas elles-mêmes volatiles, retardent son ébullition. Ainsi, l'eau saturée de sel marin ne bout qu'à 109°; d'azotate de potasse, à 116°; de carbonate de potasse, à 135°; de chlorure de calcium, à 179°.

4° *Pression extérieure.* Nous avons vu que la force élastique de la vapeur produite par un liquide en ébullition doit être égale à la pression qui s'exerce à la surface du liquide. Celui-ci, pour entrer en ébullition, s'échauffera donc d'autant moins que la pression extérieure sera plus petite. Ainsi, au niveau des mers et sous la pression de 0<sup>m</sup>,76, l'eau bout à 100°; mais au sommet des montagnes, où la pression est moindre, elle bout à une température plus basse. Sur le Mont Blanc, par exemple, la température de l'ébullition de l'eau n'est que de 84°. Sous le récipient d'une machine pneumatique, où on raréfie l'air, l'eau peut même bouillir à la température ordinaire.

On peut obtenir le même résultat au moyen d'une expérience curieuse, due à Franklin. On prend un matras de verre B (fig. 134), dans lequel on fait bouillir de l'eau pendant quelques minutes. Quand la vapeur a entraîné tout l'air du ballon, on bouche celui-ci hermétiquement et on le retourne en faisant plonger l'extrémité du col dans un vase V contenant de l'eau. Le liquide cesse alors de bouillir; mais si l'on verse de l'eau froide sur le ballon ainsi renversé, la vapeur qui est au-dessus du liquide venant à se con-

denser en partie, sa pression diminue, et l'on voit aussitôt se produire une vive ébullition dans la masse d'eau chaude que contient le ballon.

Réciproquement si la pression augmente au lieu de diminuer, l'ébullition est retardée. Elle n'a lieu pour l'eau, par exemple, qu'à 121°, quand la pression est de deux atmosphères. Voilà pourquoi, dans un vase profond, les couches inférieures d'un liquide en ébullition sont toujours à une température plus élevée que celle des couches supérieures.

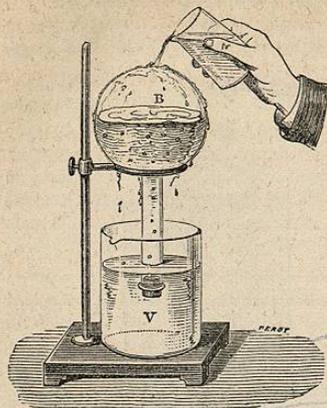


Fig. 134.

186. *Distillation.* — La distillation est une opération par laquelle on réduit les liquides en vapeur, au moyen de la chaleur, pour les faire retourner ensuite à l'état liquide par le refroidissement. Elle a pour but de purifier les liquides en les séparant des substances fixes ou des corps d'une volatilité différente qu'ils tiennent en dissolution; exemple : la distillation de l'eau, de l'alcool, des huiles essentielles.

On opère la distillation dans des vases particuliers, connus sous le nom d'*alambics*. Ces appareils distillatoires se composent (fig. 135) de trois parties essentielles : la *cucurbite*, le *chapiteau* et le *serpentin* ou réfrigérant. La cucurbite ou chaudière C reçoit le liquide que l'on veut distiller, et repose sur un fourneau F; le chapiteau D recouvre immédiatement la cucurbite, et communique par un tuyau incliné EK avec le serpentin S. Ce serpentin, formé d'un tuyau tourné en spirale, est placé dans un vase métallique ABGH qui contient de l'eau froide, afin de maintenir ses parois à une basse température. Pour opérer la distillation, on porte à l'ébullition le liquide contenu dans la cucurbite; la vapeur se rend dans le chapiteau et de là dans le serpentin, où elle se condense par le refroidissement qu'elle éprouve. On recueille le liquide par l'extrémité R du réfrigérant. L'eau qui entoure le serpentin s'échauffant très-vite par la chaleur qu'abandonne la vapeur en se condensant, il est néces-

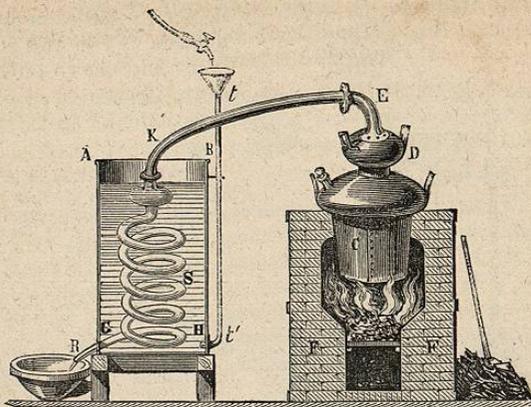


Fig. 155.

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.