

DE
LA CHALEUR
DANS SES APPLICATIONS
AUX ARTS
ET
AUX MANUFACTURES.

PAR A. BULOS.



PARIS.

URBAIN CANEL, LIBRAIRE,

PLACE SAINT-ANDRÉ-DES-ARTS, N^o. 31.

AUDIN, LIBRAIRE,

QUAI DES AUGUSTINS, N^o. 25.

1825.



DE
LA CHAÎNE

DANS SES APPLICATIONS

AUX ARTS

ET

AUX MANUFACTURES

PAR A. BUISSON



**INSTITUT
CATHOLIQUE
DE PARIS**

LIBRAIRIE GÉNÉRALE
CATHOLIQUE, 26, RUE
MONTMARTRE, PARIS
LIBRAIRIE GÉNÉRALE
CATHOLIQUE, 26, RUE

1852

AVERTISSEMENT.

JE n'ai point eu la prétention de faire un ouvrage sur la chaleur, je n'ai voulu que réunir dans un même volume les résultats que l'expérience a consacrés. J'ai puisé dans Parker, dans Chaptal, dans Robertson, et surtout dans Fredgold, dont j'ai employé presque en entier le beau travail. Je ne voulais rien m'approprier, j'empruntais sans scrupule. Les savans que je viens de nommer peuvent donc être considérés comme les véritables auteurs de cet écrit, aux fautes près, qui m'appartiennent tout entières.

AVERTISSEMENT.

Je n'ai point eu la prétention de faire un
ouvrage sur la chimie, je n'ai voulu que
offrir dans un résumé véridique les résultats
de l'expérience à constater. J'ai puise dans
Berthollet, dans Kirwan, dans Robison, et
dans Wedgole, dont j'ai employé
les noms en entier le peu de travail. Je ne
sais rien d'appuyer, j'emprouvais
avec scrupule. Les savans que je viens de
citer peuvent donc être considérés
comme les véritables auteurs de cet écrit,
et toutes fois, qui m'appartiennent tout
entièrement.

DE LA CHALEUR

DANS SES APPLICATIONS

AUX ARTS ET AUX MANUFACTURES.

PREMIÈRE PARTIE.

Des effets de la chaleur ; des moyens de la mesurer ; de la combustion.

ON trouve difficilement dans tout le système terrestre , une substance d'une aussi grande importance que le calorique : nous ignorons sa nature , mais les effets qu'il produit sont surprenans. Les uns l'envisagent comme une modification accidentelle que les corps éprouvent ; les autres le considèrent comme une substance matérielle , une sorte de fluide élastique extrêmement subtil. Je ne m'arrêterai pas à discuter le mérite de ces opinions ; elles sont indifférentes au sujet qui m'occupe. Je remarquerai seulement que la force qui unit les molécules d'un corps est sans cesse modifiée par une cause

qui balance l'effet de cette affinité, et finit quelquefois par la détruire. L'action de cette cause se manifeste encore à nous par un effet d'un autre genre, qui produit sur nos organes la sensation que nous nommons chaleur. Ainsi nous connaissons les effets qu'elle produit; nous pouvons les classer, les disposer entre eux et les plier à nos usages.

Le mot chaleur, tel qu'on l'emploie dans le langage ordinaire, est équivoque et peu précis. Il exprime tantôt une sensation, et tantôt la cause même de cette sensation; c'est pour éviter toute confusion que les auteurs de la nomenclature chimique lui ont substitué celui de calorique.

Lorsque les corps environnans ont acquis la même température, le calorique qu'ils contiennent est dans un état de repos; mais ils n'en renferment pas tous la même quantité, soit qu'on les prenne sous des poids égaux, soit qu'on les envisage sous le même volume. Chaque espèce de matière exerce une affinité particulière sur cet agent, et en absorbe une certaine portion pour se mettre en équilibre avec les autres (*). Ainsi, lorsque la chaleur d'une pièce augmente, les corps qu'elle renferme attirent et retiennent différentes quantités de chaleur. Cette propriété semble indiquer la matérialité du calorique. En effet, quoique en repos

(*) Dalton, Philosophie chimique, pag. 2.

il existe dans les corps en proportions diverses : il n'est modifié ni par leur densité ni par leurs formes ; mais il est soumis à l'influence de quelque force d'attraction particulière, analogue à l'affinité chimique. C'est cette faculté que l'on désigne par les noms de capacité pour la chaleur, ou de calorique spécifique.

Quelque différente que soit cette capacité des corps, l'extrême élasticité du calorique lui fait promptement acquérir la même tension. On peut les comparer à une série de tubes de diverses grandeurs, mais d'ouvertures très-étroites, plongés dans un vase rempli d'eau. Le liquide s'élève aussitôt dans tous à la même hauteur ; cependant chacun d'eux n'en renferme pas à beaucoup près la même quantité ; il devient donc important de trouver quelque moyen d'estimer cette tension, cette hauteur ou ce degré de température, pour me servir du terme technique, c'est-à-dire de recourir au thermomètre.

Des thermomètres.

Le thermomètre fut imaginé dans le commencement du dix-septième siècle, le nom de son auteur n'est pas bien connu ; il est resté dans l'obscurité qui couvre ceux d'une foule d'hommes auxquels nous sommes redevables des plus utiles inventions.

Le premier thermomètre dont on ait fait usage est le thermomètre à air. Le fluide élastique était renfermé dans le tube au moyen de quelque liquide coloré qui s'élevait ou s'abaissait suivant que l'air se dilatait ou se contractait. On reconnut bientôt que cet instrument était défectueux. On le remplaça par le thermomètre à esprit-de-vin, mais pendant long-temps encore les indications en furent très-fautives. Il n'avait aucun point fixe, et ne pouvait, par conséquent, devenir d'un usage général. Les physiiciens s'occupèrent d'y porter remède; ils cherchèrent à construire une échelle de manière que tous les thermomètres se rapportassent entre eux. Ces points si importants, sans lesquels l'instrument qui nous occupe ne mérite aucune confiance, avaient été découverts depuis long-temps par le docteur Hooke. Ils ne furent cependant mis en usage que par Newton (*). Ce savant adopta la congélation et l'ébullition de l'eau; toutes les recherches qu'on a faites depuis n'ont servi qu'à démontrer combien ce choix était fondé. Newton employa l'huile de lin dans son thermomètre qu'il construisit en 1701.

Mais on ne tarda pas à reconnaître que ce li-

(*) Robert Hooke découvrit la permanence de la température de la congélation en 1664, et celle de l'eau bouillante en 1684.



quide présente divers inconvéniens ; on le remplaça par le mercure ; cette innovation date de la fin du dix-septième siècle. Halley avait pensé à faire cette substitution, mais il ne l'exécuta pas parce que ce métal se dilate moins que les fluides alors en usage. C'est à Fahrenheit d'Amsterdam que nous en sommes redevables. Il présenta en 1724 un mémoire sur ce sujet à la Société royale de Londres.

Le thermomètre de Fahrenheit est un tube cylindrique délié qui se termine par une petite boule ; il porte une échelle divisée en 600 parties égales et qui a pour limite inférieure le froid le plus vif, observé en Islande en 1709, ou celui que l'on obtient en plongeant la boule du thermomètre dans un mélange de neige et de sel ammoniac ou de sel marin ; l'ébullition du mercure fournit la limite supérieure. Il trouva par expérience que c'est à la 32^e. division de son échelle que la neige ou la glace commence à se fondre ; en conséquence, ce point fut appelé *point de congélation*. En plongeant l'instrument dans l'eau bouillante le mercure s'éleva à 212^o, ce fut le *point de l'ébullition*, qui est conséquemment à 180^o au-dessus du 1^{er}. Pour faire un thermomètre tel que celui que nous venons de décrire, il suffit de plonger la boule du tube dans la neige ou la glace fondante et de marquer 32^o au point où le mercure s'arrête ; de le

porter ensuite dans l'eau bouillante et de noter la hauteur à laquelle le métal parvient ; divisant ensuite l'intervalle en 180 parties , on a l'échelle de Fahrenheit que l'on peut continuer au-dessous et au-dessus.

La température de la congélation et de l'eau bouillante sont des points généralement adoptés. Le dernier cependant, loin d'être invariable , s'approche ou s'éloigne souvent de plusieurs degrés, suivant la pression et la température de l'atmosphère.

Pour remédier à cet inconvénient et mettre de l'uniformité dans la construction des thermomètres, on suspend la boule du tube dans le bain de vapeur qui se forme lorsque l'eau bout avec violence , le baromètre marquant 0,764 millimètres et la température étant de 12° c.

Le thermomètre de Fahrenheit est le seul que l'on emploie généralement en Angleterre.

Dans le thermomètre centigrade ou celui dont on fait usage en France depuis la révolution , le 0 est placé au point de la congélation et l'autre limite à la température de l'eau bouillante ; l'intervalle est divisé en 100 parties. Il est depuis long-temps employé en Suède sous le nom de thermomètre de Celsius. Le thermomètre de Réaumur a pour points extrêmes , les températures de la congélation et de l'eau bouillante ; l'espace se divise en 80 parties,

il est encore usité dans plusieurs parties de l'Europe.

Le thermomètre de Delisle est employé en Russie, les points extrêmes sont aussi les températures de la congélation et de l'eau bouillante. Mais le 0 est marqué au terme de l'ébullition, et l'intervalle se divise en descendant en 150 parties.

Formules pour transporter les degrés d'une échelle dans une autre.

1°. Pour réduire les degrés Fah. en degrés centigrades ,

$$\frac{F - 32 \times 5}{9} = C.$$

2°. Pour réduire les degrés cent. en degrés Fah. ,

$$\frac{C \times 9}{5} + 32 = F$$

3°. Pour réduire les degrés Réaum. en degrés Fahrenh. ,

$$\frac{R \times 9}{4} + 32 = F.$$

4°. Pour réduire les degrés Fahr. en degrés Réaum. ,

$$\frac{F - 32 \times 4}{9} = R.$$





M. Murray a proposé une échelle qui serait, suivant lui, plus convenable que celle de Fahrenheit. Il choisit pour point fixe la congélation et l'ébullition du mercure, et divise l'espace qu'elles comprennent en mille parties ou degrés (*).

La dilatation qu'on observe dans le thermomètre mercuriel n'est réellement que la différence de celles qu'éprouvent le métal et le verre.

On a supposé pendant long-temps que des divisions égales de l'échelle de Fahrenheit n'indiquaient pas des accroissemens égaux de température. Cette supposition a été examinée par le docteur Black, qui s'exprime de la manière suivante.

« Si on tend un cordon en le chargeant d'abord
» d'un poids modéré, qu'on ajoute ensuite une
» livre à ce poids, le cordon s'allongera d'une
» certaine quantité; une deuxième livre l'allon-
» gera encore, mais moins que la première; une
» troisième livre produira encore de l'effet, cepen-
» dant elle en produira à son tour moins que la
» deuxième. Nous pouvons, par analogie, imagi-
» ner que lorsqu'un thermomètre reçoit une
» série d'additions égales de chaleur, elles ne
» produisent pas des dilatations égales; en con-
» séquence, des accroissemens égaux d'expan-

(*) Chimie de Murray, vol. 1, pag. 153.





» sion peuvent exiger pour se produire des quan-
» tités de chaleur inégales. Cette question n'a
» pas été traitée, ou ne l'a été que légèrement
» par la plupart des physiciens qui ont écrit sur
» les thermomètres. Elle ne paraît pas s'être pré-
» sentée à Boerrhaave, et le docteur Martin s'y
» est à peine arrêté. Je l'examinai et fis des ex-
» périences pour la décider en 1760. J'ignorais
» que d'autres s'en fussent occupés, mais je ne
» tardai pas à apprendre que Boyle, Renaldini
» de Padoue, Wolf, Halley, Newton, le doc-
» teur Brook, Taylor, avaient exposé, chacun sé-
» parément, leurs opinions et leurs doutes à ce
» sujet (*). »

Le résultat des recherches du docteur Black est « que des additions ou abstractions égales
» de chaleur produisent des variations égales
» de volume, dans la liqueur des thermomè-
» tres qu'il a employés; qu'en conséquence l'é-
» chelle d'expansion était aussi une échelle
» de chaleur, ou au moins qu'elle ne déviait
» que faiblement de l'exacte proportion (**). »

« Deluc, dit Dalton, a trouvé qu'en mêlant
» des poids égaux d'eau prise, aux températures
» de la congélation et de l'ébullition; c'est-à-dire
» à 32° et 212° F., le mélange marquait, à peu

(*) Leçons de Black, volume 1, pag. 56, 57.

(**) Leçons de Black, vol. 1, préface, pag. xxxix.

» de chose près, 119° F. tandis que la moyenne
 » des deux nombres est 122° . S'il avait pris des
 » volumes égaux, il aurait obtenu 115° . Il n'est
 » pas improbable que la véritable température
 » moyenne entre 32° et 212° descende à 110°
 » Fahr. (*). »

M. Dalton a récemment examiné ce sujet difficile, et a construit une échelle qu'il pense devoir correspondre aux augmentations de chaleur. Je vais donner quelques extraits de son Mémoire.

« La manière dont on estime la température
 » n'est pas exacte; on l'évalue en prenant pour
 » base la dilatation uniforme du mercure. Cette
 » méthode est vicieuse par deux raisons: 1^o. Le
 » thermomètre à mercure, plongé dans un mélange
 » d'eau à diverses températures, n'indique
 » que jamais qu'une température inférieure à la
 » moyenne. Telle est, par exemple, le cas de ce
 » liquide pur à 32° et 212° ; il ne donne que 119° ;
 » tandis qu'il devrait, d'après les remarques
 » précédentes, marquer plus de 120° . 2^o. D'après
 » les expériences les plus récentes, le mercure
 » paraît suivre, dans sa dilatation, les mêmes lois
 » que l'eau, c'est-à-dire, que son expansion est
 » comme le carré de la température, à partir
 » du point de sa plus grande densité. La dilata-

(*) Dalton, philosophie chimique, pag. 7.

» tion du mercure ne nous paraît égale que
» parce que nous ne considérons qu'une petite
» portion de son échelle, et que nous ne l'en-
» visageons qu'à peu de distance de la congé-
» lation.

» D'après les remarques qui ont été faites, il
» paraît que nous n'avons aucun mode facile
» de connaître quelle est la moyenne véritable
» entre deux températures telles que celles de la
» congélation et de l'ébullition de l'eau; nous
» n'avons non plus aucun thermomètre qui
» puisse être considéré comme exact, à peu de
» chose près.

» La chaleur est un des agens les plus impor-
» tans de la nature; il n'est pas douteux qu'un
» principe aussi actif ne soit soumis à des lois
» générales. Si les phénomènes semblent con-
» duire à une autre conséquence, c'est que
» nous les concevons mal. Les physiciens avaient
» cru qu'un même corps se dilate uniformé-
» ment ou suit une progression arithmétique,
» par des additions égales de chaleur. On a vé-
» rifié cette conjecture sur les liquides, elle
» ne s'est pas trouvée exacte. Tous éprouvent
» des augmentations de volume, plus considéra-
» bles dans les températures élevées; il n'y en
» a pas deux qui se comportent de la même ma-
» nière. Le mercure est celui qui offre le moins
» de variations ou qui approche le plus d'une

» expansion uniforme. C'est cette propriété, et
 » quelques autres considérations qui l'ont fait
 » généralement adopter pour la construction
 » des thermomètres.

» J'ai, depuis quelque temps, des raisons de
 » croire que l'eau et le mercure suivent la même
 » loi de dilatation, c'est-à-dire, qu'ils croissent
 » en volume, suivant le carré de la tempéra-
 » ture, à partir du point respectif de la con-
 » gélation. L'eau se conforme, à peu de chose
 » près, à cette loi, d'après l'échelle actuelle de
 » température; et la petite différence qu'elle
 » présente est du genre de celles qui doivent
 » exister, attendu l'erreur connue de l'égale di-
 » vision de l'échelle mercurielle. En continuant
 » mes recherches, j'ai trouvé que cette échelle,
 » celle de l'eau, divisées suivant ce principe,
 » s'accordent parfaitement dans toute l'étendue
 » où elles sont comparables; il est probable que
 » les autres liquides purs obéissent à la même
 » loi. Mais les composés hétérogènes, tels que
 » les solutions liquides des sels, ont une dila-
 » tation particulière (*).

» Cependant, il paraît maintenant que la
 » force de la vapeur en contact avec l'eau, croît
 » exactement en proportion géométrique, pour
 » des augmentations égales de température;

(*) Dalton, philosophie chimique, pag. 8, 11.

» pourvu néanmoins que ces augmentations
» soient mesurées pour le thermomètre à eau ou
» à mercure, qui doit être gradué d'après la
» loi que nous avons énoncée plus haut.

» D'après ce résultat, il était naturel de pen-
» ser que l'air se comporte de la même manière ;
» car l'air (considéré comme fluide élastique)
» et la vapeur sont identiques et ne diffèrent
» que par certaines modifications ; aussi a-t-on
» reconnu , par l'expérience , que l'air se dilate
» en proportions géométriques , pour des quan-
» tités égales de chaleur , mesurées comme nous
» l'avons dit plus haut. La vapeur , privée de
» tout contact avec l'eau et n'étant par consé-
» quent plus susceptible d'augmenter ni de dé-
» croître en quantité , suit dans sa dilatation ,
» d'après les recherches de Gay-Lussac, la même
» loi que les fluides élastiques permanens. Tant
» d'analogies en faveur de l'hypothèse que j'ex-
» posesont plus que suffisantes pour l'établir. Mais
» un fait remarquable , qui ne coïncide pas avec
» l'échelle reçue , et qui cependant mérite une
» attention spéciale , c'est *qu'un corps , en se re-*
» *froidissant , perd une quantité de chaleur pro-*
» *portionnelle à son excès de température , au-*
» *dessus du milieu ambiant ;* ou autrement , la
» température décroît en progression géomé-
» trique , dans des espaces de temps égaux. C'est
» ainsi que , si l'on suppose un corps à 1000°

- » au-dessus du milieu dans lequel il est plongé ,
» les temps nécessaires pour qu'il refroidisse
» de 1000° à 100° , de 100° à 10° , et de 10 à 1° ,
» sont les mêmes. On sait que cela n'a pas tout-
» à-fait lieu pour l'échelle ordinaire; il s'en
» faut peu , mais enfin les intervalles dans le
» bas sont un peu plus longs que dans le haut.
» La nouvelle échelle remédie à cette irrégula-
» rité , et la fait entièrement disparaître.
- » On trouve alors que la température réunit
» quatre analogies remarquables.
- » 1°. Tous les liquides homogènes purs , tels
» que l'eau et le mercure , se dilatent à partir du
» point de leur congélation ou de leur plus
» grande densité , suivant le carré de la tem-
» pérature à partir de ce point.
- » 2°. La force de la vapeur provenant des li-
» quides purs , tels que l'eau , l'éther , etc. , suit
» une progression géométrique pour des quantités
» de chaleur en progression arithmétique.
- » 3°. L'expansion des fluides élastiques per-
» manens suit une progression géométrique pour
» des additions égales de chaleur.
- » 4°. Le refroidissement des corps suit une
» progression géométrique pour des intervalles
» égaux.
- » Un thermomètre mercuriel , gradué d'après
» ces principes , diffère du thermomètre équi-
» différentiel , en ce que les degrés inférieurs

» seront plus petits et les degrés supérieurs plus
» étendus ; la moyenne entre les points de con-
» gélation et d'ébullition , ou 122° sur la nou-
» velle échelle , correspond à 110° sur l'an-
» cienne. La table suivante rendra plus sensibles
» les principes que nous venons d'énoncer (*). »

(*) Dalton , Philosophie chimique, pag 11-14.



TABLE.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|--|---|--|--|
| Intervalles égaux de température, d'après Dalton. | Échelle ordinaire de Fahrenheit, corrigée de l'expansion du verre. | Expansion de l'air en progression géométrique, dont la raison est 1,0179. | Expansion de l'eau comme le carré de la température. | Force de la vapeur d'eau en progression géométrique, dont la raison est 1321 pouces de mercure, ou |
| — 175 | — 40 | 692 - | | |
| — 68 | — 21,12 | 837,6 | » | 0,012 |
| — 58 | — 17,06 | 852,5 | » | 0,016 |
| — 48 | — 12,96 | 867,7 | » | 0,022 |
| — 38 | — 8,52 | 883,3 | » | 0,028 |
| — 28 | — 3,76 | 899 - | » | 0,038 |
| — 18 | 1,34 | 915,2 | » | 0,050 |
| — 8 | 6,78 | 931,5 | » | 0,066 |
| 2 | 12,63 | 948,2 | 16 | 0,087 |
| 12 | 18,74 | 965,2 | 9 | 0,115 |
| 22 | 25,21 | 982,4 | 4 | 0,151 |
| Congélation. | | | | |
| 32 | 32 | 1000 | 1 | 0,200 |
| 42 | 39,3 | 1017,9 | 0 | 0,264 |
| 52 | 47 - | 1036,1 | 3 | 0,348 |
| 62 | 55 - | 1054,7 | 4 | 0,461 |
| 72 | 63,3 | 1073,5 | 9 | 0,609 |
| 82 | 72 - | 1092,7 | 16 | 0,804 |
| 92 | 81 - | 1112,3 | 25 | 1,062 |
| 102 | 90,4 | 1132,2 | 36 | 1,40 |
| 112 | 100,1 | 1152,4 | 49 | 1,85 |
| 122 | 110 - | 1173,1 | 84 | 2,45 |
| 132 | 120,1 | 1194 - | 81 | 3,24 |
| 142 | 130,4 | 1215,4 | 100 | 4,27 |
| 152 | 141,1 | 1237,1 | 121 | 5,65 |
| 162 | 152 - | 1259,2 | 144 | 7,47 |
| 172 | 163,2 | 1281,8 | 169 | 9,87 |
| 182 | 175 - | 1304,7 | 196 | 13,02 |
| 192 | 186,9 | 1328 - | 225 | 17,19 |
| 202 | 199 - | 1351,8 | 256 | 22,70 |
| Ébullition. | | | | |
| 212 | 212 | 1376 - | 289 | 30,00 |
| 312 | | 1643 | | 48,5 |
| 412 | | 1962 | | |
| 512 | | 2342 | | |
| 612 | | 2797 | | |
| 712 | | 339 | | |

*Explication de la Table.*

La première colonne contient les degrés de température marqués d'après la loi indiquée par M. Dalton. La deuxième forme l'échelle ordinaire du thermomètre de Fahrenheit, corrigée de l'expansion du verre. En comparant ces deux colonnes, la plus grande différence entre 32° et 212° est à la moyenne, c'est-à-dire 122° degrés de l'échelle de Dalton, qui correspond à 110° de celle de Fahrenheit. Mais au-dessous de 32° et au-dessus de 212° les différences sont encore plus sensibles; ainsi le point de congélation du mercure, qui est 40° dans l'échelle Fahrenheit, est 175° dans l'échelle de Dalton. La comparaison de ces deux colonnes démontre l'erreur, et peut servir à exprimer une observation faite avec l'ancien thermomètre, en fonction de la nouvelle graduation.

La troisième colonne présente une série de nombres en progression géométrique, dont la raison est 1,0179. Ainsi 1000 parties d'air au point de congélation en donnent 1376 à la température de l'ébullition.

La quatrième colonne renferme les carrés de la série arithmétique 1, 2, 3, 4, etc., etc., qui représentent l'expansion de l'eau pour des accroissemens égaux de température.

La cinquième colonne renferme la force des

vapeurs aqueuses en contact avec l'eau, exprimée en pouces de mercure pris aux mêmes températures.

Il résulte des détails dans lesquels nous venons d'entrer, que l'usage du thermomètre est extrêmement limité. Quand il est construit avec de l'alcool ou esprit de vin, il peut, il est vrai, mesurer le froid le plus intense; mais il n'en est pas ainsi pour les températures élevées. Le thermomètre à mercure lui-même ne s'emploie pas pour celles qui dépassent 400° F au-dessus de l'eau bouillante (330° c), ou 350° F de la nouvelle échelle de Dalton, terme auquel le mercure entre en ébullition. Pour remédier à cette imperfection, on a imaginé diverses méthodes, et les instrumens dont on fait usage sont, comme nous l'avons dit, appelés *pyromètres*. Le plus usité est celui qui est dû à Wedgwood; il est cependant bien éloigné d'être parfait.

Il consiste en diverses pièces d'argile moulée en cylindres, dont la composition diffère peu de celle de la poterie ordinaire et qui ne sont que faiblement cuits. Quand on les emploie, on les met dans un creuset et on les expose à l'action de la chaleur qu'on veut évaluer; on les laisse refroidir, et la contraction qu'ils ont subie étant d'autant plus grande que la température a été plus élevée, sert à faire connaître l'intensité de celle-ci.



Cet instrument deviendrait plus utile si on combinait ses indications avec celles du thermomètre à mercure, et si l'on déterminait avec soin le rapport des degrés de l'un et de l'autre. Ce travail avait été fait par Wedgwood. Son échelle commence au rouge visible en plein jour. Elle est divisée en 240 parties égales, dont chacune équivaut à 130° de Fahrenheit. La première division correspond à environ 1077° (598 c), en supposant l'échelle ordinaire continuée au-dessus de l'ébullition du mercure; et la dernière à 3277° F (17932° c).

Rien ne prouve que ces estimations de Wedgwood soient exactes; et même, suivant Guyton-Morveau, elles ne le sont pas du tout. D'après l'estimation de ce dernier, la première division de l'échelle correspond à 517,579 F (270° c), et chaque degré équivaut à 61,25 F.

Pour réduire les degrés de Wedgwood en degrés Fahrenheit,

$$W \times 130 + 1077 = F,$$

et, suivant Guyton-Morveau,

$$W \times 61,25 + 517,579 = F.$$

Pour réduire les degrés de Fahrenheit en degrés Wedgwood,

$$\frac{F - 1077}{130} = W;$$



ou , suivant Guyton-Morveau ,

$$\frac{F - 517,579}{62,25} = W.$$

La table suivante contient quelques-unes des températures les plus remarquables , exprimées en fonctions des thermomètres de Réaumur , de Fahrenheit , centigrade et de Wedgwood.

TABLE en nombres ronds des degrés de température auxquels se présentent quelques phénomènes remarquables. Les degrés sont exprimés en fonction de différens thermomètres.

| Réaum. | Fahren | Centigr. | |
|--------|---------|----------|---|
| 54 | 90 | 68 | Le plus grand froid qu'on ait observé, obtenu par M. <i>Walker</i> . |
| 44 | 66 | 55 | Congélation de l'acide nitrique. <i>Fourcroy</i> . |
| 36 | 50 | 44 | Froid observé à la baie d'Hudson. <i>M'Xab</i> . |
| 35 | 46 | 43 | Congélation de l'éther. |
| 34 | 45 | 42 | L'ammoniaque se liquéfie. |
| 32 | 39 | 39 | Congélation du mercure. |
| 30 | 36 | 37 | Congélation de l'acide sulfurique. <i>Thomson</i> . |
| 28 | 31 | 35 | L'acide sulfureux se liquéfie. <i>Monge</i> . |
| 24 | 23 | 30 | Froid observé à Glasgow sur la surface de la neige, 1780. |
| 23 | 22 | 30 | Congélation de l'acide acétique. |
| 20 | 14 | 25 | Froid observé à Glasgow en 1780. |
| 19 | 11 | 24 | Congélation de deux parties d'alcool et d'une d'eau. |
| 18 | 10 | 23 | Froid observé sur la neige à Kendal en 1791. |
| 17 | 7 | 22 | Congélation de l'eau-de-vie. |
| 14 | 0 | 18 | Froid produit par le mélange de parties égales de neige et de muriate de soude. |
| 7 | 16 | 9 | Congélation de l'huile de térébenthine. |
| 5 | 20 | 6 | Congélation des vins généreux. |
| 4 | 23 | 5 | Congélation de l'acide fluorique. <i>Priestley</i> . Congélation de l'huile de bergamote et de cannelle. <i>Margueron</i> . |
| 3 | 25 | 4 | Congélation du sang humain. |
| 2 | 28 | 2,5 | Congélation du vinaigre. |
| 1 | 30 | 1,25 | Congélation du lait. |
| 0 | 32 | 0 | L'acide oxymuriatique se liquéfie. <i>Thomson</i> . Congélation de l'eau. |
| 2 | 36 | 2,5 | L'huile d'olive se coagule. |
| 3 | 39 | 4 | Les hérissons et les marmottes s'engourdissent. |
| 4 | 40 | 5 | Ébullition de l'acide oxymuriatique. <i>Thomson</i> . Le soufre et le phosphore pris à parties égales entrent en fusion. <i>Pelletier</i> . |
| 5 | 43 | 6 | Le phosphore brûle lentement. |
| 6 | 45 | 7 | L'acide sulfurique, d'une densité de 1,78, se congèle. <i>Keir</i> . |
| 10 | 55 à 66 | 12 | Fermentation putride. <i>Fourcroy</i> . |

| Réaumur. | Fahren | Centigr | |
|----------|-----------|---------|--|
| 12 | 59 | 15 | Fermentation vineuse (la) commence. <i>Fourcroy</i> . |
| 14 | 64 | 17 | L'huile d'anis se coagule. |
| 15 | 66 à 33 | 18 | Putréfaction animale. 70 Fermentation pauvre. |
| 16 | 68 | 20 | Le camphre s'évapore. <i>Fourcroy</i> . |
| 18 | 74 | 23 | Le beurre entre en fusion. |
| 19 | 75 | 24 | Chaleur de l'été à Edimburgh. |
| 20 | 77 | 25 | Vive fermentation vineuse. <i>Fourcroy</i> . La fermentation acétique commence. |
| 21 | 80 | 26 | Le phosphore brûle dans le gaz oxygène. 104 <i>Gottling</i> . |
| 21 | 75 à 80 | 26 | Chaleur de l'été en Angleterre. |
| 21 | 80 | 26 | Température de l'Océan sous l'équateur. |
| 22 | 82 | 28 | Fusion de l'adipocire musculaire. |
| 25 | 88 | 31 | Cessation de la fermentation acétique. <i>Fourcroy</i> . Le phosphore devient ductile. |
| 29 | 92 à 99 | 37 | Chaleur du corps humain. |
| 28 | 97 | 36 | Fusion de l'axonge. <i>Nicholson</i> . |
| 28 | 97 | 36 | Température d'un essaim d'abeilles. |
| 29 | 98 | 36 | Ébullition de l'éther. |
| 30 | 99 | 37 | Fusion du phosphore. <i>Pelletier</i> . |
| 31 | 100 à 103 | 39 | Chaleur des quadrupèdes domestiques. |
| 32 | 104 | 40 | Fusion de la résine contenue dans la bile. |
| 35 | 103 à 111 | 44 | Chaleur des oiseaux. |
| 33 | 107 | 41 | Chaleur fébrile. |
| » | 108 | » | Chaleur des œufs couvés. |
| 34 | 109 | 42 | Fusion de la cire de myrte. <i>Cadet</i> . |
| 35 | 111 | 44 | Température de l'atmosphère près du Sénégal. |
| 36 | 112 | 45 | Fusion du blanc de baleine. <i>Bostock</i> . |
| 40 | 122 | 50 | Vive combustion du phosphore. <i>Fourcroy</i> . 148 <i>Thomson</i> . |
| 42 | 127 | 53 | Fusion du suif. <i>Nicholson</i> . |
| 44 | 130 | 54 | L'ammoniaque se dégage de l'eau. |
| 48 | 140 | 60 | Ébullition de l'ammoniaque. <i>Dalton</i> . |
| 49 | 142 | 61 | Fusion de la cire. <i>Irwine</i> . |
| 50 | 145 | 63 | Sublimation du camphre. <i>Venturi</i> . Fusion de l'ambre gris. <i>Lagrange</i> . |
| 55 | 155 | 79 | Fusion de la cire blanche. <i>Nicholson</i> . |
| 59 | 165 | 74 | L'albumine se coagule. 156. <i>Black</i> . |
| 61 | 170 | 77 | Le soufre s'évapore. <i>Kirwan</i> . |
| 64 | 176 | 80 | Ébullition de l'alcool. 174 <i>Black</i> . |
| 90 | 235 | 116 | Fusion de l'adipocire des calculs biliaires. <i>Fourcroy</i> . |

| Réaumur. | Fahren. | Centigr. | |
|----------|---------|----------|--|
| 80 | 212 | 100 | L'eau et les huiles volatiles bouillent. Fusion de l'alliage composé de cinq parties de bismuth, de trois d'étain et de deux de plomb. |
| 83 | 219 | 104 | Le phosphore commence à se distiller. <i>Pelletier.</i> |
| 88 | 230 | 110 | Ébullition du muriate de chaux. <i>Dalton.</i> |
| 89 | 234 | 111 | Fusion du soufre. <i>Hope. 212 Fourcroy. 185 Kirwan.</i> |
| 93 | 242 | 116 | Ébullition de l'acide nitreux. |
| 96 | 248 | 120 | Ébullition de l'acide nitrique. |
| 103 | 264 | 130 | Respiration non trop pénible. <i>Tr. phil., vol. 65.</i> |
| 112 | 283 | 140 | L'oxide blanc d'arsenic se sublime. Fusion d'un alliage résultant de parties égales d'étain et de bismuth. |
| 120 | 303 | 150 | Le soufre brûle lentement et le camphre se fond. <i>Venturi.</i> |
| 134 | 334 | 168 | Fusion des alliages composés de 3 parties d'étain, de 2 de plomb; de 2 d'étain et d'une de bismuth. |
| 182 | 442 | 227 | Fusion de l'étain. <i>Richton. 413 Irwine.</i> |
| 190 | 460 | 238 | Fusion de l'alliage d'une partie d'étain et de 4 de plomb. |
| 197 | 476 | 248 | Fusion du bismuth. <i>Irvine.</i> |
| 226 | 540 | 282 | Sublimation de l'arsenic. |
| 232 | 554 | 290 | Ébullition du phosphore. <i>Pelletier.</i> |
| 235 | 560 | 294 | Ébullition de l'huile de térébenthine. |
| 248 | 590 | 310 | Ébullition de l'acide sulfurique. <i>Dalton. 546 Black. 540 Bergman.</i> |
| 252 | 600 | 315 | Ébullition de l'huile de lin. Sublimation du soufre. <i>Davy. 570 Thomson.</i> |
| 258 | 612 | 325 | Fusion du plomb. <i>Crichton. 594 Irwine. 585 Secundat. 540 Newton.</i> |
| 269 | 635 | 335 | Le fer commence à paraître rouge dans les ténèbres. |
| 279 | 660 | 350 | Ébullition du mercure. <i>Dalton. 644 Secundat. 600 Black.</i> |
| 297 | 700 | 371 | Fusion du zinc. |
| 315 | 750 | 384 | Le fer paraît très-rouge dans les ténèbres. |
| 341 | 800 | 427 | Combustion du gaz hydrogène. 1000 <i>Thomson.</i> |
| 342 | 802 | 428 | Combustion du charbon. <i>Thomson.</i> |
| 345 | 809 | 434 | Fusion de l'antimoine. |
| 350 | 884 | 475 | Le fer rougit dans l'ombre. |
| 448 | 1050 | 560 | Le fer rougit dans un foyer ordinaire. |

| Réaun. | Fahren. | Centigr. | Wedg. | |
|--------|---------|----------|-------|---|
| 462 | 1077 | 577 | 0 | Chaleur rouge en plein jour. |
| 564 | 1300 | 705 | 1,7 | Combustion du gaz azote. |
| 737 | 1807 | 986 | 6 | Combustion des couleurs émaillées. |
| 1451 | 2897 | 1814 | 14 | Combustion du diamant. 1 S. G. <i>M'Kenzie. 5000 Morveau.</i> |
| 1678 | 3807 | 2100 | 21 | Fusion de la fonte. |
| 2024 | 4587 | 2530 | 27 | Fusion du cuivre. |
| 2082 | 4717 | 2602 | 28 | Fusion de l'argent. |
| 2130 | 4847 | 2700 | 29 | Chaleur du coulage du verre. |
| 2313 | 5237 | 2780 | 32 | Fusion de l'or. |
| 2880 | 6507 | 3580 | 40 | Cuisson de la faïence. |
| 3750 | 8480 | 4680 | 57 | Chaleur à laquelle se travaillent les glaces. |
| 4450 | 10177 | 5610 | 70 | Fourneau du flint-glass. |
| 5370 | 12257 | 6770 | 86 | |
| 5664 | 12777 | 7080 | 90 | Soudure du fer. |
| 5800 | 13267 | 7330 | 94 | Vitrification de la porcelaine de Worcester. |
| 5953 | 13427 | 7441 | 95 | Soudure des plus grandes pièces de fer. |
| 6270 | 14337 | 7850 | 102 | |
| 6520 | 14727 | 8150 | 105 | Vitrification de la porcelaine de Chel- sea. |
| 6925 | 15637 | 8650 | 112 | Porcelaine de Derby. |
| 7025 | 15897 | 8770 | 114 | Maximum de chaleur du fourneau de flint-glass. |
| 7100 | 16007 | 8880 | 121 | Vitrification de la porcelaine de <i>Bow</i> . |
| " | " | " | 123 | Fusion de la chaux et de l'argile prises à parties égales. |
| 7460 | 16807 | 9320 | 124 | Maximum de la chaleur du fourneau pour la fusion des glaces. |
| 7650 | 17327 | 9600 | 125 | Forge de maréchal. |
| 7975 | 17977 | 9850 | 130 | Fusion du cobalt. Fusion du fer fondu. |
| 8250 | 18627 | 10320 | 135 | La porcelaine de Bristol ne se vitrifie pas. |
| 9131 | 20577 | 11414 | 150 | Fusion du nickel. Fusion des creusets de Hesse. |
| 9325 | 21097 | 11680 | 154 | Des clous de fer doux se fondent avec le creuset qui les contient. |
| 9602 | 21637 | 12001 | 158 | Fusion du fer. |
| 9708 | 21877 | 12136 | 160 | Fusion du manganèse. |
| 10286 | 23177 | 12857 | 170 | Fusion du platine, tungstène, molyb- dène, urane, et du titane. |
| 11100 | 25127 | 13900 | 185 | Maximum de chaleur observé. |
| 14331 | 32277 | 16802 | 240 | Fin de l'échelle de Wedgwood. |



Les derniers degrés de cette échelle sont trop élevés pour être exacts ; mais ils sont suffisans pour la plupart des usages où ils peuvent être employés.

Ceux qui désirent de plus amples détails peuvent consulter les ouvrages de physique ; cependant je parlerai du thermomètre différentiel, en rapportant quelques expériences de Leslie.

SECTION PREMIÈRE.

De la dilatation.

La dilatation est un des effets les plus remarquables de la chaleur. Les corps solides acquièrent une certaine augmentation de volume, les liquides en prennent un plus grand, et les fluides élastiques sont ceux qui se dilatent le plus. Nous avons exposé la loi que suivent ces derniers dans leur expansion. Il nous reste à examiner celle à laquelle obéissent les liquides et les solides.

Tout corps qui s'échauffe, à un petit nombre d'exceptions près, augmente dans ses dimensions.

Il est peut-être à propos de faire connaître les principales exceptions que souffre cette loi : la plus constante est l'expansion de volume qu'éprouvent plusieurs substances en passant de l'état fluide à l'état solide. Telle est l'eau qui se congèle. Elle



augmente de volume et peut briser les plus grands obstacles , comme le démontrent les expériences de Boyle , celles des académiciens de Florence , et celles du major Williams qui sont plus récentes. Dans l'une d'elles, une masse de fer du poids de deux livres $\frac{5}{8}$ fut projetée à une distance de 415 pieds , avec une vitesse de plus de 20 pieds par seconde (*).

C'est à cette expansion qu'il faut rapporter la rupture des tuyaux destinés à l'écoulement des eaux , le soulèvement des pavés , la chute des parties négligées des bâtimens , les fentes des arbres , des rochers.

Mais l'eau nous présente un phénomène plus remarquable, car elle se dilate non-seulement au point de congélation , mais quelques instans avant d'atteindre ce point. Ce phénomène fut remarqué par le docteur Croune vers la fin du dix-septième siècle. Il fut ensuite observé par Mairan ; mais Deluc paraît être le premier qui l'ait examiné avec soin. Le docteur Hope , et plus tard M. Lefebvre Gineau , ont fait plusieurs expériences d'où il résulte que l'eau atteint son maximum de densité à 4,4° c. au-dessus de la congélation. M. Dalton a dirigé ses recherches sur le même sujet, et pense que : « le maximum

(*) Transactions de la Société royale d'Édimbourg, vol. 2, page 2.

de densité de l'eau se trouve à 36° de l'ancienne échelle F, ou sur le 37°. ou 38°. degré de la nouvelle; il pense aussi que la dilatation du verre mince diffère peu de celle du fer, tandis que celle de l'argile est $\frac{2}{3}$, et celle de la poterie brune $\frac{1}{3}$ de la même quantité (*). »

Qu'il me soit permis d'appeler l'attention du lecteur sur ce fait remarquable, que tous les corps, si ce n'est l'eau, sont indéfiniment condensés par le froid; cette exception à une des grandes lois de la nature, est une preuve frappante de l'ordre qui préside à la conservation de l'univers. Sans cette circonstance, toutes les eaux qui se trouvent dans les régions des cercles polaires, se congèleraient pendant l'hiver à une profondeur considérable et les contrées les plus douces se convertiraient en une solitude affreuse.

Pour rendre ce fait plus sensible, considérons ce qui se passe dans la congélation d'une certaine masse d'eau douce. A mesure que l'air froid frappe les molécules de la surface elles se refroidissent, deviennent plus pesantes et descendent jusqu'à ce qu'elles aient acquis le maximum de densité; si cette contraction continuait d'avoir lieu depuis 0 jusqu'au froid le plus intense, le liquide se prendrait en une masse solide et compacte.

(*) Dalton, Philosophie chimique, page 34.

Mais l'eau étant à $4^{\circ}, 4$, c'est-à-dire à sa plus grande pesanteur spécifique, s'arrête au point le plus bas. Tout mouvement cesse, la surface seule se refroidit de plus en plus jusqu'à ce qu'une couche de neige ou de glace vienne l'abriter et la dérober à l'action de l'atmosphère. Ceux qui désirent de plus amples détails sur l'admirable économie de la nature et l'influence de l'eau salée sur la température du globe, peuvent consulter le septième essai du comte de Rumford.

D'après Smeaton « le verre se dilate de $\frac{1}{2100}$ de sa longueur pour 100° c. de température ; son expansion en volume est, par conséquent $\frac{1}{400}$. L'eau se dilate de $\frac{1}{215}$ (*).

La connaissance des rapports de dilatation des solides est extrêmement importante dans les arts, elle intéresse surtout l'horlogerie ; aussi a-t-on fait un grand nombre d'expériences à cet égard. M. Ellicot (**) paraît être le premier qui ait introduit quelque précision dans ce genre de recherches. Smeaton (***) , Roy, Troughton et Berthoud (****) ont repris le même travail.

Quoiqu'il paraisse exister une espèce de relation entre la dilatation et la fusibilité des solides,

(*) Dalton, page 31-32.

(**) Transactions philosophiques, vol. 39.

(***) *Ibid.*, vol. 48.

(****) Essai sur l'horlogerie ; 2^e. édit. Paris, 1786.



puisque ceux qui sont les plus fusibles sont aussi ceux qui se dilatent le plus, tels sont, par exemple, l'antimoine, l'étain, le plomb, etc., il faut néanmoins convenir que nous n'avons que des idées incomplètes sur le rapport qui existe entre l'expansion et les autres propriétés physiques des solides.

On n'a découvert jusqu'ici aucune loi sur la nature de la dilatation des corps solides; mais toutes les observations pratiques nous autorisent à croire que les solides augmentent de volume d'une manière uniforme. Le verre fait néanmoins exception; on a reconnu un rapport qui croît avec la température.

On a imaginé une foule d'instrumens, dont la description se trouve dans tous les ouvrages de physique, pour mesurer la dilatation que les solides éprouvent en longueur. Cette dilatation connue, on peut en déduire l'augmentation de volume, il suffit de tripler. Ainsi supposons qu'une barre de fer représentée par 1000, devienne 1001 à une certaine température: dans ce cas, 1000 pouces cubes de cette barre se transformeront en 1003 pouces cubes pour la même température (*).

(*) Dalton, pages 43-44.

TABLE des dilatations pour 100° c.

| SOLIDES. | En longueur. | En volume. | |
|------------------------------------|--------------|------------|--|
| Poteries de terre | | | Wedgwood assure que cette poterie, rendue poreuse au moyen du charbon, ne se dilate que du tiers du volume qu'elle prend lorsqu'elle est solide. |
| Poterie brune | 0,000416 | 0,0012 | |
| Bois | | | Dalton. Beaucoup moins que le verre. |
| Verges et tubes de verre | 0,000208 | 0,0025 | |
| Boules minces de verre | 0,001234 | 0,0037 | Dalton. |
| Tubes de verre | 0,0007615 | 0,002330 | <i>Idem.</i> Roy, <i>Trans. philosop.</i> , 1785. Il avait auparavant trouvé qu'un tube de verre se dilate quatre fois autant qu'une verge. |
| Verge de verre | 0,00080787 | 0,002426 | Roy, même verre que le tube. |
| Sapin | | | Roy, 1777, comme le verre. |
| Platine | 0,000856 | 0,002570 | Borda. |
| Platine et verre | 0,0011 | 0,0033 | Berthoud. |
| Régule d'antimoine | 0,001083 | 0,003253 | Smeaton. |
| Prisme de fer fondu | 0,0011094 | 0,003332 | Roy. |
| Fer fondu | 0,001111 | 0,003337 | Lavoisier. |
| Verge d'acier | 0,0011447 | 0,003438 | Roy. |
| Acier gonflé | 0,001125 | 0,003879 | <i>Trans. phil.</i> 1795. 428. |
| Acier | 0,0011574 | 0,003476 | Lavoisier. |
| Acier dur | 0,001225 | 0,003699 | Smeaton. |
| Acier trempé | 0,00137 | 0,00411 | Musschenbroek. |
| Fer | 0,001156 | 0,003472 | Borda. |
| | 0,001258 | 0,003779 | Smeaton. |

| SOLIDES. | En longueur. | En volume. | |
|---|--------------|------------|--------------------------------|
| Fer peint. | 0,00133 | 0,00400 | Musschenbroek. |
| Fer forgé. | 0,00139 | 0,00417 | <i>Idem.</i> |
| Bismuth. | 0,001392 | 0,004180 | Smeaton. |
| Or vernissé. | 0,00146 | 0,00438 | Musschenbroek. |
| Or. | 0,0015 | 0,0045 | Ellicot, par comparai- son. |
| Fil d'or. | 0,00167 | 0,00502 | Musschenbroek. |
| Cuivre martelé. | 0,001700 | 0,005109 | Smeaton. |
| Cuivre. | 0,00191 | 0,00573 | Musschenbroek. |
| Laiton. | 0,001783 | 0,005359 | Borda. |
| Chaîne de lai- ton présumé de Hambourg. | 0,0018554 | 0,005576 | Roy. |
| Laiton fondu. | 0,001875 | 0,005635 | Smeaton. |
| Verge plate de laiton anglais. | 0,0018928 | 0,005689 | Roy. |
| Fil de laiton. | 0,001933 | 0,005811 | Smeaton. |
| Laiton. | 0,00216 | 0,00648 | Musschenbroek. |
| Cuivre 8, étain 1. | 0,001817 | 0,005461 | Smeaton. |
| Argent. | 0,00189 | 0,005681 | Herbert. |
| | 0,0021 | 0,0063 | Ellicot, par comparai- son. |
| | 0,00212 | 0,00636 | Musschenbroek. |
| Laiton 16, étain 1. | 0,001908 | 0,005736 | Smeaton. |
| Étain de glace. | 0,001933 | 0,005811 | <i>Idem.</i> |
| Laiton 2, zinc 1. | 0,002058 | 0,006187 | <i>Idem.</i> |
| Étain fin. | 0,002283 | 0,006866 | <i>Idem.</i> |
| Étain en grain. | 0,002483 | 0,007469 | <i>Idem.</i> |
| Étain. | 0,00284 | 0,00852 | Musschenbroek. |
| Plomb 2, étain 1. | 0,002508 | 0,007545 | Smeaton. |
| Zinc 8, étain 1 (un peu mar- té) | 0,002692 | 0,008095 | <i>Idem.</i> |
| Plomb. | 0,002867 | 0,008625 | <i>Idem.</i> |
| | 0,00344 | 0,01032 | Musschenbroek. |
| Zinc. | 0,002942 | 0,008850 | Smeaton. |
| Zinc (martelé de 1/2 ponce par pied.) | 0,003011 | 0,009061 | <i>Idem.</i> |



LIQUIDES.

Expansion en volume..

| | | |
|-----------------------------------|--------|------------------|
| Mercure. | 0,0200 | $\frac{2}{80}$ |
| Eau. | 0,0466 | $\frac{2}{21,5}$ |
| Eau salée saturée. | 0,0500 | $\frac{1}{10}$ |
| Acide sulfurique. | 0,0600 | $\frac{1}{17}$ |
| Acide hydro-chlorique. | 0,0600 | $\frac{2}{17}$ |
| Essence de térébenthine | 0,0700 | $\frac{3}{14}$ |
| Éther. | 0,0800 | $\frac{2}{14}$ |
| Huiles fixes | 0,0800 | $\frac{1}{12,5}$ |
| Alcohol | 0,0110 | $\frac{1}{9}$? |
| Acide nitrique. | 0,0110 | $\frac{1}{17}$ |

SECTION II.

DE LA CAPACITÉ DES CORPS POUR LE CALORIQUE ,

ou

DU CALORIQUE SPÉCIFIQUE.

Nous avons déjà remarqué que divers corps élevés à la même température et donnant le même degré thermométrique, contiennent en réalité des quantités très-différentes de chaleur.

C'est cette circonstance que l'on exprime par ces mots, *calorique spécifique*. Les tables, qui le donnent pour les diverses espèces de corps et

qui indiquent le rapport de leur attraction pour le calorique, ont été construites de la même manière que celles de la pesanteur spécifique qui font connaître le rapport du poids des corps sous le même volume.

On déduit indifféremment la capacité des corps pour le calorique des poids ou des volumes égaux; mais le dernier moyen est préférable (1). Le thermomètre ne pouvant faire connaître cette capacité, on a imaginé divers expédiens pour suppléer à cet inconvénient.

Lavoisier et Laplace ont fait usage d'une machine assez ingénieuse, qu'ils ont nommée *Calorimètre*. Elle est construite de manière à rendre sensibles les quantités de glace que chaque corps, échauffé à une température donnée, peut réduire en fusion; mais, quelque bien conçue qu'elle soit, on n'a pas trouvé que dans la pratique elle fût assez exacte.

Meyer a essayé de déterminer la capacité des bois secs par le temps qu'ils mettent, sous le même volume, à se refroidir; il suppose que ces temps sont proportionnels aux capacités, et que, divisés par les densités, ils donnent pour quotient les capacités à poids égaux. Cette méthode a été appliquée aux liquides par Leslie; Dalton en a aussi fait usage.

(*) Dalton, Philosophie chimique, pag. 2.



L'absorption de la chaleur, pendant le passage de la glace à l'état liquide, paraît avoir été observée par Deluc, Black et Wilks, vers 1755; c'est sur ce fait si remarquable, que le second a établi la doctrine de la chaleur latente. Le D^r. Irwine et Crawford rendirent compte de ce phénomène par la théorie du changement de capacité pour le calorique. L'explication de Black parut vague et peu satisfaisante. Le mot même de capacité était mal choisi; l'expression de calorique spécifique est celle qu'ont généralement adoptée les physiciens, particulièrement Dalton et Leslie (*).

M. Dalton a déterminé le calorique spécifique de divers corps. Les résultats de ses recherches sont consignés dans la table suivante; il suffira, pour faire comprendre sur quels principes elle est construite, de prendre l'eau et le mercure pour exemples.

« Si on représente par 1 toute la chaleur contenue dans une mesure d'eau, prise à une certaine température, celle que renferme la même mesure de mercure sera exprimée par 0,5; à peu de choses près, on conclut de là que les capacités des deux liquides, con-

(*) Dalton, Philosophie chimique; Recherches de Leslie, pag. 529; Mémoires de Tilloch; Philos. Magazine, 1808, pag. 70.



» sidérées sous des volumes égaux, sont entre
» elles comme les nombres 1 et 0,5.

» Si on les évalue sous des poids égaux, elles
» seront exprimées par 1 et 0,04 environ ;
» parce qu'il faudra diviser 0,5 par 13,6, pe-
» santeur spécifique du mercure (*).

M. Dalton a reconnu que la capacité de l'eau pour la chaleur, augmente avec la température; et que la quantité de calorique nécessaire pour élever ce liquide de 5°, dans les divisions inférieures de Fahrenheit, est égale à celle qu'il faut pour l'élever de 7° dans les divisions supérieures, et de 6° dans les moyennes.

TABLE DES CAPACITÉS.

Gaz.

| | Poids égaux. | Volumes égaux. |
|-----------------------------|--------------|----------------|
| Hydrogène | 21,40* | 0,002 |
| Oxigène | 4,75* | 0,006 |
| Air atmosphérique | 1,79* | 0,002 |
| Acide carbonique | 1,05* | 0,002 |
| Azote | 0,79* | 0,001 |
| Vapeur aqueuse | 1,55* | 0,001 |

Liquides.

| | | |
|-------------------------|-------|------|
| Eau | 1,00 | 1,00 |
| Sang artériel | 1,03* | |

(*) Dalton, page 47.

| | | Poids égaux. | Volumes égaux. |
|--|---------|-----------------|-------------------|
| Lait | (1,25) | 0,98 | 1,00 |
| Carbonate d'ammoniaque | (1,055) | 0,95 | 0,98 |
| Carbonate de potasse | (1,50) | 0,75 | 0,98 |
| Solution d'ammoniaque | (0,948) | 1,03 | 0,98 |
| Vinaigre ordinaire. | (1,02) | 0,92 | 0,94 |
| Sang veineux | | 0,89* | |
| Solution de sel commun. | (1,197) | 0,78 | 0,93 |
| Solution de sucre. | (1,17) | 0,77 | 0,90 |
| Acide nitrique | (1,20) | 0,76 | 0,96 |
| Acide nitrique. | (1,30) | 1,68 | 0,88 |
| Acide nitrique | (1,36) | 0,63 | 0,85 |
| Nitrate de chaux. | (1,40) | 0,62 | 0,87 |
| Acide sulfurique et eau. (volumes égaux) | | 0,52 | 0,80 |
| Acide hydrochlorique. | (1,153) | 0,60 | 0,70 |
| Acide acétique | (1,056) | 0,66 | 0,70 |
| Acide sulfurique | (1,844) | 0,35 | 0,65 |
| Alcool | (0,85) | 0,76 | 0,65 |
| <i>Idem.</i> | (0,817) | 0,70 | 0,57 |
| Éther sulfurique | (0,76) | 0,66 | 0,50 |
| Huile de blanc de baleine. | (0,87) | 0,52 | 0,45 |
| Mercure. | | 0,04 | 0,55 |

Solides.

| | | | |
|--|--|-------|------|
| Glace. | | 0,90 | 0,83 |
| Bois sec, et autres substances végétales, de 0,45 à | | 0,65 | |
| Chaux vive | | 0,50 | |
| Charbon-de-terre | | 0,28 | 0,36 |
| Charbon. | | 0,26* | |

DANS SES APPLICATIONS AUX ARTS.

37

| | Poids égaux. | Volumes égaux. |
|---------------------------|-----------------|-------------------|
| Chaux. | 0,27 | 0,67 |
| Hydrate de chaux. | 0,25 | |
| Verre. (2,87) | 0,19 | 0,55 |
| Muriate de soude. | 0,23 | |
| Soufre | 0,19 | |
| Fer. | 0,13 | 1,00 |
| Laiton. | 0,11 | 0,97 |
| Cuivre | 0,11 | 0,98 |
| Nickel | 0,10 | 0,78 |
| Zinc. | 0,10 | 0,69 |
| Argent. | 0,08 | 0,84 |
| Étain | 0,07 | 0,51 |
| Antimoine. | 0,06 | 0,40 |
| Or. | 0,05 | 0,97 |
| Plomb. | 0,04 | 0,45 |
| Bismuth. | 0,04 | 0,40 |

Les oxides métalliques surpassent les métaux eux-mêmes, selon Crawford.

Remarque sur cette Table.

Les articles marqués * sont dus à Crawford. De quelque sagacité que ce savant ait fait preuve dans ses expériences, il est probable que ces nombres ne sont pas rigoureusement exacts. On ne peut pas prendre une confiance bien entière à des recherches longues et pénibles qui portent sur un ou deux dixièmes de degré; mais on ne lui en doit pas moins de reconnaissance



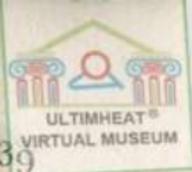
pour les avoir entreprises. La différence que présente le sang artériel et le sang veineux, sur laquelle il a établi le beau système de la chaleur animale, est extrêmement remarquable et demande de nouvelles observations (*). Voyez, à ce sujet, la Chimie de Thomson, les Leçons d'Adam sur la philosophie naturelle; ceux qui désirent des détails plus circonstanciés, doivent consulter l'ouvrage de Crawford lui-même, *Expériences et observations sur la chaleur animale*.

L'eau est de tous les liquides purs celui qui possède une plus grande capacité pour le calorique, soit qu'on la considère en poids ou en volumes. Cette supériorité est due à l'affinité que les élémens dont elle se compose, l'oxigène et l'hydrogène, ont pour la chaleur. Il résulte de là que les solutions salines en contiennent généralement moins dans un volume donné que l'eau pure, car les sels augmentent le volume du liquide en même temps que la densité; et comme ils n'ont presque tous que peu de capacité pour le calorique, l'accroissement de volume n'est pas compensé par la chaleur qu'ils renferment (**).

Il est important de connaître d'une manière exacte la capacité des fluides élastiques pour le

(*) Dalton, pag. 63.

(**) *Ibid.*, 64.



calorique, parce qu'il y a une relation intime entre elles et le phénomène de la combustion. Cette relation s'étend même à la chaleur en général. M. Dalton a calculé, sur des principes qui lui sont personnels, une table au sujet de laquelle il s'exprime ainsi :

« Nous aurons les chaleurs spécifiques de plusieurs fluides élastiques, telles qu'elles sont dans la table suivante; afin de les comparer à celle de l'eau, nous prendrons les rapports suivans : la capacité de l'eau est à celle de la vapeur, comme 6 est à 7, ou comme 1 est à 1,166. »

Table de capacité des fluides élastiques.

| | |
|----------------------------|-------|
| Hydrogène. | 9,382 |
| Azote. | 1,866 |
| Oxigène. | 1,333 |
| Air atmosphérique. | 1,759 |
| Gaz nitreux. | 0,777 |
| Oxide nitreux. | 0,549 |
| Acide carbonique. | 8,491 |
| Gaz ammoniac. | 1,555 |
| Hydrogène carboné. | 1,333 |
| Gaz oléfiant. | 1,555 |
| Acide nitrique. | 0,491 |
| Oxide de carbone. | 0,777 |
| Hydrogène sulfuré. | 0,583 |



| | |
|-------------------------------|-------|
| Acide hydrochlorique. | 0,424 |
| Vapeurs aqueuses | 1,166 |
| Vapeurs d'éther. | 0,848 |
| Vapeurs d'alcool | 0,586 |
| Eau. | 1,000 |

Voyons maintenant si ces résultats sont d'accord avec l'expérience. La chaleur de l'air est à peu de choses près la même que celle qu'avait déterminée Crawford; l'hydrogène est celui de tous qui a le plus de capacité, comme il l'avait annoncé; mais l'oxygène en a une moindre, et l'azote une plus considérable. Les principes de la doctrine de Crawford, sur la chaleur animale, ne sont pas cependant entièrement ébranlés (*).

Dans les Annales de chimie, janvier 1813, vol. 85, MM. de Laroche et Bérard ont publié, sur la chaleur spécifique des fluides élastiques, un mémoire qui a remporté le prix proposé par l'Institut; il renverse la doctrine de la chaleur animale de Crawford, et la théorie de la combustion de Lavoisier. J'en rapporterai un extrait assez succinct.

« Crawford est, à notre connaissance, le premier qui se soit occupé du calorique spécifique des gaz, il publia le résultat de ses re-

(*) Dalton, pag. 73-74.



» recherches en 1788 : à cette époque, on avait
» déjà fait un grand nombre de travaux sur la
» chaleur spécifique des corps en général.
» MM. Lavoisier et Laplace avaient fait connaître leur calorimètre de glace ; cependant,
» Crawford préféra le procédé, plus anciennement connu, des mélanges avec l'eau ou avec
» d'autres corps dont la chaleur spécifique était censée connue. Avant que l'ouvrage de Crawford parût, MM. Lavoisier et Laplace avaient fait, sur ce sujet, quelques expériences qui ne furent publiées que long-temps après. Ils s'étaient servis du calorimètre de glace, dans lequel ils faisaient passer un courant de gaz, contenu dans un serpentín qu'enveloppait de toutes parts la glace de la chambre intérieure. Un thermomètre placé à chacune des extrémités du serpentín, permettait d'obtenir la température du gaz à son entrée et à sa sortie : on réchauffait celui-ci en le faisant passer, avant son entrée dans le calorimètre, à travers un serpentín plongé dans l'eau bouillante. Il est évident que ce procédé, plus exact que celui de Crawford, présentait plusieurs causes d'erreurs ; et, pour n'en citer qu'une, nous remarquerons que le gaz chargé d'humidité par son contact avec l'eau du gazomètre, la conservait jusqu'au calorimètre où il l'abandonnait en totalité. Il est juste ce-

» pendant de faire observer que la température
 » à laquelle ces expériences ont été faites, étant
 » probablement peu élevée au-dessus du terme
 » de la glace fondante, la quantité de vapeurs
 » mêlées avec le gaz, devait être peu considé-
 » rable. MM. Lavoisier et Laplace ne soumirent
 » à ce genre d'expériences que l'oxigène et l'air
 » atmosphérique : ils trouvèrent, pour la cha-
 » leur spécifique du premier, celle de l'eau
 » étant prise pour unité, 0,65, et pour celle du
 » deuxième 0,33'. M. Leslie a également abordé
 » ce sujet délicat. Les principes sur lesquels il
 » a basé ses expériences ont été reconnus peu
 » exacts par M. Gay-Lussac. M. Dalton s'est li-
 » vré aussi à ce genre de recherches; et, en
 » admettant des bases qui lui sont personnelles,
 » il a donné une table de chaleur spécifique. »
 Laroche et Bérard font, au sujet du calorimètre, les réflexions suivantes : « Nous avons
 » renoncé à nous servir du calorimètre de
 » glace; 1°. parce que cet instrument, si com-
 » mode et si sûr quand il s'agit de déterminer
 » des quantités très-considérables de chaleur,
 » ne peut plus être considéré comme susceptible
 » de beaucoup de précision, quand il s'agit de
 » quantités aussi peu considérables que celles
 » qu'abandonnent les gaz qui se refroidissent de
 » quelques degrés; 2°. parce qu'en l'employant,
 » il devient extrêmement difficile de connaître



» la température des gaz à leur entrée dans la
» chambre intérieure; 3°. enfin, parce qu'il
» exige qu'on opère sur des gaz desséchés, ce
» qui complique beaucoup l'appareil. Nous
» avons eu l'idée de nous servir d'un calori-
» mètre dans lequel, au lieu de déterminer la
» chaleur dégagée dans le refroidissement des
» gaz par la quantité de glace fondue, nous
» l'aurions déterminée par la quantité d'eau ou
» d'éther vaporisée; mais nous avons aussi
» trouvé à ce procédé des difficultés qui nous y
» ont fait renoncer; et nous nous sommes dé-
» cidés à en employer un autre fondé sur les con-
» sidérations suivantes.

» Supposons que l'on ait une source constante
» et uniforme de chaleur, dont l'action se porte
» en entier sur un corps A, suspendu dans l'air;
» ce corps se réchauffera peu à peu, jusqu'au
» point où, en raison de l'élévation de sa tem-
» pérature sur celle du milieu ambiant, il per-
» dra autant de chaleur qu'il en recevra. A ce
» point, sa température deviendra stationnaire;
» si celle de l'air ne varie pas.

» D'un autre côté, c'est un principe généra-
» lement admis et dont la justesse ne peut être
» contestée lorsqu'il s'agit de petites différences
» de température, que la quantité de chaleur
» perdue à chaque instant par un corps chaud,
» isolé dans l'air, est proportionnelle à l'excès

» de sa température sur celle du milieu envi-
» ronnant (*). Il est donc évident, d'après ces
» deux principes, que si on soumet le corps A
» à l'action de différentes sources de chaleur
» uniforme, le rapport de leur intensité sera
» égal à celui des excès de température que le
» corps A aura prise, quand la source de cha-
» leur l'aura rendu stationnaire sur celle de
» l'air ambiant; puisque, parvenu à ce maxi-
» mum, le corps A reçoit à chaque instant au-
» tant de chaleur qu'il en perd.

» Maintenant, qu'on se figure un cylindre de
» cuivre mince AB, de 15 centimètres de hau-
» teur sur 8 de diamètre, rempli d'eau distillée
» et traversé par un serpentín d'environ 1 mè-
» tre et demi de longueur, formant 8 tours de
» spire, et dont les deux extrémités s'ouvrent en
» dehors du vase; l'une dans le haut et l'autre
» dans le bas. Si on fait traverser ce serpentín
» par un courant régulier d'un gaz maintenu
» avant son entrée, à une température élevée
» et constante; ce courant pourra être con-
» sidéré comme une source de chaleur uni-
» forme, et le cylindre AB comme le corps A.
» Par conséquent, si on répète la même expé-
» rience sur chacun des gaz, chaque courant

(*) Ce résultat est prouvé par les expériences qui ont été faites depuis par MM. Dulong et Petit.



» élèvera la température du cylindre AB à un
» point fixe où elle sera stationnaire ; et il s'en
» suivra , d'après les principes énoncés plus
» haut , qu'à partir de ce point , l'excès de la
» température du cylindre AB sur celle de l'air
» ambiant , sera proportionnel à la quantité de
» chaleur abandonnée par le courant de gaz
» qui aura traversé ce cylindre. On obtiendra
» donc par ce moyen , d'une manière très-
» exacte , la chaleur spécifique comparative des
» gaz , qu'on pourra soumettre à ce genre d'ex-
» périences. Il y a ensuite deux moyens pour la
» comparer à celle de l'eau.

» Le premier consiste à soumettre le cylindre
» AB , que nous désignerons dans la suite par le
» nom de calorimètre , à l'action d'un courant
» d'eau régulier et assez lent pour qu'il ne pro-
» duise guère plus d'effet que le courant des
» différens gaz.

» Le second consiste à déterminer par le calcul
» la quantité réelle de chaleur que le calori-
» mètre , parvenu à sa température station-
» naire , peut perdre dans un temps donné.
» Car puisque , parvenu à ce point , il ne s'é-
» chauffe plus , quoique la source de chaleur
» continue à lui être appliquée , il est évident
» qu'il perd alors autant de chaleur qu'il en
» reçoit.»

Les détails dans lesquels nous venons d'en-



trer suffiront pour donner une idée du procédé suivi par les auteurs.

Voici le tableau des résultats qu'ils ont obtenus, et des circonstances dans lesquelles ils ont opéré.

| GAZ. | Nombre de litres traversant le calorimètre en 10 minutes. | PRESSION et température des gaz. | | Le même nombre de litres ramenés à 0°. | TEMPÉRATURE | | | Degrés de chaleur perdus par le gaz traversant le calorimètre. | Excès de la température stationnaire du calorimètre sur celle de l'air ambiant.* | ** | *** | MOYENNES. |
|-------------------|---|----------------------------------|--------|--|---------------------------|-------------------------------------|--|--|--|----------|----------|-----------|
| | | Therm. | Barom. | | Entrée dans le calorimét. | Du calorimètre devenu stationnaire. | De l'air qui enveloppait le calorimètre. | | | | | |
| Air. . . | 1 ^{re} Ex. | 361,91 | 6°, 8 | 0°, 7405 | 351,99 | 97°, 6 | 25°, 185 | 7°, 263 | 72°, 415 | 15°, 423 | 15°, 644 | 15°, 734 |
| | 2 ^e Ex. | 30, 53 | 11, 2 | 0, 7548 | 29, 30 | 97, 3 | 25, 067 | 9, 776 | 72, 233 | 12, 791 | 15, 824 | |
| Hydrogène. { | 1 ^{re} Ex. | 37, 84 | 8, 9 | 0, 7494 | 36, 62 | 95, 8 | 24, 765 | 8, 040 | 71, 035 | 14, 225 | 14, 388 | 14, 214 |
| | 2 ^e Ex. | 31, 50 | 12, 1 | 0, 7545 | 30, 14 | 95, 7 | 25, 807 | 12, 017 | 69, 893 | 11, 291 | 14, 040 | |
| Acide carbon. { | 1 ^{re} Ex. | 36, 11 | 7, 2 | 0, 7582 | 35, 16 | 96, 8 | 27, 548 | 6, 552 | 69, 278 | 18, 496 | 19, 798 | 19, 800 |
| | 2 ^e Ex. | 30, 95 | 12, 2 | 0, 7520 | 29, 60 | 97, 15 | 19, 598 | 12, 016 | 67, 552 | 12, 082 | 19, 801 | |
| Oxigène { | 1 ^{re} Ex. | 37, 42 | | 0, 7484 | 36, 20 | 97, 71 | 25, 769 | 8, 158 | 71, 041 | 15, 111 | 15, 281 | 15, 365 |
| | 2 ^e Ex. | 31, 30 | 12, 6 | 0, 7503 | 29, 89 | 96, 30 | 27, 764 | 13, 205 | 68, 536 | 12, 059 | 15, 449 | |
| Oxide d'azote. . | | 30, 31 | 9, 0 | 0, 7582 | 29, 32 | 97, 00 | 27, 924 | 8, 923 | 69, 076 | 16, 501 | 21, 235 | 21, 246 |
| Oléfiant. | | 30, 85 | 10, 0 | 0, 7500 | 29, 74 | 97, 35 | 30, 288 | 9, 258 | 67, 062 | 18, 530 | 24, 220 | 24, 435 |
| Oxi. de carbone. | | 30, 85 | 9, 0 | 0, 7535 | 29, 84 | 97, 55 | 24, 505 | 8, 475 | 73, 045 | 13, 330 | 16, 270 | 16, 270 |

* Moins 2°, 5, qui est l'effet du tuyau qui servait à échauffer le gaz.

** Le même excès obtenu par le calcul, dans la supposition que le courant eût été le même dans la première expérience sur l'air atmosphérique, et qu'il eût perdu le même nombre de degrés en traversant le calorimètre.

*** Le même excès ramené par le calcul à ce qu'il aurait été dans les mêmes circonstances que dans la colonne précédente, et si le gaz eût été en outre soumis pendant toute l'expérience à la pression de 76 de mercure.





Les colonnes 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 et 9 de ce tableau indiquent les circonstances dans lesquelles les expériences ont été faites, et les résultats directs de ces expériences; de sorte qu'elles n'ont besoin d'aucune explication.

La dernière colonne exprimant la température stationnaire à laquelle chaque courant maintenait le calorimètre, les circonstances étant exactement les mêmes, on doit conclure des principes que nous avons exposés, que les nombres qu'elle renferme peuvent exprimer la chaleur spécifique des nombres correspondans; par conséquent la chaleur spécifique

| | Volumes égaux. | Poids égaux. |
|--------------------------------|----------------|--------------|
| de l'air atmosphérique, étant | 1,0000 | 1,000 |
| de l'hydrogène. | 1,9033 | 12,3410 |
| de l'acide carbonique. | 1,2583 | 0,3280 |
| de l'oxigène | 0,9765 | 0,8848 |
| de l'oxide d'azote. | 1,3503 | 0,8878 |
| du gaz oléfiant. | 1,5530 | 1,5763 |
| de l'oxide de carbone. | 1,0340 | 1,0805 |

Le phénomène de la chaleur animale a occupé les savans de tous les âges; la cause néanmoins n'en est pas encore exactement connue. Les animaux ne jouissent pas tous de la même température; les uns en ont une de 38° c. environ, quel que soit l'état de l'atmosphère; d'autres sont à peine de quelques degrés au-dessus du

milieu dans lequel ils sont plongés ; celle du corps humain varie de 35° à 37° c. C'est une chose vraiment étonnante qu'elle se maintienne dans ses limites dans tous les climats ; l'homme vit dans un degré de froid plus considérable que celui de la congélation du mercure, et à un degré de chaleur qui surpasse l'ébullition de l'eau. M. M'nab a observé 45° au-dessous de 0° à la baie d'Hudson. Nous pouvons impunément respirer l'air qui marque 129° c. (*), tandis qu'aucun animal des classes inférieures n'est capable de supporter cet énorme changement de température. L'homme seul est doué d'une force assez grande pour braver l'âpreté des climats que ses besoins ou le désir de s'instruire lui font visiter.

Je pense que les citations que je vais faire à ce sujet ne déplairont pas au lecteur.

« L'air à 129° c. a souvent été impunément »
» respiré par l'espèce humaine. Tillet dit l'a- »
» voir respiré à 150° c., et Moranten à 162° c. »
» pendant l'espace de cinq minutes. Sonnerat a »
» trouvé à Manille des poissons vivans dans une »
» source d'eau à 70° c. MM. de Humboldt et »
» Bonpland, en traversant la province de Quito, »
» dans l'Amérique méridionale, ont vu dans

(*) Dalton, pag. 73-74.



» les éruptions d'un volcan des poissons vivans,
» et selon toute apparence pleins de santé : ce-
» pendant l'eau qui jaillissait du goufre était
» si chaude, que la vapeur à laquelle elle don-
» nait lieu portait le thermomètre à deux de-
» grés au-dessous de l'ébullition (*). » Un grand
nombre de faits viennent à l'appui du récit
de ces intrépides voyageurs. Des chiens ont
vécu sans apparence de malaise dans une at-
mosphère de 113° c., (13° c. au-dessus de l'eau
bouillante). Une espèce de *tœnia* a été trouvée
vivante dans le corps d'une carpe bouillie. Dans
quelques contrées d'Allemagne, des filles ont
soutenu 125° c. pendant un quart d'heure ; une
d'elles en a supporté 142° c. l'espace de dix
minutes sans aucune espèce d'inconvénient ; et
une autre a respiré cinq minutes de l'air échauffé
à 163° c. (**). L'homme incombustible de Se-
mentini, de Naples, prenait de l'huile bouil-
lante dans sa bouche et plongeait, sans se bles-
ser, les mains dans du plomb fondu (***) ; et pour
citer des exemples plus illustres, sir Joseph
Banks se tint sans incommodité dans une pièce
dont la température était portée à 99° c. ; et sir

(*) Discours anniversaire, prononcé le 8 mars 1808 devant
la Société médicale de Londres, par John Mason Good.

(**) Histoire de l'Académie des sciences, pour 1764.

(***) Magasin philosophique, vol. 32.

Charles Blagden nous a lui-même donné les détails (*) d'une expérience où il s'est placé dans une atmosphère artificielle de 126° c. (**).

Dans les Transactions philosophiques pour 1792, vol. 82, pag. 199, on trouve un mémoire intéressant du docteur Currie, de Liverpool, sur les changemens dans la chaleur animale occasionés par des immersions dans le sel froid, l'eau fraîche, et par des passages alternatifs de l'eau dans l'air, *et vice versâ*. Ces expériences, qui ont été peu remarquées par les chimistes et les physiologistes, paraissent renverser toutes les théories sur la chaleur animale exposées jusqu'ici, sans en excepter celle de Crawford.

Plusieurs expériences curieuses de M. Brodie, publiées dans les Transactions philosophiques de 1811, sont également incompatibles avec la théorie admise pour la respiration; mais ces expériences elles-mêmes ne sont pas d'accord avec celles du docteur Currie, aussi ce point doit-il être éclairci avant d'essayer toute théorie sur la chaleur animale (***) .

Dans les Transactions philosophiques pour 1812, on trouve un deuxième travail de M. Bro-

(*) Transactions philosophiques, vol. 65 et 68.

(**) Revue éclectique; mars 1809.

(***) Histoire de la Société royale, par Thomson, note, page 129.

die sur la chaleur animale. La coïncidence que présentent ses expériences suffit pour prouver que nous n'avons aucune bonne théorie sur la cause de la température animale, et nous ne voyons rien qui puisse réfuter l'opinion de ce savant, que la température des animaux à sang chaud est très-influencée par le système nerveux. On ne peut douter que la respiration ne soit une des causes de la chaleur animale; peut-être est-elle la principale, puisqu'elle prépare le sang pour les différens besoins de l'économie du corps humain. Mais en admettant que la chaleur est un effet constant de l'action chimique, on peut supposer avec raison que les diverses sécrétions qui s'exécutent sans cesse, contribuent assez puissamment au maintien de cette chaleur; il nous est impossible d'assigner la puissance de chacune séparément; les expériences se multiplieront, et peut-être sera-t-il permis de donner un jour une bonne théorie de cette partie intéressante de la physiologie.

M. Desprez l'a essayé; nous exposerons avec quelque détail les expériences qu'il a faites à ce sujet, et les conséquences qu'il en a déduites.

Aucun phénomène, dit-il, n'est plus capable d'exciter l'attention, que cette propriété singulière dont l'homme et les animaux à sang chaud jouissent, de conserver une température à peu près constante, pendant que le milieu dans le-



quel ils sont plongés subit des variations continues. La chaleur, dans les corps bruts, tend vers l'équilibre; les animaux à sang chaud, également soumis aux pertes occasionées par le contact, l'évaporation, le rayonnement, possèdent en eux une cause de reproduction de chaleur qui maintient leur température entre 35 et 45°. La table suivante donne une idée suffisante des divers températures. Celle de l'air est de 15° 15.

| | Tempér. moyenne. |
|---|------------------|
| Neuf hommes âgés de 30 ans | 37° 14 |
| Quatre hommes de 68 ans | 37,13 |
| Quatre jeunes gens de 18 ans. | 36,99 |
| Trois enfans mâles, âgés de 1 à deux jours | 35,06 |
| Deux oiseaux adultes. | 42,91 |
| Quatre chats-huants volant bien . . . | 40,91 |
| Une chouette adulte. | 41,47 |
| Un tiercelet adulte. | 41,47 |
| Trois pigeons | 42,98 |
| Trois moineaux francs bien couverts de plumes. | 39,08 |
| Un moineau complètement élevé . . . | 41,67 |
| Un moineau adulte. | 41,96 |
| Bruant adulte. | 42,88 |
| Deux corneilles commençant à manger seules. | 41,17 |
| Chien de 3 mois. | 39,48 |



| | Tempér. moyenne. |
|--|------------------|
| Chat mâle adulte. | 39,78 |
| Cochon d'Inde adulte | 35,76 |
| Deux carpes. | 11,69 |
| Deux tanches. | 11,54 |
| Eau dans laquelle les poissons vivaient. | 10,83 |

Plusieurs physiiciens recommandables ont cherché la cause de ce phénomène extraordinaire : Haller, John Hunter, Bichat, Legallois, John Davy, ont plus ou moins contribué à éclaircir ce sujet obscur. On peut se convaincre, par la lecture de différens ouvrages de chimie et de physiologie, que c'est seulement depuis les travaux de Lavoisier sur la combustion, que l'on a entrevu le rôle que joue la respiration dans le développement de la chaleur animale. Parmi les savans qui ont traité ce sujet sous le point de vue physique, on doit citer particulièrement MM. Lavoisier, Laplace et Crawford. Le résultat de leurs recherches est que, « lorsqu'un animal est dans un état permanent et tranquille, lorsqu'il peut vivre pendant un temps considérable sans souffrir, dans le milieu qui l'environne; en général, lorsque les circonstances dans lesquelles il se trouve n'altèrent point sensiblement son sang et ses humeurs, de sorte qu'après plusieurs heures le système animal n'éprouve pas de variations sensibles; la conser-



vation de la chaleur animale est due, au moins en grande partie, à la chaleur que produit la combinaison de l'air pur respiré, avec la base de l'air fixe que le sang lui fournit (1). »

La question se réduit, dit M. Desprez, à faire la comparaison de la chaleur dégagée dans la combustion avec celle qui est produite dans la respiration. Sans la connaissance complète de ces deux élémens, il serait impossible d'établir aucun système sur les causes de la chaleur animale. Les deux premières déterminations qui doivent conduire à la solution de la question sont donc : 1°. la chaleur dégagée dans la formation de l'acide carbonique ; 2°. la chaleur émise par un animal pendant le temps qu'il forme la même quantité d'acide carbonique.

La première partie, ou la chaleur dégagée dans la formation de l'acide carbonique, nécessitait l'emploi du calorimètre. L'auteur du Mémoire, après avoir expliqué toutes les précautions nécessaires dans ces expériences délicates, est arrivé au résultat suivant.

La moyenne de quatre expériences a donné $79^{\circ}14',7$ pour la quantité de chaleur dégagée dans la transformation d'une partie de carbone en acide carbonique, ou, en d'autres termes, la combinaison d'une partie de carbone dégage

(*) Académie des sciences, 1780, pag. 49.



une quantité de chaleur capable de fondre 104,2 de glace.

La combustion du gaz hydrogène a donné une quantité de chaleur capable de fondre 315,2 parties de glace.

La deuxième partie, ou la chaleur causée par un animal pendant le temps qu'il forme la même quantité d'acide carbonique, a été le sujet des recherches d'un grand nombre de chimistes; on ne trouve pas dans cette recherche la même constance et la même uniformité que dans celles que l'on a faites sur la matière inorganique. Ici, l'affinité des élémens est sous l'influence de la puissance vitale, que l'âge, la température, l'état de santé, la nature des alimens et diverses autres circonstances peuvent modifier.

Il a été de tout temps reconnu que l'air est de nécessité absolue pour l'entretien de la vie des animaux, et qu'aucun animal ne peut respirer qu'un temps limité une même quantité d'air. Les travaux de Mayow, de Black, de Scheele, de Lavoisier, de Priestley, de Séguin, etc., sont rapportés dans tous les ouvrages de physique et de chimie.

Tous les physiiciens reconnaissent qu'une portion de l'oxigène de l'air est employée à former de l'acide carbonique par la combustion du carbone du sang veineux, et peu de physiiciens ont pensé que le volume d'acide carbonique,



plus l'oxygène restant, représentent tout l'oxygène de l'air après la respiration (*). En général, on admet qu'il y a disparition d'une portion d'oxygène; M. Davy porte la diminution à $\frac{1}{82}$; MM. Allen et Pepys à $\frac{1}{780}$; Bostock à $\frac{1}{80}$. Crawford et Lavoisier ont reconnu une disparition d'oxygène. Les recherches de M. Gay-Lussac, et ensuite de MM. Humboldt et Provençal, ont conduit au même résultat; et, si les expériences de Scheele et Spallanzani sont en contradiction, on peut révoquer en doute leur exactitude.

Les opinions sont partagées sur le rôle de l'azote dans la température. Selon les uns (*), le gaz azote est absorbé dans la respiration de l'homme et des mammifères; selon d'autres (**), il y a dégagement. Enfin, M. Edwards, après un examen attentif des travaux antérieurs, a cru pouvoir admettre qu'il y a simultanément absorption et exhalation. Sur plus de deux cents expériences que j'ai faites, dit M. Desprez, il y a toujours eu dégagement d'azote.

Dans les expériences de M. Desprez, l'animal est placé dans une boîte de cuivre, assez grande pour qu'il ne soit pas gêné; cette boîte a un re-

(*) Dalton, Mense, Thomson.

(**) Davy, Henderson.

(***) Berthollet, Nysten.



bord dans lequel plonge le couvercle ; l'intervalle est rempli de mercure ; la petite boîte renfermant l'animal est fixée dans une boîte en cuivre : on connaît exactement le poids de tout le cuivre employé et de l'eau pure qui enveloppe le vase dans lequel est l'animal. Tout cet appareil est placé sur des supports en bois très-sec ; l'animal est d'ailleurs séparé du cuivre par des baguettes d'osier, afin qu'il ne lui cède pas de sa chaleur propre. L'air est fourni par un gazomètre exactement gradué, et passe dans la boîte pendant assez de temps pour qu'il s'y trouve, au moment où l'on prend la température de l'eau, dans le même état qu'à la fin de l'expérience : la température de l'eau est connue avec une grande précision. Pendant toute la durée de l'expérience, qui est ordinairement de deux heures, l'air arrive sur l'animal avec une vitesse constante. Le gaz qui est respiré contient ordinairement six pour cent d'acide carbonique ; on en détermine la quantité en traitant l'air par la potasse. Le volume d'air fourni à l'animal, pendant chaque expérience, est de 45 à 50 litres.

Première expérience.

Lapine âgée de plusieurs années.

Durée de l'expérience, 1 h. 36 min.

Volume d'air fourni à 8°,37,

$$= 471.993 \left\{ \begin{array}{l} 101,079 \text{ oxygène.} \\ 37,914 \text{ azote.} \end{array} \right.$$

Après la respiration,

$$47,842 \left\{ \begin{array}{l} 3,076 \text{ acide carbonique.} \\ 6,023 \text{ oxygène.} \\ 38,743 \text{ azote.} \end{array} \right.$$

Acide formé 31,076

Oxygène disparu 0,980

Azote dégagé 0,339

Oxygène disparu $= \frac{1}{3}$ de l'acide formé, $= \frac{1}{4}$ de l'oxygène total consommé.Azote dégagé $= \frac{4}{5}$ de l'oxygène disparu $= \frac{8}{31}$ de l'acide formé.

Élévation de la température de 25387° 15 d'eau de 0,703, d'où l'on déduit

Chaleur animale 100

Chaleur due à la formation de l'a-

cide carbonique 68,5

Chaleur due à la formation de l'eau. 21,9 } 90,4

Deuxième expérience.

Même lapine.

Chaleur animale 100

Chaleur due à la formation de l'a-

cide carbonique 64,9

Chaleur due à la formation de l'eau. 20,9 } 85,8



Troisième expérience.

Six petits lapins de quinze jours.

Durée de l'expérience , 2 h. 5 min.

Volume d'air fourni à 9°,25

$$= 491,475 \left\{ \begin{array}{l} 10,589 \text{ oxigène.} \\ 39,085 \text{ azote.} \end{array} \right.$$

$$\text{A la fin. } 481,689 \left\{ \begin{array}{l} 2,955 \text{ acide carbonique.} \\ 6,216 \text{ oxigène.} \\ 39,517 \text{ azote.} \end{array} \right.$$

Acide formé. 2¹,955

Oxigène disparu. 1,218

Azote dégagé 0,482

Oxigène disparu = $\frac{12}{30}$ de l'acide formé = $\frac{13}{42}$ de l'oxigène total consommé.

Azote dégagé = $\frac{1}{3}$ de l'oxigène disparu = $\frac{2}{15}$ de l'acide formé.

Élévation de la température de la masse d'eau , 20822,8 gram. 0,998 , d'où ,

| | | |
|--------------------------------------|------|--------|
| Chaleur animale | 100 | |
| Chaleur due à la formation de l'a- | | |
| cide carbonique | 58,5 | } 82,1 |
| Chaleur due à la formation de l'eau. | 23,6 | |

Quatrième expérience.

Lapin mâle.

Chaleur animale. 100

| | | |
|--------------------------------------|------|--------|
| Chaleur due à la formation de l'a- | | |
| cide carbonique | 68,3 | } 86,7 |
| Chaleur due à la formation de l'eau. | 18,4 | |

*Cinquième expérience.*

Trois cochons d'Inde mâles , adultes.

Chaleur animale 100

Chaleur due à la formation de l'a-

cide carbonique. 69,4 } 88,8

Chaleur due à la formation de l'eau. 19,4 }

Sixième expérience.

Trois cochons d'Inde femelles , adultes.

Chaleur animale. 100

Chaleur due à la formation de l'a-

cide carbonique. 69,6 } 88,9

Chaleur due à la formation de l'eau. 19,3 }

Septième expérience.

Trois pigeons adultes.

Chaleur animale 100

Chaleur due à la formation de l'a-

cide carbonique. 60,5 } 78,8

Chaleur due à la formation de l'eau. 18,3 }

Huitième expérience.

Quatre chouettes.

Chaleur animale. 100

Chaleur due à la formation de l'a-

cide carbonique. 56,3 } 74,6

Chaleur due à la formation de l'eau. 18,3 }

M. Desprez a multiplié ses expériences , nous ne les consignerons pas ici ; il nous suffira de



remarquer qu'elles donnent des résultats analogues. Ces exemples démontrent que, dans le développement de la chaleur animale, la respiration produit, chez les carnivores, une portion moins considérable de la chaleur animale que chez les frugivores, et qu'il en est de même des oiseaux comparés aux mammifères.

On peut admettre maintenant comme vérités incontestables,

« 1°. Que la respiration est la principale cause du développement de la chaleur animale; que l'assimilation, le mouvement du sang, le frottement des différentes parties peuvent produire la petite portion restante;

» 2°. Qu'outre l'oxygène employé à la formation de l'acide carbonique, une autre portion de ce gaz, quelquefois très-considérable relativement à la première, disparaît aussi: on pense généralement qu'elle est employée à la combustion de l'hydrogène du sang; qu'il disparaît en général plus d'oxygène dans la respiration des jeunes animaux que dans la respiration des animaux adultes;

» 3°. Qu'il y a exhalation d'azote dans la respiration des mammifères carnivores ou frugivores, et dans la respiration des oiseaux; que la quantité d'azote exhalée est plus grande chez les frugivores que chez les carnivores. »

En changeant d'état, les corps changent aussi



de capacité pour le calorique. On entend par changement d'état le passage de l'état solide à l'état liquide, et de celui-ci à l'état gazeux ou réciproquement : ainsi l'eau peut se présenter successivement sous l'état de glace, de liquide et de vapeur. Un corps solide, tel que la glace, par exemple, acquiert en devenant liquide, une grande capacité pour le calorique, même dans le cas où son volume se réduit, et un liquide comme l'eau gagne encore en se transformant en fluide élastique.

Nous avons déjà dit plus haut que l'absorption de la chaleur pendant la conversion de la glace en eau avait été observée par les physiciens vers 1755. Le docteur Crawford a fait voir que ce phénomène et celui du dégagement auquel le changement de capacité donne lieu sont des moyens sagement imaginés par la suprême intelligence pour prévenir les transitions trop brusques de chaud et de froid qui surviennent à la surface de la terre. La congélation des grandes masses dégage une quantité de chaleur considérable ; cette circonstance ralentit la marche du phénomène. Le calorique, dont les corps dépouillent l'atmosphère lorsqu'il survient un dégel, produit le même effet ; il nous sauve des dévastations qui seraient le résultat des fontes trop rapides de grands amas de neige et de glace.



L'eau ne se convertit en vapeur qu'en s'emparant d'une énorme quantité de chaleur qui redevient sensible lorsque la vapeur reprend la forme liquide.

Il suit de là que l'eau que l'on obtient par la condensation représente exactement la chaleur dégagée pour la vapeur de même densité. C'est de ce moyen que se servit M. Houldsworth dans ses expériences, en comparant les effets des tuyaux d'étain et des tuyaux de fonte. Nous examinerons cet article, sur la vapeur, après avoir parlé de l'ébullition.

SECTION III.

DE LA COMBUSTION.

Les sources de la chaleur sont, d'après les chimistes, 1°. les rayons solaires, 2°. l'électricité, 3°. le galvanisme, 4°. la condensation, 5°. l'action mécanique que les solides exercent les uns sur les autres; cette action comprend le frottement, la percussion; 6°. l'action chimique à laquelle on doit rapporter la combustion. Celle-ci est une des plus abondantes (*).

Avant de traiter de la combustion qui forme le sujet de ce chapitre, je vais examiner d'une

(*) Chimie de Murray, vol. 1, pag. 450.



manière succincte les autres sources que j'ai indiquées.

Rayons solaires. Les rayons du soleil recueillis avec une lentille donnent une chaleur intense. Ce fut par ce moyen qu'Archimède parvint à brûler la flotte romaine pendant le siège de Syracuse ; les expériences exécutées dans ces derniers temps prouvent que ces faits ne sont pas fabuleux comme l'ont prétendu plusieurs écrivains ; il suffit de citer les exemples suivans.

M. Tschirnhausen, membre de l'académie royale des sciences, fit exécuter au commencement du siècle dernier plusieurs miroirs ardents de trois ou quatre pieds de diamètre chaque, et dont le foyer avait un pouce et demi, à douze pieds de distance. Hombarey se servit d'un miroir convexe des deux côtés, qui pesait 160 livres, et voici le résultat des expériences qu'il communiqua à l'académie. « Toute espèce de » bois, dit-il, si dur et si vert qu'il soit, est » réduit en cendres en un instant ; l'eau dans » un petit vase bout sur-le-champ ; les tuiles, » les ardoises, la pierre ponce, rougissent et se » vitrifient ; le plomb, l'étain se volatilisent, les » cendres se vitrifient, etc., etc.

M. Trudaine fit, en 1773, construire un instrument encore plus puissant : il était composé de deux grands verres de quatre pieds de diamètre chaque, soudés ensemble par les bords, de

manière à y contenir de l'alcool, le foyer de cet instrument 1^o. plein d'alcool, était à dix pieds dix pouces; 2^o. plein d'eau distillée à onze pieds onze pouces; 3^o. plein d'essence de térébenthine à sept pieds.

M. de Buffon fit construire à grands frais différentes sortes d'instrumens propres à concentrer les rayons du soleil. Il reconnut que le seul moyen d'obtenir de cet astre une forte chaleur à distance, est de disposer un grand nombre de miroirs, de manière à concentrer sur la même place une infinité d'images du soleil. Un de ces instrumens, composé de trois cent soixante miroirs plans de huit pouces de long sur six de large, et monté sur un châssis de six pieds de haut, donna les résultats suivans : quand on ne faisait usage que de douze miroirs, on allumait les matières combustibles à vingt pieds de distance; avec quarante-cinq on mettait en fusion un grand vase d'étain; avec cent dix-sept, une pièce d'argent mince; et avec tout l'appareil on fondait à quarante pieds tous les métaux et les terres métalliques; on allumait le bois, par un temps clair, à la distance de deux cent dix pieds. M. de Buffon fait observer que le foyer est large d'environ sept pouces. On peut s'en servir pour affiner les métaux (*) et faire en grand des expé-

(*) Mémoires de l'Académie des sciences, 1774, 1777.



riences curieuses, ce qu'on ne peut opérer avec les miroirs concaves, dont le foyer trop faible et rapproché est ordinairement cent fois plus petit que celui de cette machine.

L'électricité produit aussi de puissans effets. On développe le fluide électrique par le frottement d'une plaque ou cylindre de cristal sur un coussin préparé, et on le condense dans des bouteilles de Leyde. La décharge d'une batterie électrique peut opérer la combustion de plusieurs substances, donner la mort aux animaux, et fondre en un instant des fils métalliques. Mais l'électricité voltaïque produit des effets bien plus puissans : elle consume des substances et fond des métaux que l'électricité ordinaire n'aurait pu ni brûler ni mettre en fusion. Cependant ces effets dépendent beaucoup de la grandeur et de la nature de l'appareil. Children est celui qui a monté le plus considérable. Il consistait en vingt plaques doubles de quatre pieds sur deux, dont toutes les surfaces étaient exposées à l'action de l'acide sulfurique étendu, dans des auges de bois garni de ciment. Cette pile en action n'a pas plus d'effet sur l'eau ou sur le corps humain qu'un composé d'un égal nombre de petites plaques; mais lorsqu'elle est entourée de fils métalliques, elle produit les phénomènes suivans : un fil de platine, de $\frac{1}{13}$ de pouce d'épaisseur, et de dix-huit pouces de long, placé dans le circuit



entre deux barres de cuivre , devient rouge sur-le-champ , et passe à un rouge blanc si vif , que l'œil ne peut en supporter l'éclat ; en quelques secondes le métal est réduit en globules ; des charbons embrasés par la pile donnent une lumière tellement vive , que celle du soleil en paraît faible.

Il existe à l'École Polytechnique une très-belle pile , dont se sont servis MM. Gay-Lussac et Thenard pour faire des expériences sur les alcalis fixes. Mais la pile la plus considérable par le nombre et la grandeur des plaques , est celle établie à Londres dans le laboratoire de l'institution royale. Elle est composé de deux cents instrumens attachés ensemble dans un ordre régulier , chaque instrument est formé de dix doubles plaques placées dans des cellules de porcelaine ; chaque plaque a trente-deux pouces carrés , leur nombre est de deux mille , et la totalité de leur surface forme 128,000 pouces carrés. Cette batterie , lorsque les auges étaient remplies d'une liqueur composée de six parties d'eau , une d'acide sulfurique et une d'acide nitrique , produisit les effets les plus brillans et les plus étonnans. En mettant l'un contre l'autre , à la distance de $\frac{1}{13}$ ou $\frac{1}{14}$ de pouce , des morceaux de charbon d'environ un pouce de long sur un sixième de pouce de diamètre , il se produit des étincelles brillantes , et plus de la moitié du charbon

s'embrase au blanc ; en rapprochant les morceaux il s'opère dans l'air échauffé des explosions continuelles, dans un espace de quatre pouces, qui forment un grand cercle lumineux dont le milieu a la forme conique ; toute substance placée dans ce cercle est embrasée à l'instant. Le platine s'y fond aussi promptement que la cire à la flamme d'une bougie. Le quartz, le saphir, la chaux, la magnésie, entrent en fusion ; des morceaux de diamant, de charbon, de plombagine, y disparaissent promptement, sans apparence d'évaporation, même lorsqu'ils sont renfermés dans un récipient privé d'air, et sans qu'on s'aperçoive qu'ils entrent en fusion.

Frottement. Cette chaleur peut être assez forte et développée de deux manières.

On a un exemple de la première dans le choc du silex. Le frottement opéré donne une chaleur capable d'enflammer les particules d'acier qui se détachent ; le phénomène est encore plus frappant dans l'alliage de deux parties de fer et d'une d'antimoine. Cet alliage, soumis à l'action de la lime, produit une foule d'étincelles qui sont dues à l'ignition des particules détachées.

La deuxième manière est le frottement continu. M. le comte de Rumfort (*) a fait des ex-

(*) Bibliothèque britannique, tom. 27, p. 3. (Sciences).

périences remarquables sur ce sujet ; il a cherché à expliquer l'énorme chaleur produite par un foret tournant dans un canon. On ne peut l'attribuer au calorique latent devenu sensible, car, outre que cette source paraît inépuisable, le calorique spécifique des tournures de fer n'était pas diminué. Ces expériences porteraient à admettre, ou que le calorique, à l'instar de l'électricité, peut être produit par le frottement, ou qu'il n'est pas une matière réelle, mais qu'il est dû à des ondulations analogues à celles du son.

Condensation. La chaleur que développe ce moyen varie suivant que le corps est solide ou gazeux. Les expériences de M. James Hall (*) prouvent que la condensation opérée sur les solides donne peu de chaleur, mais en même temps qu'elle modifie leur nature. On peut voir dans l'extrait cité les expériences sur différens carbonates de chaux, la houille, les matières végétales et animales.

La compression exercée sur les gaz produit des effets plus marqués. Un soldat de l'armée française découvrit, il y a quelque temps, que la lumière et la chaleur peuvent être produites par la compression de l'air atmosphérique. On

(*) *Ibid.*, tom. 27, pag. 289. (Sciences.)



s'est emparée de cette découverte dans toute l'Europe, et on l'emploie dans les usages domestiques sous le nom de briquet pneumatique. Cet instrument consiste en un tube de métal ou de cristal de quatre à cinq lignes de diamètre, de quatre ou cinq pouces de longueur, et en un piston creux placé au bout d'une tige de fer de la longueur du tube. On l'arme d'un peu d'amadou ; on prend un point d'appui à l'extrémité, et on le fait entrer vivement : le succès dépend de la vitesse avec laquelle il parvient au fond du tube. La compression de l'air produit une chaleur suffisante pour l'ignition de l'amadou. Les forgerons se procurent souvent de la lumière au moyen de la *percussion*. Ils placent une barre de fer sur une enclume et la martèlent jusqu'à ce qu'elle soit assez chaude pour allumer l'amadou.

Mélanges chimiques. On opère une inflammation considérable en versant un mélange d'acides sulfurique et nitrique sur de l'essence de térébenthine. En général, dans presque toute action chimique, il y a chaleur et souvent froid produits.

Combustion. Quelques différentes que soient les capacités des corps pour le calorique, Crawford, Lavoisier et plusieurs autres chimistes pensaient que le gaz oxigène est la principale source de la chaleur et de la lumière dégagées dans la com-



bustion. Mais Dalton a fait voir qu'en admettant que cette opinion soit juste pour le charbon et la houille, elle n'est certainement pas fondée à l'égard des autres combustibles. Il pense que la chaleur et probablement la lumière développées dans l'acte de la combustion, sont dues à l'oxygène et au corps combustible; que l'un et l'autre contribuent à ce phénomène, proportionnellement à leur capacité pour le calorique (*).

Des combustibles.

Black divise les combustibles en cinq classes. La première comprend les fluides inflammables; la deuxième se compose de la tourbe; la troisième du charbon de bois; la quatrième renferme la houille distillée; et la cinquième le bois et la houille dans un état naturel et capables de donner une belle flamme claire.

Les fluides inflammables sont considérés comme formant une classe distincte des combustibles solides, parce qu'ils peuvent brûler sur une mèche, et qu'ils forment sous ce rapport la source de chaleur la plus commode. Mais le prix auquel ils se soutiennent ne permet pas d'en étendre l'usage; on ne les emploie que lorsqu'une

(*) Philosophie chimique de Dalton, p. 41-42.



chaleur douce et faible est suffisante. Cette classe se compose des esprits et des huiles.

La deuxième espèce de combustibles, la tourbe, est si spongieuse qu'elle paraît impropre à produire une chaleur intense quand on la compare aux combustibles plus solides. On ne peut en mettre dans un fourneau une quantité suffisante pour alimenter la vive combustion qui doit avoir lieu pour donner une température élevée. Beaucoup de combustibles présentent cet inconvénient, mais celui-ci surtout l'offre à un haut degré. Cependant, quand on désire avoir et entretenir à peu de frais une douce température, il n'y en a aucun qui lui soit préférable. Il faut autant que possible ne l'employer qu'après l'avoir carbonisée. Les avantages de cette méthode sont nombreux. La tourbe brûle plus lentement et donne une chaleur plus douce, elle est plus inflammable et exige moins d'air pour la combustion. Boehraave en recommande beaucoup l'usage dans son *Furnus studiosorum*.

La troisième classe comprend le charbon de bois; c'est le principal combustible qu'emploient les chimistes. Il possède des propriétés excellentes: il brûle promptement, dégage peu de vapeurs dans sa combustion et donne peu de cendres. Il produit une chaleur aussi forte que quelque combustible que ce soit, mais il se consume



promptement et a fréquemment besoin d'être renouvelé.

Les charbons fossiles distillés jouissent sous plusieurs rapports des mêmes propriétés que le charbon de bois. Ils brûlent plus facilement, dégagent moins d'eau et de fumée quand ils ont été soumis à l'action de la chaleur, que lorsqu'ils sont employés bruts. Ce combustible est, à beaucoup d'égards, supérieur à tout autre; il contient sous le même volume une plus grande quantité de matières inflammables, aussi dure-t-il plus au feu; mais il donne beaucoup de cendres qui forment masse et interceptent le courant d'air. Quand la température est très-élevée, ces cendres se ramollissent, se vitrifient et donnent naissance à une matière pâteuse qui s'attache à tout ce qu'elle touche : cette circonstance n'a lieu que rarement, et quoiqu'elles soient plus lourdes et plus abondantes que celles du charbon de bois, elles n'arrêtent pas la circulation de l'air, à moins que les barres de la grille des foyers ne soient trop rapprochées.

Aussi ce combustible est-il presque toujours préférable au charbon de bois; il est plus longtemps à se consumer, ou, en d'autres termes, il donne plus de chaleur avant de se réduire en cendres. *Celles qui sont produites par des quantité égales en poids de houille distillée, de charbon de bois et de bois en nature, sont environ dans le*

rapport de 5, 4, 3. Dans la plupart des opérations de chimie expérimentale, ces deux espèces de charbon sont préférées aux substances d'où on les extrait, parce que celles-ci contiennent divers principes liquides et gazeux dont la carbonisation les dépouille. Dans une foule de cas cette circonstance se fait sentir d'une manière fâcheuse : la suie qui se forme en abondance intercepte les courans d'air, et l'eau absorbe en s'évaporant une quantité de chaleur considérable. Les alternatives de température sont continuelles, chaque pièce de combustible s'empare d'une portion de calorique, et ne la restitue qu'au moment où elle est en pleine ignition. Ces passages, souvent assez brusques d'un degré à un autre, contrarient les opérations et rendent plus avantageux l'emploi des substances carbonisées.

La dernière espèce de combustibles comprend le bois, le charbon fossile dans leur état naturel. Ils donnent une flamme copieuse, claire, quand ils sont exposés à l'action du feu et de l'air, et ne peuvent être confondus avec le charbon.

J'ai déjà eu occasion de remarquer que la flamme est due aux substances qui se volatilisent dès qu'elles reçoivent l'impression de la chaleur, et qui se réduisent facilement en vapeurs. La flamme n'est autre chose que cette vapeur soumise, à mesure qu'elle se dégage, à l'action de la chaleur.

Telle est celle du bois ou du charbon fossile quand on les consomme dans leur état naturel. Ces combustibles contiennent une grande quantité de matières inflammables qui sont volatiles et qui se dégagent, par l'application d'une chaleur modérée, sous forme de vapeurs huileuses, de suie et de fumée. Ce dégagement, au lieu d'accroître l'intensité du feu, la diminue; mais, si les combustibles sont soumis à une plus forte chaleur et s'ils reçoivent abondamment l'air, ces vapeurs se brûlent et se convertissent en flamme. Le calorique qu'elles développent devient bientôt assez considérable pour qu'elles se consomment à mesure qu'elles se forment.

Ces sortes de combustibles sont préférables à tous autres pour certains usages; car la flamme peut produire une température très-élevée quand elle est abondante et qu'on lui donne beaucoup d'air en la faisant tourbillonner: c'est une conséquence de sa nature vaporeuse et de la facilité avec laquelle elle se mêle aux fluides élastiques. L'air agit sur elle avec d'autant plus d'avantages qu'il la pénètre et la saisit dans tous les points, tandis qu'il n'a de prise sur les corps solides que par leurs parties extérieures. Quand on n'agit que sur une flamme peu volumineuse et qui se consume doucement, on n'aperçoit pas toute l'énergie dont elle est susceptible, parce



quel'oxigène n'agit que sur la couche extérieure; mais quand elle est considérable et qu'elle reçoit beaucoup d'air, elle développe une chaleur très-intense qui peut être employée avec succès à chauffer de grandes masses, celles surtout pour lesquelles le contact d'un combustible solide offrirait des inconvénients. C'est pour cela qu'on fait usage des substances qui donnent de la flamme dans plusieurs opérations de métallurgie; pour la fonte des métaux ou des minerais, pour la fabrication des glaces, pour la cuisson des grès, etc. Les fours à poteries ne sont autre chose que des cavités cylindriques qu'on remplit entièrement; on laisse un léger intervalle entre les rangées, la flamme verse des torrents de chaleur sur les pièces qu'elle enveloppe et les chauffe toutes d'une manière égale. Ces combustibles sont aussi d'un excellent usage dans plusieurs travaux ou fabrications qui exigent de la chaleur: telles sont les brasseries, distilleries, etc. L'importance que nous présentent les combustibles nous engage à donner l'extrait suivant d'un travail dû à Thomson.

Des mines de charbon.

Ces mines sont très-variables, les combustibles qu'elles produisent n'ont été examinés que sous le rapport des gaz qu'ils contiennent. Les faits qui résultent de ces recherches ne sont pas exactement applicables aux phénomènes de la combustion; nous en donnerons cependant un aperçu. Le D^r. Thomson divise les combustibles qu'on tire des houillères en quatre sections.

1^o. Caking coal.

2^o. Splint coal.

5^o. Cherry coal *ou* Soft coal.

4^o. Cannel coal.

Ces quatre espèces renferment sans doute toutes les mines de la Grande-Bretagne, et la dernière peut être omise sans inconvénient. Je suivrai la division de Thomson: ses recherches réunies à celles de Kirwan pourront donner des idées succinctes, mais utiles sur ce sujet.

Caking coal, on l'appelle aussi *binding coal* ou *crozzling coal*. On l'obtient en grande quantité dans le Northumberland, à Durham. Il se vend à Londres sous le nom de charbon de Newcastle. Ses différentes couches varient beaucoup en qualité. Il y en a également à Whitehaven dans le Cumberland, à Wigan dans le Lanca-



shire , à Swansea dans le comté de Galles , à Lectrin en Irlande , dans le Derbyshire , dans le voisinage de Glasgow , et autres endroits d'Écosse.

Le caking coal est noir, mou et fragile ; ses fragmens sont en général cubiques : il est brillant et tache les doigts ; sa densité est 1,269, selon Thomson. Les variétés trouvées par Kirwan ont donné un résultat presque identique. Chauffé, il se casse en petits morceaux qui , soumis à une élévation de température , deviennent adhérens et forment une masse solide. C'est de là que lui est venu le nom de *caking coal*, charbon collant : il brûle facilement, donne une flamme jaune , brillante. Il faut le remuer fréquemment et s'opposer à son adhérence , la détruire ; mais sous ce rapport il en existe des variétés qui diffèrent considérablement. La meilleure de celles des charbons de Newcastle vient du pays de Galles : elle donne une flamme brillante et agréable , brûle rapidement et adhère peu ; celle de *Tanfield moor* brûle lentement , durcit , donne une chaleur forte et durable ; les autres variétés sont intermédiaires. Le charbon de Whitehaven donne une flamme claire, brûle long-temps , mais ensuite se colle fortement ; le Wigan brûle vite et adhère moins ; le Swansea brûle lentement et se colle ; le Lectrin adhère faiblement.

Le caking coal émet une forte chaleur, et brûle



long-temps, s'il est ménagé; aussi on le préfère lorsqu'il est à bon marché. Suivant Thomson, 1000 parties de caking coal distillé à vases clos, donnent 774 livres de coke; cette quantité est moins considérable en plein air. Il contient 1 et demi pour 100 de matières terreuses. Il résulte des expériences de M. Watts qu'un boisseau de charbon de Newcastle peut convertir huit à douze pieds cubes d'eau en vapeur; un boisseau de Swansea donne à peu près le même résultat. Le poids ordinaire d'un boisseau est 84 livres. Si nous prenons 10 pieds cubes pour la moyenne de l'effet, on en conclura que l'élévation d'un degré pour un pied cube d'eau exige 0,0075 liv. de charbon; conséquemment, 1°. 1,2 livre de charbon élèveront de la température moyenne à l'ébullition un pied cube d'eau; 2°. 8,4 de charbon convertiront en vapeurs un pied cube d'eau; 3°. 1,5 livre de charbon fondront 62,5 livres de neige; 4°. 0,00000262 liv. de charbon élèveront un pied cube d'air de 1°.

Quelques autres données prouveront l'exactitude de ces résultats. Le D^r. Black assure que 7,9 livres de charbon de Newcastle peuvent convertir un pied cube d'eau en vapeur capable de soutenir la pression atmosphérique. Suivant M. Parkes, on peut réduire en vapeur, si la chaudière est bien construite, un pied cube d'eau, avec 7,45 livres de charbon; la moyenne est envi-



ron 8,15, ce qui diffère de $\frac{1}{4}$ de livre du résultat donné par M. Watts. D'après Smeaton cette chaleur exige 11,4 d'un charbon dont il ne décrit pas l'espèce. Hassenfratz assure que 0,65 livres de charbon fondent 62,5 livres de glace, et son résultat le plus bas est 8,1 livres. M. Tregold a trouvé après l'échauffement du fourneau qu'un peu moins d'une livre de charbon du pays de Galles peut élever à 100° une livre d'eau prise à 110° ; lorsque le charbon est d'une qualité inférieure, il faut une dose plus forte et une attention plus soutenue.

Splint coal, charbon schisteux de Kirwan. Cette espèce de charbon est souvent estimée égale au charbon de Newcastle. On l'exploite à Glasgow, dans le Ayrshire, et dans plusieurs mines d'Angleterre. Le culm, le charbon grenu et le charbon en pierre paraissent être des variétés de cette espèce. Le splint coal est noir, à reflet brun, moins fragile que le caking coal et a une fracture siliceuse, d'où lui est sans doute venu son nom. Sa densité est 1,290, selon Thomson, et 1,426, suivant Kirwan. Ce charbon exige pour s'enflammer une température supérieure au caking coal, et conséquemment est moins usité pour les petits foyers ; mais une forte dose de splint coal donne une chaleur intense et durable. Il produit en général moins de flamme, de fumée et s'agglutine moins que le précé-

dent. D'après Thomson, 1000 livres de splint coal donnent à vases clos 674 livres de coke, et contiennent 9 et demi pour 100 de matières terreuses. M. Smeaton estime le splint coal d'Écosse à l'égal du Newcastle pour les machines à feu. On peut sans erreur sensible admettre les mêmes résultats pour ces deux espèces.

Cherry coal ou *Soft coal*. Il constitue, suivant le docteur Thomson, les plus grandes parties des mines de Glasgow. Il abonde dans le Fife-shire. Le charbon du Staffordshire est de la même espèce et celui d'Édimbourg est intermédiaire entre le cherry coal et le splint coal.

Le cherry coal est d'un noir velouté avec reflet gris; il est aussi dur et aussi fragile que le caking coal; il est difficile à travailler, ne s'agglutine pas, et n'est de défaite, s'il est en petits fragmens, que pour les fourneaux. A Birmingham la perte d'extraction est d'environ le tiers de la mine. Le cherry coal est plus cassant que le caking coal. Ses fragmens sont rectangulaires, et sa densité est, selon Thomson, 1,265. Ce charbon s'allume rapidement, donne beaucoup de chaleur et une flamme jaune, qui dure autant que le combustible. Il brûle plus vite que les deux précédens, est en général moins économique. On le distingue du caking coal en ce qu'il ne s'agglutine pas, qu'il donne un feu plus agréable et n'exige pas une agitation aussi fré-



quente. Ses débris sont mêlés à l'argile et mis en briques, qui résistent très-bien au feu lorsqu'elles sont sèches, et donnent une chaleur durable. Suivant Thomson, 1000 livres de ce charbon rendent, à vases clos, 522 livres de coke et contiennent 10 pour 100 de matières terreuses. La force de ce charbon est de $\frac{1}{4}$ ou de $\frac{1}{3}$ inférieure au caking coal. Ce résultat s'accorde avec les expériences de M. Watts, qui assure qu'un quintal de charbon de Wednesbury produit le même effet qu'un boisseau de Newcastle.

Les principes constituans des charbons de terre ont été déterminés d'une manière assez exacte, pour qu'on puisse calculer les effets qu'ils produisent par la combustion; nous les donnons dans la table suivante.

Principes constituans de 100 parties de charbon-de-terre en poids.

| | Carbone. | Hydrogène. | Azote. | Oxygène. | Auteurs. |
|--------------|----------|------------|--------|----------|--------------|
| Caking coal. | 75,28 | 4,18 | 15,96 | 4,58 | Thomson. |
| Splint coal. | 75,00 | 6,25 | 6,25 | 12,50 | <i>Idem.</i> |
| <i>Idem.</i> | 70,90 | 4,30 | 0,00 | 24,80 | Ure. |
| Cherry coal. | 74,45 | 12,40 | 10,22 | 2,93 | Thomson. |
| Cannel coal. | 64,72 | 21,56 | 13,72 | 0,00 | <i>Idem.</i> |
| <i>Idem.</i> | 72,22 | 3,93 | 2,80 | 21,05 | Ure. |



Les expériences de Thomson s'accordent très-bien avec les faits connus; celles du docteur Ure semblent assigner au cannel coal une proportion trop considérable d'hydrogène. « Ces expériences, même imparfaites, pourront, suivant le premier de ces chimistes, guider les fabricans dans le choix de leur charbon. On peut d'ailleurs observer que la bonne qualité d'un bon-de-terre ne dépend pas entièrement du carbone qu'il contient, mais de la proportion existante entre le carbone et l'hydrogène. Lorsque l'on a pour but de transformer le charbon en coke ou lorsque l'on veut obtenir une chaleur forte et durable, on doit préférer celui qui contient le plus de carbone et le moins d'hydrogène. Si on distille pour l'éclairage, on choisit l'espèce qui renferme le plus d'hydrogène. L'azote est incombustible, exige une chaleur considérable pour passer à l'état de gaz. Les effets du charbon seront donc en raison inverse de l'azote qu'il contient; s'il existait un moyen de le conserver à l'état solide il serait neutre; mais peut-être ne donne-t-il pas de chaleur dans les combinaisons, parce que les produits qu'il fournit sont des gaz qui exigent autant de chaleur que leurs constituans. Lorsqu'un combustible contient de l'oxygène, ce gaz lui enlève la chaleur nécessaire aux composés gazeux qu'il forme. Il serait donc utile qu'il ne renfermât ni



» oxigène ni azote. Le dégagement de l'hydro-
» gène doit aussi lui faire perdre une portion
» considérable de sa chaleur, puisque sa capacité
» pour le calorique est plus grande que celle
» d'aucun autre. »

Ces remarques suffiront pour donner une idée des avantages que présentent les diverses espèces de charbon, et démontreront combien peu sont fondées les idées de ceux qui prétendent qu'un charbon avantageux pour un objet l'est également pour un autre.

Du bois.

Dans presque toute l'Europe le bois est employé comme combustible ; la chaleur qu'il produit dépend de son degré de dessiccation. Suivant les recherches du comte de Rumfort, celui qui est le plus sec donne le plus de chaleur. Le bois qui n'a pas été coupé dans la saison convenable renferme $\frac{1}{5}$ d'eau, conséquemment son action est beaucoup moindre. L'espèce n'en est pas indifférent : le tilleul est celui qui donne le plus de chaleur.

Le foyer doit être plus grand pour le bois que pour le charbon-de-terre. Il est avantageux de couper ce combustible en petits morceaux, surtout lorsque l'on désire obtenir rapidement un certain degré de chaleur.

Dans les chaudières perfectionnées, le comte

de Rumfort élève de 0° à 100° , 10,20 livres d'eau avec une livre de sapin sec. Ce qui revient à chauffer de 1° un pied cube d'eau avec 0,0172; conséquemment 3 livres font bouillir un pied cube d'eau pure prise à 0° , ou $2\frac{1}{4}$ livres font bouillir un pied d'eau prise à la température ordinaire. $19\frac{1}{4}$ livres de sapin sec vaporisent un pied cube d'eau, lorsque la chaudière est alimentée par du liquide à la température ordinaire. Le sapin non desséché donne un effet moindre, d'environ $\frac{1}{7}$; le pied cube de sapin sec pèse environ livres.

Le hêtre donne moins de chaleur que le sapin, car 1 livre de hêtre fait bouillir 14,83 livres d'eau prise à 0° ; ou 0,0242 livre de ce bois élève un pied cube de 1° ; conséquemment 3,36 livres feront bouillir un pied cube d'eau, ou environ 3, si elle est à la température moyenne, 37 livres dégagent à l'état de vapeur un pied cube d'eau, la chaudière étant alimentée par du liquide à la température moyenne. Un pied cube de hêtre sec pèse environ 44 livres, suivant M. Fossembroni. Le bois produit la chaleur nécessaire pour évaporer deux fois son poids d'eau. Les effets du bois, tels que les a obtenus Rumfort, sont de $\frac{1}{3}$ plus considérables, ce que l'on peut attribuer aux soins qu'il a donnés à ses expériences. M. Hassenfratz a fait également des recherches sur la combustion de plusieurs espè-



ces de bois. Son résultat moyen est que, 40 livres de glace sont fondues par 1 livre de bois, ce qui est équivalent à 62,5 livres de glace fondues par 1,56 livre. Il opéra sur 28 espèces de bois nouveaux et secs; le plus bas de ses résultats était 32 livres de glace et le plus haut 49, par livre de bois. Mais on ne peut compter sur ces expériences, parce qu'une grande partie de la chaleur qui est ordinairement perdue agissait sur la glace, ce qui n'a pas lieu pour une chaudière. Il est en effet désavantageux de laisser la fumée en contact avec le vase lorsque celle de sa température est inférieure à l'eau bouillante. Ainsi les expériences sur la fusion de la glace ne peuvent servir à mesurer les effets d'un combustible, pour engendrer la vapeur. En général, si la liquéfaction de l'eau congelée, donne l'estimation de toute la chaleur produite par un combustible, cet effet ne sera que moitié dans la formation de l'autre. Cependant ces expériences présentent de l'utilité, car elles peuvent servir de points de comparaison entre les diverses espèces de bois.

La table suivante est due à Rumford. Nous y avons ajouté deux colonnes qui expriment la production de la vapeur en admettant que l'effet donné au moyen de la glace fondue ne soit que moitié pour la vapeur.

| Espèces de bois. | État du bois. | Livres de combustibles nécessaires à la fusion de 63,5 de glace. | Livres de combustibles nécessaires pour élever de 10° à 100° un pied cube d'eau. | Livres de combustibles nécessaires pour mettre en vapeur un pied cube d'eau, à la température ordinaire. |
|------------------|---|--|--|--|
| Tilleul. . | Bois sec, âgé de quatre ans. . . | 1,35 | 3,1 | 22 |
| <i>Idem.</i> . . | Desséché artificiellement. | 1,18 | 2,7 | 19,4 |
| Hêtre. . . | Bois sec, âgé de 4 à 5 ans | 1,38 | 3,16 | 26,6 |
| Orme. . . | <i>Idem.</i> | 1,54 | 3,52 | 22,5 |
| Chêne . . . | Bois ordinaire, sec. | 1,83 | 4,20 | 30 |
| Frêne. . . | Bois sec | 1,53 | 3,50 | 25,2 |
| Érable. . . | Très-sec | 1,30 | 3,00 | 21,4 |
| Sorbier. . | <i>Idem.</i> | 1,31 | 3,00 | 25,5 |
| Cerisier . | Bois sec | 1,40 | 3,20 | 23,0 |
| Sapin. . . | <i>Idem.</i> | 1,54 | 3,52 | 25,5 |
| Peuplier. | <i>Idem.</i> | 1,35 | 3,10 | 22,0 |
| Chêne. . . | Contenant 15 pour 100 d'eau, combustion imparfaite. | 1,78 | 4,10 | 29,0 |

On peut observer que l'âge apporte de très-grandes différences dans la même espèce de bois. Si on compare les nombres contenus dans les dernières colonnes avec les résultats de M. Rumford rapportés au commencement de cet article, on verra qu'ils s'accordent parfaitement; la glace fondue par un poids déterminé de bois est à peu près celle que donnent les expériences de Hassenfratz.

*De la tourbe.*

La tourbe varie avec les lieux qui la produisent, la nature des végétaux qu'elle renferme et les dépôts d'alluvion dont elle est mêlée. La densité de la tourbe est également très-variable, et, lorsqu'elle ne contient pas de gravier, elle est plus ou moins bonne, suivant sa densité. Quelquefois elle s'enfonce dans l'eau et est si compacte, que la flamme dégagée dans la combustion est presque égale à celle de divers charbons-de-terre. M. M'Culloch divise les tourbes en cinq sections.

Tourbe de montagne.

——— de marais.

——— de lac.

——— de forêt.

——— marine.

La première est la moins estimée, parce que sa texture est lâche et que l'épaisseur du lit dépasse rarement un pied. La tourbe, considérée comme combustible, peut se diviser en deux espèces. La première est compacte, pesante, noir-brunâtre, et présente à peine des empreintes végétales : cette espèce est la plus estimée, elle donne une chaleur forte et durable. La deuxième est légère, spongieuse, brune, et paraît

être composée de détritns végétaux qui ont éprouvé peu d'altération : elle s'allume et brûle rapidement.

La tourbe dégage une odeur désagréable ; elle donne, dans la combustion, une chaleur douce ; mais on doit la rejeter lorsqu'on emploie des chaudières. En général, elle est de qualités très-variables. Il en est qui brûlent rapidement avec une belle flamme, d'autres se consomment lentement, et, suivant MM. Clément et Desormes, ne donnent que le cinquième de la chaleur produite par leur poids de charbon, ce qui coïncide avec le rapport établi par Blavier et Miché. Conséquemment 5,3 de bonne tourbe peuvent convertir un pied cube d'eau en vapeur, ou, en d'autres termes, peuvent vaporiser les $\frac{2}{6}$ de leur poids d'eau. La dessiccation de la tourbe est difficile, et en général ce travail doit se faire dans le temps des labours. On peut accélérer cette opération en soumettant la tourbe à la presse : cette pression la rend plus compacte et plus durable comme combustible. Le poids d'un pied de tourbe varie de 44 à 70 livres ; les variétés les plus pesantes donnent environ 40 pour 100 de charbon, la quantité de ce corps est dans les autres espèces proportionnelle à leur densité.

Combustibles distillés.

Du charbon. La chaleur lente et régulière que donne un combustible qui a été préalablement distillé, présente de grands avantages. Ce combustible exige une attention moins soutenue. Les expériences sur cette substance s'accordent rarement : je rappellerai les principales.

Dalton en chauffant de l'eau obtint un résultat tel que 40 livres de glace étaient fondues par une livre de charbon. Les expériences de Crawford lui donnèrent 69 livres ; Levacher, 95 livres et demie ; Clément et Désormes, 95 livres ; les expériences de Hassenfratz donnèrent une moyenne de 92 livres ; son plus haut résultat fut 96 livres et son plus bas 74. Mais, puisque la fusion de la glace indique une chaleur double de celle qui agit dans la combustion, nous pouvons prendre 47 livres de glace fondue pour une livre de charbon ; il en résulte que 0,0095 livre de charbon élèveront un pied cube d'eau de 1°, ou 1,521 livre élèveront un pied cube d'eau de 10° à 100°, ou 10 livres $\frac{2}{3}$ de charbon convertiront un pied cube d'eau en vapeur, ou enfin, en d'autres termes, une quantité déterminée de charbon convertit en vapeur six fois son poids d'eau.

Coke. Suivant Levacher, 605 livres de charbon produisent un effet semblable à celui que donnent 552 de coke ; conséquemment 0,0069 livre

de coke élèveront un pied cube d'eau de 1° ou 1,1 livre, feront bouillir un pied cube d'eau prise à la température moyenne, ou enfin 7,7 livres convertiront un pied cube d'eau en vapeur, ce qui revient à vaporiser huit fois son poids d'eau.

Tourbe distillée. Suivant Blavier et Miché, les effets produits par le charbon et la tourbe distillée sont comme 1666 à 740. Si nous multiplions la quantité de charbon par 2,16, le produit sera le poids de tourbe à employer pour le même effet. Ainsi 23 livres de tourbe convertiront en vapeur un pied cube d'eau, ou, en d'autres termes, vaporisent trois fois leur poids d'eau.

TABLE des quantités de combustibles 1°. qui élèvent un pouce cube d'eau à 1° ; 2°. qui convertissent en vapeur un pied cube d'eau prise à la température moyenne.

| ESPÈCES de combustibles. | Quantités qui élèvent un pied cube d'eau de 1°. | Quantités qui convertissent en vapeur un pied cube d'eau. |
|---|---|---|
| Charbon de Newcastle (Caking coal). | 0,0075 | 8,4 |
| Splint coal. (Même résultat) | | |
| Charbon de Staffordshire. | 0,0100 | 11,2 |
| Bois Sapin sec. | 0,0172 | 10,2 |
| — Hêtre sec. | 0,0242 | 27,00 |
| — Chêne sec. | 0,0265 | 30,00 |
| Tourbe de bonne qualité. | 0,0475 | 53,06 |
| Charbon. | 0,0095 | 10,06 |
| Coke. | 0,0069 | 7,07 |
| Tourbe distillée. | 0,0205 | 23,06 |

Nous présenterons ici un tableau des quantités de chaleur que l'on obtient de diverses espèces de combustibles. La distillation de l'eau offre une méthode simple et précise de comparer ces effets. Dalton assure que la chaleur que dégage la combustion d'une livre de charbon, et peut-être aussi d'une livre de houille, est suffisante (s'il n'y a pas de perte)



pour élever 45 ou 50 kil. d'eau du point de la congélation à celui de l'ébullition, et pour en convertir 7 à 8 livres en vapeur. Si on en emploie davantage, il y a une quantité proportionnelle de calorique perdue, et l'on doit, autant que possible, éviter cet inconvénient (*).

Ou trouve dans les Leçons de Black, tome 1^{er}., page 184, la note suivante : 100 livres de la meilleure houille de Newcastle, consumées dans un fourneau bien construit, convertissent en vapeur capable de soutenir la pression atmosphérique, environ 12,63 pieds cubes d'eau.

D'après des calculs fondés sur quelques expériences de Lavoisier, il paraît (remarque le comte de Rumford) que des quantités égales d'eau présentant des surfaces égales peuvent être évaporées, et conséquemment des températures égales produites, par :

| | | |
|--------------------|------------|---------------|
| | 403 livres | de coke. |
| | 600 | de houille. |
| | 600 | de charbon. |
| | 1089 | de chêne. |
| Ou en volume par : | 17 | de coke. |
| | 10 | de houille. |
| | 40 | de charbon. |
| | 33 | de chêne (*). |

(*) Dalton, Philosophie chimique, pag. 82.

(**) Essais de Rumford, tom. 2, pag. 134.

D'après les résultats obtenus dans ladixième expérience, il semble que vingt livres $\frac{1}{10}$ d'eau abaissées à la température de la glace peuvent être portées à 212° F. (100° . c.) ou mises en ébullition sous la pression moyenne de l'atmosphère au niveau de l'Océan, par la chaleur que dégage la combustion d'une livre de sapin. En raisonnant d'après ce résultat et d'après les quantités relatives de chaleur que donnent le sapin et la houille, il paraît que la chaleur produite par la combustion d'une livre de houille élèverait jusqu'au point de l'ébullition $36 \frac{3}{10}$ d'eau prise à la congélation. Il résulte de là que la houille chauffe jusqu'à l'ébullition 36 fois son poids d'eau prise à 0° . D'une autre part, Watt a trouvé, par des expériences faites avec le plus grand soin, qu'il fallait, pour réduire en vapeur une eau bouillante, près de $5 \frac{1}{2}$ fois autant de chaleur que pour faire passer la même quantité d'eau de la congélation au point où elle était. On peut conclure de là que la chaleur obtenue par la combustion d'une livre de houille serait suffisante pour réduire près de 7 livres d'eau bouillante en vapeur (*).

Le docteur Crawford a trouvé par une expérience très-bien conçue, et qui paraît avoir été faite avec le plus grand soin, que la chaleur dé-

(*) Essais de Rumford, tom. 2, pag. 136, 137.





gagée dans la combustion de 30 grains de charbon, éle-
 vait la température de 31 l. 6° (Troy.),
 ou 181,920 grains d'eau de $1 \frac{7^{\circ}}{100}$ degré F.
 quand il ne se se perdait aucune portion de calo-
 rique. En conséquence, *la chaleur produite par
 la combustion d'une livre de charbon, suffirait
 pour porter à 100° 57,608 livres d'eau, prise à la
 température de la congélation, car 3157,9 grains
 de charbon sont à 181,920 grains d'eau, comme
 1 gr. de charbon est à 57,608 livres d'eau.*

D'après les expériences de Lavoisier, les
 quantités de chaleur engendrée dans la com-
 bustion de poids égaux de charbon et de chène
 sec, sont entre elles comme les nombres 1809
 et 600. Nous pouvons en conclure que des *quan-
 tités égales de chaleur sont produites par une livre
 de charbon et 1,815 de chène*, que conséquem-
 ment la chaleur engendrée dans la combustion de
 1,815 de chène échaufferait 57,608 livres d'eau,
 ou qu'une livre de chène porterait 31,74 d'eau
 pure dans les mêmes circonstances à 100° ou à
 l'ébullition, pourvu qu'une portion de la chaleur
 produite ne fût pas perdue (*).

L'examen comparatif de la *chaleur donnée
 par la combustion du charbon et de la tourbe
 distillée prouve que la chaleur de la dernière est à*

(*) Essais de Rumford, tom. 2, pag. 136, 140.

celle de la première dans le rapport de 3 à 1 environ (*).

M. Watt pense que la chaudière doit présenter au feu une surface de huit pieds pour qu'il s'évapore un pied cube d'eau par heure, et qu'un bushel, ou 84 livres de charbon de Newcastle, dépensé sous un vase ainsi disposé peut en évaporer de 8 à 12 pieds cubes (**).

La chaleur employée pour évaporer un pied cube d'eau, est environ le sextuple de celle qu'il faut pour le faire passer de la température moyenne à l'ébullition (***).

M. Watt alloue, je crois, pour les machines à vapeurs dans les lieux où on ne fait usage que de bois pour combustible, *le triple en poids de ce qu'il accorde de houille de Newcastle.*

Le charbon de Newcastle donne beaucoup plus de chaleur que celui que l'on retire communément d'Écosse. *Il est connu qu'un bushel de charbon de Newcastle, qui pèse environ $\frac{3}{4}$ de quintal, produit autant de chaleur qu'un quintal de charbon de Glasgow.*

Le petit charbon ou le culm est employé de

(*) Recherches sur l'intensité comparative de la chaleur produite par la combustion du charbon et de la tourbe distillée. Mémoires de l'Académie des sciences, Répertoire des arts, vol. 5, pag. 49.¹

(**) Encyclopédie britannique, supplément.

(***) Ibid.



préférence pour les machines à vapeur. D'après un grand nombre d'expériences faites dans le voisinage de Glasgow, *il en faut justement en poids, le double de ce qui est nécessaire du premier pour obtenir le même degré de chaleur.* En 1808 les prix des quantités de culm et de charbon capables de produire le même effet étaient entr'eux dans le rapport de 12 à 14, ainsi l'usage du premier présentait $\frac{1}{7}$ d'économie.

Une bougie dont le diamètre est $\frac{3}{4}$ de pouce perd un grain de son poids en 37" et consume environ 3 grains ou 9 pouces cubes de gaz oxigène. Elle produit assez de chaleur pour élever de 1° environ 15000 grains d'eau; d'après les expériences de Lavoisier et Laplace 10 grains de phosphore en absorbent en brûlant 15 d'oxigène; 10 grains de charbon en consomment 26, et autant d'hydrogène en emploient 56. La chaleur dégagée par la combustion

| | |
|------------------------|-------------------------|
| de 1 liv. de phosphore | fond 100 liv. de glace. |
| de 1 de charbon | 96 $\frac{1}{8}$ |
| de 1 d'hydrogène | 295 |
| de 1 de cire | 133 |
| de 1 d'huile d'olive | 149 |

La déflagration d'une livre de nitre et de $\frac{1}{6}$ de son poids de charbon liquéfie 12 liv. de glace (*).

(*) Philosophie naturelle d'Young; tom. 1, pag. 634.

SECTION IV.

DE LA TRANSMISSION DE LA CHALEUR.

La température des corps étant soumise à des variations continuelles , il est important dans la pratique de déterminer le mouvement de la chaleur dans un corps , et pendant son passage d'un corps à un autre. Ingenhouze s'est beaucoup occupé de ces recherches ; il a fait , pour connaître la puissance conductrice des métaux , l'expérience suivante. Il a pris des barres métalliques parfaitement égales , et les a plongées dans de la cire fondue. Il les a ensuite exposées par un bout à l'action de l'eau bouillante , et a observé jusqu'à quel point et avec quelle promptitude la couche de cire se fondait.

La propriété que possèdent les corps de recevoir et de transmettre la chaleur aux corps environnans , est ce que l'on appelle *la puissance conductrice*. Ceux qui absorbent et cèdent le calorique avec le plus de facilité , passent pour meilleurs conducteurs que ceux qui opposent quelque obstacle à ce double phénomène.

La puissance conductrice varie considérablement , suivant la nature des corps. On peut dire en général que les plus denses sont ceux qui en jouissent à un plus haut degré , et que ceux qui sont rares conduisent faiblement la chaleur. Les





métaux doivent en conséquence être rangés en première ligne, les substances terreuses en deuxième, le bois en troisième; les poils, les fourrures, les plumes, etc., dont les animaux sont couverts, en quatrième, etc. La même matière varie dans sa puissance conductrice, suivant l'état d'agrégation où elle se trouve. Ainsi le fer en barre ou en plaque conduit beaucoup mieux qu'en limaille. Le bois et la sciure présentent la même différence.

Ingenhouze a été conduit, par ses expériences, à ranger les métaux dans l'ordre suivant (*):

Argent.

Or.

Cuivre.

Étain.

} A peu près égaux.

Platine.

Fer.

Acier.

Plomb.

} De beaucoup inférieurs aux autres.

Après les métaux, les substances qui jouissent de la puissance conductrice à un plus haut degré, paraissent être les pierres. Elles présentent entre elles de grandes différences. Les briques doivent être mises au dernier rang.

(*) Journal de physique, 1789, pag. 68.

Le verre peut être rangé dans la même classe que les pierres ; il n'est pas meilleur conducteur qu'elles : c'est par cette raison qu'il est sujet aux ruptures quand il éprouve des variations de température un peu brusques. La chaleur se transmet lentement, s'accumule sur un point, et produit des dilatations ou contractions partielles, qui détruisent la cohésion et déterminent la rupture.

Après les pierres viennent les bois secs. M. Meyer (*) a fait une série d'expériences sur la puissance conductrice de la plupart d'entre eux. Les résultats qu'il a obtenus sont consignés dans la table suivante, construite en représentant par 1 la faculté conductrice de l'eau.

| CORPS. | Puissance conductrice. |
|--|------------------------|
| Eau | 1 |
| Dyapserus ebenus (ébène) | 2,17 |
| Pyrus malus (pommier) | 2,74 |
| Fraxinus excelsior (frêne) | 3,08 |
| Fagus sylvatica (hêtre) | 3,21 |
| Carpinus betulus (bouleau) | 3,23 |
| Prunus domestica (prunier) | 3,25 |
| Ulmus (orme) | 3,55 |
| Quercus robur (chêne) | 3,26 |
| Pyrus communis (poirier) | 3,32 |

(*) Annales de chimie, XXX, pag. 32.





| CORPS. | Puissance conductrice. |
|--|------------------------|
| Betula alba (bouleau) | 3,41 |
| Quercus robur sessilis (chêne sessile) | 3,62 |
| Pinus picea (sapin) ? | 3,75 |
| Betula alnus (aulne) | 3,84 |
| Pinus sylvestris (pin de Genève ou d'Écosse) | 3,86 |
| Pinus abies (l'épicéa) | 3,89 |
| Tilia Europæa (tilleul) | 3,90 |

Le charbon est aussi un mauvais conducteur; d'après Guyton-Morveau, sa puissance conductrice est à celle du sable fin comme 2 est à 3 (*). Les plumes, la soie, la laine et les poils sont au dernier rang. C'est à cette propriété de n'être pas bons conducteurs qu'ils doivent d'être employés pour les vêtements de l'homme; ils concentrent la chaleur, et ne lui permettent pas de se dissiper dans l'air. Rumford a fait sur ces substances une suite d'expériences très-ingénieuses (**), d'où il résulte que la puissance conductrice est en raison inverse de la finesse du tissu. Les liquides n'ont pas été étudiés sous ce rapport avec beaucoup d'attention, M. Bu-

(*) Annales de chimie, tom. 26, pag. 225.

(**) Transactions philosophiques, 1792.

chanan s'est assuré par l'expérience que le mercure, l'eau, l'huile de lin, doivent être classés comme il suit :

1°. *Volumes égaux.*

Eau. = 1

Mercure. = 2

Huile de lin. = 1,111

2°. *Poids égaux.*

Eau. = 1

Mercure. = 4,8

Huile de lin. = 1,085

La puissance conductrice des corps est une conséquence de l'affinité qu'ils exercent sur le calorique. La manière inégale dont ils le transmettent, autorise à conclure que cette affinité est elle-même très-inégale. Quoi qu'il en soit, il est extrêmement probable qu'elle est en sens inverse de leur puissance conductrice. Nous connaissons cette même puissance; nous pouvons donc en déduire l'affinité, et l'exprimer en nombres absolus : ainsi cette affinité sera

Pour l'eau = 1

— le mercure . . . = $\frac{1}{48}$ = 0,208— l'huile de lin . . = $\frac{1}{1,085}$ = 0,921 (*).

(*) Chimie de Thomson, 1^{er}. vol., pag. 327, 330.



Lorsque les fluides sont chauffés à leur surface , la chaleur descend lentement et graduellement , comme si elle pénétrait des solides. La première espèce de corps semble offrir dans la qualité conductrice une différence analogue à celle que présentent les derniers ; mais quand le feu est appliqué à la partie inférieure d'un vase plein d'eau , par exemple , le phénomène suit une autre marche ; les particules devenues moins denses à mesure qu'elles reçoivent de la chaleur , s'élèvent et forment un courant ascendant qui les met en communication avec les molécules supérieures. Elles leur cèdent du calorique , et les disposent au même mouvement , mais elles retiennent toujours un excès de température , en sorte que l'élévation est constamment plus sensible à la surface jusqu'à ce que l'ébullition soit déterminée ; la chaleur se répand alors dans toute la masse d'une manière uniforme. L'échauffement des liquides s'opère donc par la transmission graduelle du calorique , et ils se comportent comme les solides. Mais ce mode n'est pas le plus efficace ; le mouvement interne que l'application du feu leur imprime est bien plus puissant ; toutes les particules se mêlent , se confondent , et atteignent bientôt l'équilibre ; la diffusion de la chaleur s'opère avec tant de promptitude , au moyen de ces courans , qu'on a douté long-temps si les liqui-

des jouissaient de la propriété de transmission.

La rapidité de la diffusion dans les fluides doit être rapportée aux lois de l'hydrostatique ; mais la chaleur se propage dans le vide et les fluides élastiques d'une manière particulière. C'est ainsi que nous recevons celle du soleil et de nos foyers. On distingue ce phénomène sous le nom de *radiation*, et le calorique prend le nom de *rayonnant* (*).

On peut, dit le comte de Rumford, s'assurer de plusieurs manières de l'activité de ces rayons ; mais une des plus simples et des plus convaincantes consiste à tenir la main ouverte à quelque distance d'un foyer. D'abord la chaleur est à peine sensible ; mais à mesure qu'on s'approche, la sensation devient plus vive, et elle ne tarde pas à devenir tout-à-fait insupportable (**).

On a long-temps considéré comme une seule et même chose la chaleur et la lumière solaires ; mais Herschel a prouvé que la lumière blanche est un mélange de rayons calorifiques et lumineux qu'on peut parfaitement séparer au moyen du prisme. Les premiers sont, quoiqu'à un moindre degré, susceptibles comme les deuxièmes, de réflexion et de réfraction ; c'est proba-

(*) Essai de Rumford, vol. 2, pag. 47.

(**) Dalton, pages 100, 101, 102.



blement à cette différence dans l'intensité d'effet, qu'est due la séparation qu'ils éprouvent. La vitesse de la chaleur rayonnante est inconnue; il est probable qu'elle est la même que celle de la lumière. Des charbons en ignition ou tout autre corps échauffé rayonnent de la chaleur capable de se réfléchir au foyer comme celle qui provient du soleil, mais elle ne paraît pas avoir assez d'énergie pour pénétrer le verre ou les autres corps transparens de manière à se refracter à un foyer efficace (*).

Le docteur Hoffmann semble être le premier qui ait rassemblé dans un foyer la chaleur invisible d'une étuve par la réflexion d'un ou de plusieurs miroirs concaves. Buffon, Saussure, Pictet et King ont ensuite tenté des expériences analogues sur le calorique émis par une pièce de fer ou de l'eau bouillante (**).

Le professeur Leslie a publié, dans ses recherches sur la chaleur, plusieurs faits nouveaux et importans sur la radiation du calorique (***) ; avant de les décrire, il est bon de dire deux mots des instrumens qu'il a employés.

Ce sont des miroirs concaves d'étain dont le

(*) Dalton, pag. 101-102.

(**) Philosophie naturelle d'Young, pag. 637.

(***) Il désigne ce phénomène par le nom de *pulsation*; celui de radiation n'est pas compatible avec sa théorie.

diamètre est de 14 pouces , et des cubes de la même substance de diverses grandeurs ; une des faces est brillante , tandis que les autres sont couvertes de papier à écrire ou d'une couche de noir de fumée. Pour apprécier des variations de températures extrêmement faibles , il a imaginé un thermomètre très-ingénieux qu'il appelle *différentiel* , et qui est décrit dans tous les ouvrages de chimie.

Leslie a trouvé le moyen de faire servir cet instrument à un autre usage en recouvrant une de ses boules avec un tissu de soie très-fin et humide ; il le change ainsi en hygromètre et évalue avec assez de précision l'humidité de l'air ; c'est un service qu'il a rendu aux filatures et à diverses autres manufactures , la plupart de ces fabriques exigeant un certain degré de sécheresse qui varie avec l'objet fabriqué ; ainsi l'impression sur toile ou sur coton se fait dans des chambres sèches, mais le filage et le tissage réussissent mieux dans un air légèrement humide. Le fabricant se guide en observant les effets produits , aussi tout dépend de son coup d'œil, et quelquefois le résultat est endommagé avant qu'il ait pu distinguer l'altération du milieu ambiant. Avec un hygromètre qui serait même peu précis , il noterait les changemens qu'éprouve l'atmosphère , et pourrait à l'instant les corriger. Le même moyen peut être employé



avec succès pour modifier l'atmosphère dans les salles d'hopitaux.

La laine, les grains augmentent sensiblement de poids par l'humidité; cette augmentation peut, sans qu'il y ait de pratiques frauduleuses, s'élever à 10 et même 15 pour 100. Les grains, le papier conservés dans un lieu humide, se gonflent sensiblement dans la même proportion. On peut s'assurer facilement de la présence de cette humidité en mettant l'hygromètre dans une petite cage métallique, et plaçant au-dessus une certaine quantité du grain ou de la laine que l'on veut examiner.

L'application de la chaleur augmente constamment la sécheresse de l'air et sa disposition à se charger d'humidité; cette propriété est si généralement connue, qu'elle sert de base aux procédés employés dans l'évaporation; les séchoirs, par exemple, sont en général construits d'après le principe que la chaleur produit tout l'effet, car on ne laisse presque jamais d'issues pour l'air, et cependant lorsqu'il est chargé d'humidité il ne peut plus remplir l'objet que l'on se propose.

Cette influence de la chaleur pour augmenter la sécheresse de l'air, ou sa disposition à absorber l'humidité, explique un fait remarqué par beaucoup de personnes. Si deux surfaces égales d'eau sont disposées dans la même situation



et dans deux vases de métal ou de porcelaine , le premier peu profond et le deuxième creux : après un certain temps , le dernier aura perdu plus de liquide que le premier ; phénomène contraire à ce que l'on devait attendre. Cet effet est cependant très-facile à expliquer , le vase le moins profond reçoit plus énergiquement les impressions de froid du milieu ambiant ; ainsi le liquide placé dans l'autre est toujours à une température supérieure ; il doit donc plus perdre par l'évaporation.

Tout le monde sait que l'évaporation produit du froid : il suffit , pour prouver ce fait , de citer l'expérience de la congélation de l'eau sous le vide de la machine pneumatique au moyen de l'acide sulfurique.

Ces applications de l'hygromètre nous ont paru nécessaires ; nous reprenons les principaux faits remarqués par M. Leslie.

1°. La quantité de chaleur que rayonne un vase plein d'eau chaude dépend principalement de la nature de la surface extérieure ; s'il est de fer étamé il radie une certaine quantité de calorique ; s'il est recouvert d'une couche de vernis noir , d'une feuille de papier , de verre , etc. , il en émet huit fois autant dans les mêmes circonstances. Quand un côté est recouvert d'une couche de noir de fumée , un autre de papier à écrire , un troisième de verre et que le qua-



tième reste à l'état naturel; le thermomètre différentiel s'élève.

| | |
|-------------------------------|------|
| Pour le côté noir à | 100° |
| Papier | 98 |
| Verre. | 90 |
| Étain | 12 |

2°. Si la boule du thermomètre est couverte d'une feuille d'étain, l'effet n'est plus que d'un tiers de ce qu'il était pour la surface de verre.

3°. Un miroir métallique disposé devant un foyer ordinaire réfléchit dix fois autant de chaleur qu'un miroir de verre de même dimension; ce dernier réfléchit la chaleur par sa surface antérieure et non par la couche de vif argent qui agit presque seule dans le cas de la lumière et de la chaleur solaires. C'est une différence remarquable que présente la chaleur du soleil et celle de nos foyers.

Il paraît donc que les métaux et les autres corps qui sont éminemment disposés à réfléchir la chaleur rayonnante, ne l'absorbent que faiblement; tandis que les vernis noirs, le papier, le verre, etc., sont disposés à l'absorber et conséquemment à la rayonner de nouveau dans des circonstances analogues.

4°. Le calorique rayonnant qui provient de l'eau chaude ne semble pas susceptible d'être



transmis à travers le verre comme le calorique solaire.

5°. Quand on agite dans l'air un corps échauffé, le refroidissement qui provient du mouvement imprimé à ce corps, est proportionnel à sa vitesse (*).

Dalton tire de ses expériences une conclusion contraire aux résultats obtenus par Leslie; suivant lui, la loi sur le refroidissement progressif, ou la loi que la température décroît en progression géométrique pour des accroissemens égaux de temps (**), s'applique aussi-bien aux surfaces vitreuses qu'aux surfaces métalliques. La surface influe cependant d'une manière sensible sur le temps que dure le refroidissement.

Après des recherches longues et pénibles, Leslie conclut que l'effet exercé sur une surface creuse de six pieds de diamètre et pleine d'eau bouillante est comme il suit : dans chaque minute le fluide perd les fractions suivantes de son excès de température : 1°. l'*abduction*, c'est-à-dire la puissance conductrice de l'air, lui en enlève le 524^e; la *récession*, c'est-à-dire le courant perpendiculaire excité par le corps abaissé, le dépouille d'une quantité exprimée par $h \times 21715^\circ$; 3°. la

(*) Dalton, Philosophie chimique, pag. 103, 104, 105.

(**) Dalton, pag. 111.

pulsation ou *radiation* la prive de la 2533^e partie lorsque la surface est métallique, et de huit fois autant si la surface est de papier. Il faut observer que Leslie prétend que l'air se comporte comme un instrument dans la radiation de la chaleur, ce qui est contraire à l'opinion reçue (*). Dalton n'admet pas ces fractions, il détaille ses expériences et continue ainsi :

« Il convient maintenant de rechercher la cause de la différence que les variations de la surface apportent dans les temps du refroidissement. Leslie a prouvé qu'elle n'a pas d'influence quand le corps est plongé dans l'eau. Il semblerait alors que l'émission de la chaleur ne dépend que de la force avec laquelle les substances rayonnent. Le physicien que je viens de citer a démontré par des expériences directes qu'une surface de verre ou de papier émet par ce moyen huit fois autant de calorique qu'une surface métallique ; d'après cela nous pouvons aisément évaluer les portions de chaleur dissipées par le rayonnement, et celles qui sont conduites par l'air atmosphérique ; car, supposons que l'on représente par 1 le calorique qu'émet par cette dernière voie une surface vitreuse ou métallique dans un court espace de temps ; et par X

(*) Dalton, page 106.

celle qui est rayonnée par une surface métallique pendant le même espace de temps; $8X$ sera l'expression de la quantité rayonnée par une surface vitreuse dans le même temps; et d'après le résultat de la dernière expérience, nous aurons :

$$2 : 5 :: 1 + x : 1 + 8x,$$

ou

$$2 + 16x = 5 + 5x, \text{ d'où } x = \frac{1}{13}.$$

» Ce qui donne $\frac{1}{13}$ pour toute la chaleur émise par le métal, et $1 + \frac{8}{13}$ pour celle que le verre abandonne dans le même temps. L'unité exprime la portion perdue par transmission, et la fraction, la portion dissipée par le rayonnement; ainsi une surface métallique cède à l'air atmosphérique 13 parties de chaleur, et en perd seulement 1 par le rayonnement. Une surface vitreuse en cède dans un temps donné 13 par la transmission et 8 par le rayonnement.

» La quantité de calorique que la surface la plus favorable abandonne par le rayonnement n'excède donc pas le quart de la totalité de ce qu'elle en renferme, et celle qui est émise par la transmission n'est pas moindre de 6; cependant Leslie donne pour la première le nombre 0,57, et 0,43 pour la dernière, parce qu'il a trouvé que la disproportion dans les temps du refroidissement des





Surfaces vitreuses et métalliques est plus considérable que celle que j'avais assignée dans les degrés inférieurs de l'échelle. »

Les conséquences les plus immédiates de cette doctrine dans la pratique sont : 1°. que dans tous les cas où il convient de retenir la chaleur le plus long-temps possible, il faut employer les vases métalliques les mieux polis. 2°. Toutes les fois qu'il s'agit de refroidir un corps aussi promptement que possible, le vase, s'il est métallique, doit être recouvert d'une couche de vernis, d'une feuille de papier, de charbon, de quelques matières animales ou végétales.

Leslie ayant reconnu dans la première partie de son ouvrage que les corps diffèrent beaucoup dans leur puissance de projection, d'absorption et de réflexion de la chaleur; a fait une série d'expériences pour déterminer les limites de cette différence. Il a reconnu que les qualités chimiques de la surface qui émet, exercent une influence considérable, ainsi que le prouve le tableau suivant.

L'effet d'une couche de noir de fumée étant représenté par 100, celui d'une surface brillante d'étain sera 12
 du fer ou de l'acier 15
 du mercure 20

Tous les oxides agissent avec plus d'énergie à mesure qu'ils s'éloignent de l'état métallique.

Le plomb net, mais brut, étant . . . 19

Le plomb terni par l'exposition à l'air
sera 45

Le plomb noir, ou la plombagine. . . 75

Le plomb rouge, ou le minium. . . . 80

La colle sèche, ou la gélatine. . . . 80

La cire, la résine, le papier. . . . 98

La glaise 85

Lorsque le poli n'est pas naturellement considérable il diminue l'action ; ainsi l'étain martelé ne propage la chaleur qu'avec une intensité, moitié moindre que celle qu'il possède dans son état ordinaire. Les aspérités du verre cependant, n'accroissent pas la puissance avec laquelle il projette la chaleur. On double celle de l'étain en rayant ce métal dans une direction quelle qu'elle soit. Cet effet remarquable ne peut être attribué à l'augmentation de surface, parce que cette augmentation est exactement compensée par l'accroissement d'obliquité, c'est un fait que les expériences de Leslie ont établi ; en outre les stries pratiquées dans un sens détruisent à peu près tout l'effet de celles qui ont été pratiquées dans un autre (*).

(*) Leslie, sur la chaleur, pag. 78, 85.





L'épaisseur de la surface radiante a une grande influence sur l'intensité du rayonnement : une légère couche de gélatine produit un effet comme 26, une couche épaisse comme 42 ; lorsque l'épaisseur excède $\frac{2}{1004}$ de pouce, une nouvelle couche ne produit aucun effet.

Leslie pense que ces différences sont dues aux circonstances qui modifient les corps, telles que la dureté, la mollesse ; et en effet, la présence de l'humidité, et plus encore l'addition d'une substance mucilagineuse augmente considérablement l'action d'une surface peinte en noir.

M. Leslie doute si la couleur influe sur les pouvoirs de projection ou d'absorption du calorique.

En général, le pouvoir réfléchissant est en raison inverse du pouvoir absorbant et du pouvoir émissif ; mais plusieurs circonstances démontrent que cette loi n'est pas générale.

M. Leslie a cherché à déterminer les diverses circonstances qui peuvent modifier le refroidissement des corps. Lorsque la surface est recouverte d'une couche de matière peu conductrice, le temps de refroidissement est en raison de l'épaisseur de la couche. Ce principe sert de fondement aux vêtemens naturels ou artificiels, et à la méthode de recouvrir les tuyaux de vapeurs, d'enveloppes peu conduc-

trices pour s'opposer à la dispersion de la chaleur ; mais, en général, l'enveloppe exigée doit être épaisse, et M. Leslie assure qu'une surface exige trois replis de flanelle pour que son pouvoir rayonnant soit détruit.

L'influence d'un fluide très-rare, tel que l'air sur le refroidissement, est assez remarquable ; bien que, généralement, on ne puisse la calculer facilement. On dispose une série de vases cylindriques creux, emboîtés les uns dans les autres et dans le plus petit desquels on verse de l'eau bouillante. Chacun des vases doit être dégagé du contact avec le suivant ; en le disposant sur des pointes, le temps du refroidissement augmentera régulièrement avec l'épaisseur de la couche d'air, jusqu'à ce que cette épaisseur excède un quart de pouce : l'effet sera alors réduit au seizième de ce qu'il était d'abord. Au delà de cette limite, le décroissement n'est plus sensible ; car dans celle-ci l'espace est assez considérable pour permettre à l'air de se mouvoir, ce qui compense pleinement la distance croissante de la communication. Une limite si étroite doit évidemment diminuer d'une manière sensible l'influence de cette action. La propriété de l'air confiné, pour retarder le refroidissement, est donc fondée sur un principe peu ordinaire et qui n'a pas encore été l'objet de recherches. Cet effet est puissamment augmenté par une



série de vases concentriques ; cependant un sujet si curieux par lui-même , et si important sous le rapport de l'économie , a été négligé ou traité d'une manière vague et superficielle. On a fait à cet égard des recherches qui ont été dirigées sous ces trois points de vue : 1°. Lorsque la surface du vase interne est métallique , ainsi que celles des vases qui le renferment ; 2°. lorsque ces surfaces sont peintes ou de verre ; 3°. lorsqu'elles sont formées de ces diverses matières.

1°. Lorsque toutes les surfaces qui limitent l'air intérieur ou extérieur sont métalliques.

Supposons le vase interne, que j'appellerai A, assez grand pour regarder sa surface comme sensiblement égale à celle du vase extérieur B. Ce dernier est séparé du premier par un court espace. Après que l'équilibre sera formé , le vase B recevra autant de chaleur de A qu'il en enverra dans l'atmosphère ; car il sera aussi supérieur en température à l'air extérieur qu'inférieur à l'air renfermé. Mais cet air confiné aura évidemment une température qui sera la moyenne des deux enveloppes ; on peut regarder par conséquent la chaleur de la chambre comme nulle. La température de la surface B doit être égale à la moitié de la différence entre cette même température et celle du vase A , ou au tiers de cette quantité. Ainsi, le vase A enve-



loppé dans un autre vase se refroidira trois fois plus lentement que s'il était exposé à l'air ambiant. Admettons que le vase intérieur soit à 30° , la surface du vase externe sera 10° ; la moyenne arithmétique sera $\frac{30 + 10}{2}$ ou 20° , ce sera la température de la couche d'air enfermé.

Admettons actuellement un vase C qui enveloppe le vase B ci-dessus; la température moyenne de l'air qu'il contient est égale à la différence de celle de l'air renfermé dans le premier vase; et l'une ou l'autre de ces mesures est égale à l'excès de la chaleur centrale sur celle-ci; c'est-à-dire que le vase externe aura une température qui sera le cinquième de celle du vase central échauffé, et conséquemment le refroidissement devient cinq fois moins rapide par l'addition du vase. Ainsi, admettons que la chaleur centrale soit 25° , celle du premier vase sera 15° , celle du deuxième sera 5° ; la température moyenne de la couche d'air la plus intérieure sera 20° , et la température de la couche moins interne 10° . Le vase le plus chaud projettera une chaleur, comme 5° ; le suivant recevra cette chaleur, la renverra à la couche d'air contiguë, et le vase externe absorbera cette chaleur, pour la renvoyer dans l'air ambiant.

En suivant ce raisonnement on montrerait

facilement que le vase intérieur ayant trois enveloppes, se refroidirait sept fois moins rapidement. En général la diminution est égale au double des enveloppes plus un : elle peut donc être représentée par la série des nombres impairs 3, 5, 7, 9, 11, 13, etc., etc. Ce résultat paraît suffisamment exact, lorsque le vase central a des dimensions considérables, par exemple, lorsqu'il a un pied de diamètre, et que l'intervalle entre les cases ne dépasse pas un demi-pouce (*).

Expérience.

1°. Un vase cylindrique d'étain, de deux pouces de diamètre et de la même hauteur, rempli d'eau bouillante, prend 117' pour se refroidir de 30° à 10° ; mais si on l'enveloppe d'un autre vase cylindrique de quatre pouces de diamètre, il demande 176' pour se refroidir de la même quantité.

2°. Un autre vase de quatre pouces et qui prit 156' pour se refroidir de 20° à 10°, demandait 356' lorsqu'il était enveloppé d'un cylindre de 5 pouces ; mais si l'intervalle était rempli avec de la farine, le temps exigé n'était plus que 324'. 3° Un vase carré de trois pouces qui se refroidissait de 20° à 10° en 117', prit 335' pour

(*) Leslie, sur la chaleur, pag. 373, 378.

se refroidir de la même quantité lorsqu'il était enveloppé de deux vases semblables de 4 à 5 pouces (*).

La deuxième partie de notre problème embrasse le cas où le vase et ses enveloppes sont recouverts de couches ou en verre. Cette circonstance modifie le résultat ; si deux surfaces de cette nature , échauffées inégalement , sont en regard , elles n'agiront pas comme les surfaces métalliques , qui se comportent comme si elles étaient isolées ; leur énergie pulsatoire exercera une influence pour accélérer l'équilibre : si leur étendue est grande , comparativement à leur distance , presque toutes les pulsations dispersives opposées seront interceptées et reçues des deux côtés. Mais quand la différence de température est peu marquée , le refroidissement est à peu près la moitié de ce qu'il est dans l'état ordinaire de communication ; ainsi les surfaces vitreuses ou couvertes de couches , émettront ou absorberont la chaleur , environ moitié plus rapidement que si elles étaient placées l'une et l'autre au-delà de leur sphère d'action , mais enveloppées de l'air renfermé.

Si l'une des surfaces est entièrement environnée par l'autre , il est évident que l'extérieure recevra toutes les pulsations divergentes , et si

(*) Leslie , sur la chaleur , pag. 380 , 381.



l'intérieure n'est pas très-sensiblement plus petite, elle interceptera à son tour celles qui sont réciproquement convergentes. (*)

Le dernier problème est relatif au cas où les surfaces métalliques et non métalliques sont indistinctement mêlées. Les combinaisons qu'elles présentent sont trop nombreuses, nous n'en considérerons que trois.

1°. Supposons le vase principal peint et enveloppé dans un vase d'étain brillant.

Si le pouvoir réfléchissant de ce vase est entier, les progrès du refroidissement seront les mêmes que si le vase principal avait son lustre métallique; car la pulsation du calorique deviendra nulle, elle sera complètement renvoyée à sa source par le deuxième vase, et réabsorbée par la surface du principal. L'effet sera donc comparativement beaucoup plus grand que dans aucun des cas précédens. Cependant l'absorption partielle de l'étain modifie sensiblement ce résultat; il est évident que la température moyenne de l'air renfermé se déterminera comme précédemment. Mais pendant qu'une surface métallique polie émet neuf parties de chaleur, une surface peinte en émet seize. Par conséquent des seize parties dispersées par le vase principal, il n'y en a réellement que dix

(*) Leslie, sur la chaleur, pag. 385, 386

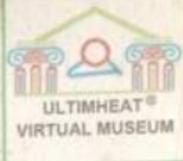
effectives, le surplus est absorbé par la surface intérieure du deuxième vase. Conséquemment la température de la surface extérieure doit être supérieure à la moyenne de la différence interne, pour être capable de disperser l'excès de chaleur qu'elle reçoit dans un espace libre.

Supposons actuellement la position inverse, c'est-à-dire la surface du vase principal polie, et les surfaces interne et externe du deuxième peintes, celui-ci absorbera à la surface interne dix parties de chaleur dont se déchargera réellement le vase principal; mais, avec la même différence de température, il en perdrait seize parties dans l'atmosphère libre (*).

Il serait superflu de continuer ce sujet, les exemples donnés sont suffisans pour expliquer les divers modes de recherches. Lorsque l'on emploie plusieurs vases qui alternent, en verre et en métal, l'effet est à peu près le même que s'ils étaient tous métalliques; mais l'influence générale dépend principalement de la qualité des surfaces externes. Pour les mêmes raisons, celles qui sont vitreuses ou peintes ont beaucoup moins de pouvoir pour retarder les progrès du refroidissement lorsqu'elles sont en contact, que si elles sont séparées.

On pourrait déterminer aussi facilement les

(*) *Ibid.*, pag. 390, 391, 392.



progrès du refroidissement que l'on obtient par l'immersion de l'appareil dans une masse liquide ; la dispersion de chaleur par rayonnement est actuellement arrêtée , la nature de la limite extrême n'aura aucune influence sur la mesure de l'effet. Ce résultat dépend entièrement de la qualité , de la position et du nombre des surfaces internes (*). Un vase cylindrique d'étain , de trois pouces de diamètre et d'autant de haut , qui mit dans l'air tranquille 117' à se refroidir de 20° à 10° , demandait 249' pour le même effet s'il était renfermé exactement dans un cylindre semblable de quatre pouces ; mais seulement 185' si le tout était plongé dans un baquet d'eau. Le même vase peint se refroidissait en 61' dans une chambre fermée , en 98' entouré d'un vase peint , et en 64' s'il était plongé dans l'eau.

Dans tous ces exemples , le vase principal et les vases accessoires étaient séparés les uns des autres par des intervalles d'un demi-pouce. Si les espaces sont moins grands , l'effet général est modifié ; car les couches successives d'air interposé diminuent en épaisseur , perdent une partie de leur mobilité intérieure , et commencent à transmettre la chaleur à la manière des corps solides. Dans ce cas , non-seulement la

(*) Leslie , pag. 394.



fluidité du gaz est restreinte, mais le pouvoir de transmission s'accroît, puisque le passage est plus étroit; la gradation de température est conséquemment plus rapide. Il résulte de ces faits, que la transmission croît plus rapidement que les couches ne se contractent. Ainsi, un cylindre d'étain de trois pouces en diamètre et en hauteur, placé dans un autre cylindre de quatre pouces, se refroidit d'environ $\frac{1}{6}$ plus rapidement s'il est amené du milieu du vase à environ un quart de pouce du fond, et environ $\frac{1}{9}$ plus rapidement s'il est placée à $\frac{1}{8}$ de pouce de cette limite. Nous pouvons admettre qu'une couche d'air de $\frac{1}{4}$ de pouce transmet à travers sa masse environ la sixième partie de la chaleur qu'elle peut communiquer par le moyen ordinaire, et si cette épaisseur est réduite de moitié, elle en transmet environ la même quantité des deux manières.

Pour estimer plus rigoureusement les progrès de cette transmission interne, Leslie prit un autre cylindre intermédiaire d'étain avec un couvercle mobile, et de trois pouces trois quarts de diamètre. Le cylindre de trois pouces placé dans ce vase, son rapport de refroidissement se réduit à $\frac{7}{15}$; mais le calcul donne $\frac{45}{97}$; la différence est $\frac{4}{1455}$; l'influence accélérante qui résulte d'un intervalle de $\frac{3}{8}$ de pouce est conséquemment très-petite. Les diamètres des cylindres sont comme 4 et 5,

et leur surface comme 16 et 25; conséquemment la température du vase intérieur étant exprimée par l'unité, celle du vase extérieur est $\frac{7}{15} \times \frac{16}{25} = \frac{112}{375}$, la différence est $\frac{263}{375}$; ainsi la température du vase intérieur dépasse celle de la couche d'air intermédiaire de $\frac{25}{25 + 16} \times \frac{263}{375} = \frac{160 \frac{15}{41}}{375}$. Cette fraction exprime la mesure ordinaire de communication; mais le refroidissement est $\frac{7}{15}$ ou $\frac{175}{375}$, par conséquent $\frac{14 \frac{36}{41}}{375}$, ou la douzième partie du tout environ est disséminée à travers la couche d'air par transmission passive.

Lorsque le cylindre intermédiaire est renfermé dans un cylindre de quatre pouces, l'intervalle qui les sépare n'est que $\frac{1}{8}$ de pouce, la déviation paraît croître rapidement. Le rapport du refroidissement, au lieu d'être $\frac{17}{47}$, était réduit à $\frac{17}{26}$, les surfaces opposées étant :: 225 : 256, ou environ :: 15 : 17. La température de la surface extérieure est $\frac{17}{26} \times \frac{15}{17} = \frac{15}{26}$, et conséquemment le vase intérieur doit surpasser en température la couche d'air qui est interposée, de $\frac{11}{26} \times \frac{17}{32}$



$\frac{187}{852}$. Ce nombre indique la dispersion ordinaire de chaleur ; mais la perte réelle est $\frac{17}{26} = \frac{544}{852}$, qui est environ le triple de la première. Ainsi, lorsque la couche d'air a $\frac{1}{8}$ de pouce d'épaisseur ; sur 31 parties de chaleur, 10 sont enlevées par le procédé général, et 21 par communication tranquille.

Une approximation encore plus forte, et enfin le contact immédiat du vase intérieur avec l'extérieur, n'a pas seulement une influence négative pour retarder le refroidissement ; il accélère encore la dispersion de la chaleur, puisqu'il occasionne un accroissement de surfaces. Un vase d'étain de 2 pouces carrés se refroidit moitié plus lentement lorsqu'il est placé dans l'intérieur d'un vase de 4 pouces ; mais s'il est en contact avec trois côtés de ce deuxième vase, il se refroidit trois fois plus vite que dans le premier cas, car ses côtés ayant la même température que le vase principal, et présentant une étendue double de surface, l'action réfrigérante se double, sans parler des autres côtés, qui ajoutent au moins une moitié en sus.

Les remarques que nous venons de faire nous conduisent à conclure qu'il est nécessaire que les vases soient parfaitement détachés et isolés. Le temps des refroidissemens dépend de l'état

thermométrique de la surface extérieure. Mais les métaux conduisent très-bien la chaleur, aussi un contact partiel suffit pour produire une diffusion presque égale. On peut en déduire plusieurs applications pratiques fort utiles. M. Leslie a proposé de conserver la glace, en l'enfermant dans plusieurs vases emboîtés les uns dans les autres. On a employé cette propriété pour conserver la fraîcheur des liquides dans les climats chauds; le même principe pourrait servir à empêcher la congélation de l'eau qui coule dans des tuyaux : il suffirait de les encaisser dans des cylindres d'étain, en laissant tout autour l'espace d'un pouce environ. Il est inutile d'insister sur l'utilité que l'on pourrait retirer de ces principes dans la construction des machines à vapeur.

Ces expériences ont été répétées par M. Tredgold. Voici les résultats auxquels il est parvenu.

1°. Dans les tuyaux ou vases d'une épaisseur peu considérable et remplis de vapeurs, l'effet de la chaleur est constant lorsque les tuyaux sont les mêmes, et lorsque l'excès de température reste égal, c'est-à-dire que la quantité de chaleur émise dans un temps donné est toujours la même.

2°. Si les tuyaux et vases sont de même nature, et si la température de l'air s'élève, ou si la surface émettant de la chaleur change de température, la chaleur dégagée dans un temps



donné, sera en rapport direct avec l'excès de température de la surface. Cette loi du refroidissement est simple et suffisamment exacte ; elle fut annoncée par Newton en 1701. Le docteur Martini l'attaqua en 1730 ; mais Krafft et Richmann l'ont vérifiée pour les basses températures ; des expériences analogues ont été depuis faites par Leslie , Dalton , et autres. Toutes ces recherches paraissent prouver que dans les limites de 100° c., on peut regarder cette loi comme exacte. MM. Dulong et Petit ont publié dernièrement sur les lois du refroidissement , un mémoire qui tend à prouver que la loi de Newton n'est exacte que pour les différences de température comprises dans certaines limites.

3°. Si la matière des tuyaux varie , la quantité de chaleur émise varie également ; mais il est évident que cette quantité prise dans un temps donné est en raison directe de la surface, lorsque les tuyaux sont de forme semblable ; puisque l'action de la vapeur n'est pas égale pour tous les points de la surface d'un tuyau , la partie supérieure étant plus chaude que la partie inférieure. Nous pouvons cependant , sans erreur bien sensible , considérer l'effet comme proportionnel à la surface.

Les expériences suivantes ont été faites avec de l'eau chaude. On remplissait un cylindre de ce liquide , on examinait le temps du refroi-

dissement, de manière à avoir deux mesures de l'effet produit ; la première directement par l'observation, et la deuxième par la loi du refroidissement. Les cylindres étaient en fer ouvré, en fer étamé, en verre, et aussi égaux que possible. Le bouchon, qui s'adaptait à tous, était en étain, et couvert à un pouce d'épaisseur avec des couches alternatives de coton et de flanelle, de sorte que la perte de chaleur était insensible. La tige des thermomètres passait à travers le bouchon, et la boule était au centre du cylindre. Le thermomètre était lui-même suspendu par des fils de coton. Le refroidissement était évidemment en raison du nombre de degrés observés dans une minute. On remplissait le cylindre d'eau bouillante, on laissait refroidir à $82^{\circ},8$ et on comptait les secondes jusqu'à $82^{\circ},2$ ou $81^{\circ},7$. On observait également le temps des refroidissemens de $82^{\circ},2$ à $65,5$.

Première expérience. Cylindre de fer étamé légèrement terni, dont la surface était de 79 pouces carrés : la quantité d'eau ajoutée à l'équivalent de la chaleur spécifique du cylindre était 62,28 pouces cubes. La température de la chambre est restée à $12^{\circ},8$ pendant l'expérience.

Ce cylindre, se refroidissait de $82^{\circ},8$ à $81,7$ en 158 secondes ; nous pouvons donc estimer que la perte de la chaleur est de $0,4177$ par minu-

te, lorsque l'excès de température est $82^{\circ},8-12,8$, ou 70° . Le temps du refroidissement de $82^{\circ},2$, à $65^{\circ},5$ était 46 minutes, donc la perte est de $0,363^{\circ}$ par minute. Lorsque l'excès de température est 70° , les deux modes donnent à peu près un résultat semblable, et le nombre constant qui en résulte est $0,0004$; dans une autre expérience le nombre constant était $0,00043$; la moyenne de toutes ces expériences est environ $0,0041$.

Deuxième expérience. Cylindre de verre dont la surface était 71 pouces carrés, et l'eau ajoutée à la quantité équivalente de la chaleur spécifique du cylindre, 61,2 pouces cubes; la température de la chambre était 13,6 pendant l'expérience.

Le refroidissement de $82^{\circ},8$ à $81,7$ s'opérait en 109 secondes, ce qui donne une perte de chaleur de $0,6055$ par minute, lorsque l'excès de température est $81^{\circ},7 - 13,6 = 68,1$. Le refroidissement de $81^{\circ},7$ à $65,5$ s'opérait en 31 minutes $\frac{1}{2}$, ce qui donne $0,5173$ par minute, l'excès de température étant $68^{\circ},1$. Le nombre constant est $0,000638$; un deuxième essai donna $0,000615$, un troisième $0,00066$; la moyenne est $0,000639$.

Troisième expérience. Cylindre en fer travaillé, recouvert d'une croûte noire, comme celui qui sort des manufactures. La surface était de 76,7 pouces, et l'eau ajoutée à la quantité





équivalente à la chaleur spécifique de 61,7 pouces cubes ; pendant l'expérience , la température de la chambre était 14°.

Le refroidissement de 82,8 à 81,7 s'effectuait en 101 secondes. ce qui donne 0,6543 par minute lorsque l'excès de température est 82,8 — 14 = 68°,6, le refroidissement de 82°,2 à 65,5 eut lieu en 29 minutes, ce qui donne 0,5689 pour chaque minute. Lorsque l'excès de température est 68°,2 le nombre constant, calculé d'après ces expériences, est 0,000656. Quelques jours après, le cylindre avait perdu sa couverture noire, et présentait une surface brune rouillée. Dans cet état, la moyenne des deux expériences donna 0,0006315 pour le nombre constant ; la surface du fer ressemblait assez à celle de la fonte , et nous prendrons 0,000738 pour la base des principes énoncés plus bas.

Ces expériences comparatives donnent les nombres suivans comme points de refroidissement.

| | |
|---|-----|
| Fer étamé | 100 |
| Verre | 155 |
| Fer en barres avec une couverture noire . | 156 |
| Fer en barres un peu rouillé. | 180 |



Du refroidissement des corps dans diverses espèces de fluides élastiques.

La capacité de l'air augmente avec sa raréfaction, de là le froid que l'on remarque dans les hautes régions de l'atmosphère (*). Cette température est donc en raison inverse de la capacité de l'air. M. Leslie s'étant assuré par des expériences délicates que la loi que suit la capacité de ce gaz, est en raison de sa raréfaction : il était facile de donner la graduation du froid dans l'atmosphère, et même de marquer avec précision le point où règne une congélation perpétuelle. Sous l'équateur, la limite de la région glacée commence à la hauteur de 4630 mètres ; dans un parallèle de 45° à 2370, à la latitude de Londres 2320 ; à celle de Stockholm 1180, tandis que vers le pôle elle se trouve à la surface.

Il existe un autre principe qui exerce son influence dans un milieu aériforme. Ce principe dépend de la nature de la surface chauffée. Nous avons vu qu'une surface polie émet peu de chaleur, tandis que la surface vitreuse, et mieux encore celle de papier, en émet abondamment. Si l'on prend deux boules d'argent brillantes, min-

(*) Leslie, pag 11.

ces , l'une nue , et l'autre couverte d'une toile ; si on les emplit d'eau légèrement chaude , et qu'on les suspende dans une chambre fermée , la première cèdera 11 parties de sa chaleur , tandis que l'autre en perdra 20 ; 10 sont dissipées par la communication ordinaire de l'air , dont les molécules s'échauffent et se dispersent ; le reste , c'est-à-dire une partie pour la surface métallique nue , et 10 pour la surface revêtue , sont rayonnées à travers le milieu ambiant. Cette énergie de pulsation est même assez sensible. Si on remplit d'eau bouillante une carafe de verre ou un vase de porcelaine , la main reçoit une sensation remarquable de chaleur , tandis que , si le vase est d'argent , elle n'est pas appréciable , ou ne le devient qu'au contact.

Si la boule d'argent est recouverte d'une membrane très-mince , comme celles qu'employent les batteurs d'or , qui n'excède pas $\frac{1}{3000}$ de pouce , le pouvoir de dispersion augmente de 1 à 7. Si on ajoute une deuxième feuille , le pouvoir croît de 7 à 9 , ainsi de suite jusqu'à la cinquième. L'effet s'arrête lorsqu'il est arrivé à 10 ; dans ce cas la surface métallique est privée de contact avec l'air , et ne peut agir que par son voisinage de la limite extérieure. Nous pouvons donc en conclure que l'air ne vient jamais en contact avec la surface , mais qu'il approche plus près des verres ou du papier que du métal



poli ; il est séparé de ce dernier par un intervalle d'au moins $\frac{6}{500}$ de pouce. Ainsi une surface vitrée, par son voisinage plus immédiat avec l'air, doit émettre la chaleur plus abondamment et plus énergiquement qu'une surface de métal placée dans les mêmes circonstances, et le métal à une certaine épaisseur peut agir, en diminuant le pouvoir de l'autre ; car lorsque l'on applique une pellicule, la surface métallique placée au-dessous repousse partiellement l'atmosphère limitante, et réduit à 7 l'action de la chaleur qui eût été 10. L'influence du métal est sensible, même sous quatre couches, ou à $\frac{6}{750}$ de sa surface.

Le refroidissement des corps varie avec la nature du fluide élastique dans lequel ils sont plongés. M. Leslie est le premier, je crois, qui a fait cette remarque. Il nous a donné le résultat de ses expériences sur l'air, les gaz hydrogénés de densité ordinaire, et même raréfiés à divers degrés. M. Buchanan a consigné dans la table suivante les pouvoirs refroidissans de plusieurs gaz.

Le thermomètre plongé dans

| | se refroidit en |
|---|------------------|
| L'acide carbonique | 112 secondes. |
| L'hydrogène sulfuré, le protoxide d'azote, le gaz oléfiant. | 100 <i>idem.</i> |

| | |
|---|-----------------|
| L'air ordinaire, l'azote, l'oxi- gène. | 100 secondes. |
| Le gaz nitreux. | 90 <i>idem.</i> |
| L'hydrogène carboné, ou gaz du charbon | 90 <i>idem.</i> |
| Hydrogène. | 40 <i>idem.</i> |

L'air condensé refroidit les corps plus rapidement que l'air pris à la densité ordinaire. Voici les résultats des expériences de M. Buchanan.

| Densité. | Thermomètre se refroidit en |
|--------------------------|-----------------------------|
| 2 | 85 secondes. |
| 1 | 100 <i>idem.</i> |
| $\frac{1}{2}$ | 116 <i>idem.</i> |
| $\frac{1}{4}$ | 128 <i>idem.</i> |
| $\frac{1}{3}$ | 140 <i>idem.</i> |
| $\frac{1}{16}$ | 160 <i>idem.</i> |
| $\frac{1}{32}$ | 170 <i>idem.</i> |

SECTION V.

DE L'ÉBULLITION.

Le mouvement intérieur que produit dans une masse liquide la conversion successive en vapeurs des parties qui avoisinent les parois du vase constitue l'ébullition. L'application de la chaleur n'est pas indispensable à la produc-

tion de ce phénomène, il suffit en effet de soustraire un liquide à la pression atmosphérique, pour qu'il entre sur-le-champ en ébullition. C'est ainsi que de l'eau chaude placée sous le récipient de la machine pneumatique bout après quelques coups de piston. Le terme de l'ébullition est donc extrêmement variable. Il n'en est pas ainsi de celui de la fusion : il reste constamment le même dans chaque substance. Tout liquide placé dans les mêmes circonstances entre en ébullition à une température fixe ; c'est ce que l'on appelle le point d'ébullition du liquide. Ainsi l'eau bout à 212° F, 100 C, 80 R. Une chose bien remarquable est que, passé ce point, le liquide cesse de s'échauffer, et ne s'élève plus en température, à quelque chaleur qu'on l'expose. Le seul effet que produise un feu plus intense est de rendre l'ébullition plus vive. C'est le docteur Hooke qui le premier fit cette observation.

Table du point d'ébullition de plusieurs liquides.

| | Fabr. | cent. |
|---------------------------|-------|-------|
| Éther | 98° | 37° |
| Ammoniaque. | 140 | 60 |
| Alcohol. | 176 | 80 |
| Eau. | 212 | 100 |
| Muriate de chaux. | 230 | 110 |
| Acide nitrique | 248 | 120 |



DE LA CHALEUR

| | Fabr. | Réaum. |
|------------------------|-------|--------|
| Phosphore | 554 | 290 |
| Huile de térébenthine. | 560 | 194 |
| Soufre | 570 | 299 |
| Acide sulfurique . . . | 590 | 310 |
| Huile de lin. | 600 | 316 |
| Mercure | 660 | 350 |

D'après les expériences du professeur Robinson tous les liquides bouent dans le vide à 80°, au-dessous du point où ils entrent en ébullition, dans l'air et sous une pression de 30 pouces de mercure : ainsi ce phénomène a lieu pour l'eau à 20°, pour l'alcool à 1°,5. Au moyen du digesteur de Papin on peut porter l'eau à 150° et même 220° sans qu'elle entre en ébullition ; mais, à l'instant où l'énorme pression qu'elle supporte est détruite, elle bouillonne avec une violence extrême et descend à 100°.

L'influence opposée que la chaleur et la pression atmosphérique exercent sur la constitution des liquides peut être rendue extrêmement sensible par l'expérience suivante. Prenez une fiole à médecine ; chauffez-la peu à peu, afin d'éviter la rupture, remplissez-la ensuite d'eau bouillante, bouchez-la avec soin et exposez-la à un courant d'air froid. L'eau se contracte à mesure qu'elle se refroidit, et laisse une espace vide dans la partie supérieure de la fiole ; elle ne



supporte plus qu'une légère pression atmosphérique : aussi se met-elle sur-le-champ en ébullition , et bout-elle avec d'autant plus de force qu'elle s'est plus refroidie. Ce phénomène, si opposé aux idées reçues, dure quelquefois une demi-heure , et ne cesse que lorsque le liquide s'est abaissé à la température du corps humain (*).

La pression exerce donc une grande influence dans la production du phénomène ; aussi le point d'ébullition varie-t-il suivant l'état de l'atmosphère , et diffère-t-il beaucoup suivant les lieux. En Angleterre , par exemple , l'ébullition sous une pression moyenne a lieu à 100° , tandis qu'à Munich elle a lieu à 98° ; à Quito , qui est à une hauteur considérable , elle commence beaucoup plus bas. On s'est même servi de cette propriété pour déterminer l'élévation de divers lieux au-dessus de la mer.

Lorsque la chaleur est appliquée à la partie inférieure d'un vase plein d'eau , les molécules aqueuses qui se trouvent en contact avec les parois , s'échauffent , deviennent spécifiquement plus légères , et s'élèvent à la surface où elles se disposent en couches horizontales suivant les degrés respectifs de température où elles sont

(*) Encyclopédie de Rée , vol. IV, 2^e. partie.



parvenues; ainsi l'échauffement s'opère d'une manière rapide de bas en haut; mais la transmission de la chaleur en sens contraire est si lente et si peu considérable, que le comte de Rumford avait conclu qu'elle n'a pas lieu du tout. Les couches d'une masse d'eau échauffée de bas en haut ont des températures diverses, et le centre du vase participe plus de celles du fond que de celles du sommet. Elles suivent une progression presque arithmétique, et Leslie s'est assuré qu'elles varient d'environ un demi-degré pour dix pouces de profondeur; ainsi, quand elle est de 100° à la surface, elle est de 100°,5 à 10 pouces au-dessous, de 101° à 20 pouces, etc. De l'eau exposée à l'action du feu s'échauffe jusqu'à ce qu'elle bouille; mais, parvenue à ce point, elle n'augmente plus de température et toute la chaleur qu'elle reçoit est employée à la convertir en vapeurs. La seule différence, comme nous l'avons dit, que produise un feu plus vif consiste à la faire bouillir plus tôt et avec plus de force: c'est pour cela qu'un vase rempli d'eau et immergé dans un autre vase plein du même liquide, n'acquiert qu'avec peine la température de l'ébullition et ne bout jamais.

Il résulte de là que la température d'un vase est d'autant plus considérable que ce vase est plus profond. Le terme de l'ébullition s'élève davantage pour peu que la vapeur éprouve



obstacle à se dégager à mesure qu'elle se forme. Cette circonstance peut influencer, quoique d'une manière légère, sur l'énergie de l'ébullition et la rendre lente ou rapide.

L'attraction chimique fait aussi varier le terme de l'ébullition ; ainsi le sucre, le sel de cuisine et les autres substances salines, accroissent la fixité de l'eau, et retardent l'époque où elle se convertit en vapeur. Une forte dissolution de sel ne bout pas qu'elle ne soit parvenue à plusieurs degrés au-dessus du terme ordinaire. C'est par cette raison qu'un vase rempli d'eau pure et plongé dans une dissolution saline concentrée, bout tandis que le liquide qui l'entoure ne fait que frémir. D'un autre côté, l'addition d'un peu d'alcool rend l'eau plus volatile, et les liqueurs fermentées bouent toujours quand on les distille à une température inférieure à 100° ou à un degré intermédiaire entre le point d'ébullition de l'eau et celui de l'alcool. Les vapeurs spiritueuses qui se forment emportent constamment avec elles des molécules aqueuses (*).

(*) Préface des Leçons de Black, pag. 35.



DE LA CHALEUR

De la vapeur.

On appelle vapeurs les fluides élastiques que le froid ou la pression liquéfient entièrement ; tels sont ceux auxquels l'eau , l'alcool , l'éther , le mercure , donnent naissance. Ces fluides doivent être distingués de ceux qui résistent à ces deux agens, se maintiennent constamment à l'état gazeux , et qui prennent en conséquence la dénomination de gaz.

Nous avons dit qu'en changeant d'état , les corps changent de capacité pour le calorique ; et en effet quand un fluide se transforme en vapeur , il absorbe une quantité de chaleur considérable. Si cette destruction n'avait pas lieu , et que le corps déjà échauffé au point de se vaporiser éprouvât toujours l'action du feu , il en résulterait bientôt une explosion épouvantable. Mais tout le calorique qui se combine avec l'eau passe dans la vapeur , s'unit avec elle , et cesse même d'être sensible au thermomètre , qui se maintient à la même température dans cette vapeur et dans l'eau bouillante. D'une autre part quand on réduit cette vapeur en liquide , elle dégage toute la chaleur dont elle s'était emparée , et l'eau en laquelle elle se résout ne refroidit pas le thermomètre en perdant cette chaleur. Cette grande découverte , qui sert de base à la doctrine de la chaleur latente ,



est due au docteur Black , qui fut aidé dans ses recherches par Watt et Irwine (*) ; aussitôt après M. Watt fit sa première amélioration (en 1764) dans les machines à vapeur.

La combinaison d'une certaine quantité de chaleur avec l'eau qui se vaporise , fut mise hors de doute par les expériences suivantes.

De l'eau placée sur le feu s'échauffe de plus en plus jusqu'à ce qu'elle ait atteint 100° ; mais , arrivée à ce point , quelle que soit la violence avec laquelle le combustible se consume , elle cesse de s'élever en température. Il faut donc que la chaleur se combine avec cette partie du liquide qui se vaporise ; mais la vapeur ne donne que 100° au thermomètre ; le calorique qu'elle a absorbé ne contribue donc à aucune augmentation de température.

Watt mit trois pouces d'eau dans un digesteur de cuivre ; il le ferma , et ne laissa ouvert que la soupape de sûreté. Il le plaça ensuite sur un feu clair de coak , et le fit bouillir pendant une demi - heure. Ayant examiné alors les pertes faites , il trouva qu'il s'était vaporisé un pouce d'eau ; il le remplaça , fit chauffer de nouveau , ferma la soupape dès que l'ébullition se manifesta , et l'entretint encore pendant une demi-heure. La température s'éleva au plus haut degré

(*) Leçons de Black , volume 1 , pag. 60.

au-dessus de l'ébullition ; il retira le vase du feu, le mit sur les cendres, et ouvrit la soupape ; aussitôt la vapeur s'échappa avec une grande violence et un sifflement considérable qui dura environ deux minutes. Quand il eut cessé, Watt ferma la soupape et laissa refroidir le vase ; il l'ouvrit ensuite, et trouva qu'il s'était dissipé un ponce d'eau (*).

Black a reconnu qu'en Angleterre il faut, pour vaporiser une petite quantité d'eau, six fois le nombre de minutes nécessaires pour porter cette eau à l'ébullition. Il résulte de là que la quantité de chaleur qui se combine avec la vapeur est six fois égale à celle qui est nécessaire pour porter l'eau à l'ébullition, et M. Watt s'est assuré, par des expériences faites avec le plus grand soin, 1°. qu'il y a une coïncidence parfaite entre la chaleur absorbée et la chaleur dégagée par la vapeur qui se liquéfie ; 2°. que la chaleur qu'on peut obtenir de la vapeur capable de soutenir la pression ordinaire de l'atmosphère, n'est pas moindre de 482° , et ne dépasse pas 510° (**). Des calculs basés sur les expériences de Lavoisier sur la fusion de la glace, donnent un résultat un peu plus fort pour le calorique, que Black appelle *latent*, et le portent à 538° , ou à une quantité

(*) Leçons de Black, vol. 1, p. 175.

(**) *Ibid.*, p. 176.



peut-être un peu supérieure (*). De là la propriété d'échauffer dont la vapeur jouit à un si haut degré, de là aussi la grande quantité de chaleur qui se dégage dans la réfrigération d'un alambic.

Black fait observer que c'est cette énorme quantité de chaleur que contient la vapeur qui la rend si propre aux usages domestiques (**). La vapeur, dit-il, est le moyen le plus avantageux pour transmettre la chaleur, et il l'est d'autant plus, que le calorique ne se répand pas sur les corps dont la température est supérieure à celle de l'eau bouillante (***) .

Toutes les fois qu'un corps au-dessus de 100 est mis en contact avec l'eau bouillante, il lui cède de la chaleur et la vaporise; mais si ce corps est à une température plus basse, il absorbe du calorique, la liquéfie et la condense.

La vapeur peut être condensée par compression mécanique aussi-bien que par le froid.

M. Watt a fait un grand nombre d'expériences pour déterminer le volume que prend un pouce cube d'eau qui se convertit en vapeur, capable de soutenir à 100° la pression atmosphérique. La moyenne obtenue par ces recherches,

(*) *Ibid.*, p. 179.

(**) *Ibid.*, p. 181.

(***) *Ibid.*, p. 176.

tentées les unes directement, les autres déduites du jeu des machines à feu, fut environ 1800 pouces cubes. Un ponce cube d'eau en forme donc à peu près un pied cube (*). Une quantité de vapeur, quelle qu'elle soit, contient une masse de chaleur suffisante pour porter $5 \frac{1}{2}$ fois autant d'eau de 0° à la température de l'ébullition (**).

La basse température à laquelle l'eau bout dans le vide, avait fait penser qu'il serait possible de tirer parti de cette propriété pour la distillation. Watt a même fait une série d'expériences à cet égard; mais il a trouvé qu'il n'y avait pas d'économie à distiller par cette méthode; et en effet, la chaleur latente de la vapeur augmente au moins de la même quantité que la chaleur sensible diminue (***) .

Des expériences sur la vapeur, prise à divers degrés de densité, ont donné lieu à une observation curieuse; c'est que la *même quantité d'eau passe sous forme de fluide élastique dans le même temps par une ouverture donnée*, quelle que soit la densité à laquelle on la considère.

L'élasticité de tous les fluides croit avec la

(*) Leçons de Black, vol. 1, p. 185.

(**) *Ibid.*, p. 190.

(***) Chimie de Thomson, vol. 1, pag 369.



température ; celle de la vapeur d'eau formée en plein air est justement égale à la pression atmosphérique , ou capable de faire équilibre à une colonne de 30 pouces de mercure.

TABLE de la force de la vapeur à diverses températures ().*

| Température. | Force en pouces de mercure. | Température. | Force en pouces de mercure. |
|----------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|
| 0° | 0 | 72° | 9,07 |
| 5,6 | 0,08 | 77,8 | 11,00 |
| 11 | 0,21 | 83,3 | 14,9 |
| 16,7 | 0,38 | 89 | 18,7 |
| 22,3 | 0,58 | 94,5 | 23,7 |
| 28 | 0,87 | 100 | 29,8 |
| 33 | 1,26 | 105,5 | 37,4 |
| 39 | 1,74 | 111 | 46,5 |
| 44,5 | 2,37 | 116,7 | 57,3 |
| 50 | 3,16 | 122 | 69,7 |
| 55,5 | 4,16 | 127,8 | 83,6 |
| 61 | 5,43 | 133,4 | 97,1 |
| 66,7 | 7,00 | 139 | 100,8 |

(*) Bétancourt, Architecture hydraulique.

TABLE des pressions qu'exerce la vapeur à diverses températures sur un tube de mercure, calculées en millimètres; ainsi la vapeur à 100° élève le mercure du manomètre à 760,0 au-dessus de son niveau.

| Température. | Pression en millim. | Température. | Pression en millim. |
|--------------|---------------------|--------------|-----------------------------|
| 1 . . . | 5,0 | 95 . . . | 634,3 |
| 5 . . . | 6,9 | 100 . . . | 760,0 |
| 10 . . . | 9,5 | 105 . . . | 900,0 |
| 15 . . . | 12,8 | 110 . . . | 1060,0 |
| 20 . . . | 17,3 | 115 . . . | 1250,3 |
| 25 . . . | 23,1 | 120 . . . | 1470,0 |
| 30 . . . | 30,6 | 125 . . . | 1710,7 |
| 35 . . . | 40,4 | 130 . . . | 1980,5 |
| 40 . . . | 52,9 | 135 . . . | 2280,5 |
| 45 . . . | 68,7 | 140 . . . | 2630,5 |
| 50 . . . | 88,7 | 145 . . . | 3050,0 |
| 55 . . . | 113,7 | 150 . . . | 3500,0 |
| 60 . . . | 144,7 | 155 . . . | 4000,0 |
| 65 . . . | 182,7 | 160 . . . | 4560,7 |
| 70 . . . | 229,1 | 165 . . . | 5140,3 |
| 75 . . . | 285,1 | 170 . . . | 5780,0 |
| 80 . . . | 352,1 | 175 . . . | 6480,0 |
| 85 . . . | 431,7 | 180 . . . | 7240,0 |
| 90 . . . | 525,3 | 182 . . . | 7600 = 10 at- mosphères. |



Densité de l'eau en vapeur.

| Température. | Pression atmosphérique. | Volume de 1 kil. | Poids de 1 mètr. cube. |
|-----------------|----------------------------|---------------------|---------------------------|
| 165 atmosphère. | 5 | 400 litres. | 2 ^k 500 |
| 160 | 4 $\frac{1}{2}$ | 440 | 2,270 |
| 152,25. | 4 | 486 | 2,062 |
| 145 | 3 $\frac{1}{2}$ | 545 | 1,855 |
| 139 | 3 | 627 | 1,595 |
| 130,50. | 2 $\frac{1}{2}$ | 740 | 1,351 |
| 122 | 2 | 900 | 1,111 |
| 112 | 1 $\frac{1}{2}$ | 1169 | »,885 |
| 100 | 1 | 1700 | »,508 |
| 82 | 0 $\frac{1}{2}$ | 3253 | »,309 |
| 66 | 0 $\frac{1}{4}$ | 6171 | »,162 |
| 51,50. | 0 $\frac{1}{8}$ | 12800 | », 78 |
| 38 | 0,062 | 22600 | » 44,50 |
| 25,50. | 0,031 | 43370 | » 21,90 |
| 12 | 0,0147 | 87880 | » 11,40 |

La vitesse de la vapeur sous la pression d'une atmosphère est de 1814 pieds par seconde ; sous la pression d'un quart d'atmosphère elle est de 550 pieds.

Pression de la vapeur d'eau à 650°.

1^k d'eau réduit en vapeur à la température de 100° = 100° en 1700 litr. = 1 atmosphère.

100° en 1 litr. = 1700 atmosphère.

$$\begin{aligned}
 650^\circ \text{ en X} &= 1700 + \left(1700 \times \frac{550}{367} \right) \\
 &= 1700 (1700 \times 550 \times 4,60) = 1700 + 2530 \\
 &= 4230 \text{ atmosphère.}
 \end{aligned}$$

*TABLE de l'expansion d'un volume donné
d'air de 0° à 100°.*

| Tempér. | Volume. | Tempér. | Volume. | Tempér. | Volume. |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 0° | 1,00000 | 15° | 1,05616 | 30° | 1,11252 |
| 0,6 | 1,00205 | 15,6 | 1,05824 | 30,6 | 1,11440 |
| 1,1 | 1,00416 | 16,1 | 1,06052 | 31,1 | 1,11648 |
| 1,7 | 1,00624 | 16,7 | 1,06240 | 31,7 | 1,11856 |
| 2,2 | 1,00852 | 17,2 | 1,06448 | 32,5 | 1,12064 |
| 2,8 | 1,01040 | 17,8 | 1,06656 | 32,8 | 1,12272 |
| 3,3 | 1,01248 | 18,3 | 1,06864 | 33,4 | 1,12486 |
| 3,9 | 1,01456 | 18,9 | 1,07070 | 34 » | 1,12683 |
| 4,4 | 1,01664 | 19,4 | 1,07280 | 34,6 | 1,12896 |
| 4,9 | 1,01872 | 20 » | 1,07488 | 35,1 | 1,13104 |
| 5,5 | 1,02080 | 20,6 | 1,07696 | 35,7 | 1,13312 |
| 6,1 | 1,02288 | 21,1 | 1,07904 | 36,2 | 1,13520 |
| 6,6 | 1,02496 | 21,7 | 1,08112 | 36,8 | 1,13728 |
| 7,3 | 1,02764 | 22,2 | 1,08326 | 37,3 | 1,13956 |
| 7,8 | 1,02912 | 22,8 | 1,08528 | 37,8 | 1,14144 |
| 8,4 | 1,03120 | 23,3 | 1,08756 | 43,4 | 1,16224 |
| 8,9 | 1,03328 | 24 » | 1,08944 | 49 » | 1,18504 |
| 9,5 | 1,03536 | 24,5 | 1,09152 | 54,6 | 1,20384 |
| 10, » | 1,03744 | 25,1 | 1,09360 | 60 » | 1,22464 |
| 10,6 | 1,03952 | 25,7 | 1,09568 | 65,6 | 1,24544 |
| 11,1 | 1,04160 | 26,2 | 1,09776 | 71,1 | 1,26624 |
| 11,7 | 1,04268 | 26,8 | 1,09914 | 76,7 | 1,28704 |
| 12,2 | 1,04576 | 27,2 | 1,10192 | 82,3 | 1,30784 |
| 12,8 | 1,04784 | 27,8 | 1,10400 | 87,8 | 1,32864 |
| 13,4 | 1,04992 | 28,4 | 1,10608 | 93,4 | 1,34944 |
| 13,9 | 1,05220 | 28,9 | 1,10816 | 98,9 | 1,37024 |
| 14,5 | 1,05408 | 29,4 | 1,11024 | 100 » | 1,37440 |

TABLE de l'expansion des liquides par la chaleur.

| Température. | Mercure. | Huile de lin. | Acide sulfurique. | Acide nitrique. | Eau. | Huile de térébenthine. | Alcohol. |
|--------------|----------|---------------|-------------------|-----------------|-----------|------------------------|-----------|
| 0°, 6 . | 100000 | 100000 | | | | | 100000 |
| 4, 5 . | 100081 | | 99752 | 99514 | | | 100539 |
| 10, 0 . | 100183 | | 100000 | 100000 | 100023 | 100000 | 101105 |
| 15, 6 . | 100304 | | 100279 | 100486 | 100091 | 100460 | 101688 |
| 21 . | 100406 | | 100558 | 100990 | 100197 | 100993 | 102281 |
| 26, 7 . | 100508 | | 100806 | 101530 | 100332 | 101471 | 102890 |
| 32, 3 . | 100610 | | 101054 | 102088 | 100694 | 101931 | 103517 |
| 38 . | 100712 | 102760 | 101540 | 102620 | 100908 | 102446 | 104162 |
| 43, 4 . | 100813 | | 101817 | 103196 | | 102943 | |
| 50 . | 100915 | | 101834 | 103776 | 101404 | 103421 | |
| 54, 6 . | 101017 | | 102097 | 104352 | | 103954 | |
| 60 . | 101119 | | 102320 | 105132 | | 104573 | |
| 65, 6 . | 101220 | | 102614 | | 102017 | | |
| 71 . | 101322 | | 102893 | | | | |
| 76, 7 . | 101424 | | 103116 | | | | |
| 80, 5 . | 101526 | | 103339 | | | | |
| 87, 8 . | 101628 | | 103687 | | 103617 | | |
| 93, 4 . | 101730 | | 103911 | | | | |
| 100 . | 101825 | 107250 | | | 104577 | | |

DANS SES APPLICATIONS AUX ARTS.

121

VIRTUAL MUSEUM



TABLE de l'expansion de l'eau par la chaleur.

| Température. | Expansion. | Température. | Expansion. |
|---------------|------------|----------------|------------|
| 5°, 7 | 100000 | 44°, 8 | 100777 |
| 11, 4 | 100030 | 50, 3 | 101006 |
| 17 | 100106 | 55, 8 | 101220 |
| 22, 3 | 100182 | 61, 4 | 101495 |
| 28 | 100273 | 67 | 101755 |
| 35, 6 | 100471 | 72, 5 | 102040 |
| 39 | 100624 | 78 | 102260 |

Des cheminées et des foyers.

Un foyer a pour but principal d'échauffer par la chaleur rayonnante ; sous ce rapport il diffère essentiellement du poêle. On peut, à la vérité, construire un foyer qui donne de la chaleur par le contact ; mais ce foyer est secondaire, et il présente moins d'importance que le premier. Ses barres ne doivent avoir que la largeur nécessaire pour la solidité, et les parois qui entourent le combustible doivent être construites avec des matières peu conductrices ; car, sans cette précaution, la chaleur produite serait dissipée rapidement par conductibilité, et absorbée par le chauffage de ces parois. Les briques sont employées avec avantage pour le fond des foyers ; cependant les taillandiers, qui ne s'inquiètent pas d'économiser le combustible, préfèrent le fer.



Si les foyers construits avec des matières peu conductrices sont de dimensions considérables, et qu'on n'épargne pas le combustible, la chaleur se développe rapidement, devient intense et trop forte pour la chambre. On remédie à ces inconvéniens par des boules à feu, qu'on jette dans le foyer, stratifiées ou non. Le volume de la matière à échauffer devient plus considérable, sans que le combustible augmente; par conséquent la chaleur diminue. Ces boules sont embarrassantes, rendent plus difficile la conduite du feu; mais le même effet peut se produire par une autre méthode. Lorsque la largeur du foyer dépasse dix-huit pouces, on construit dans la partie postérieure une saillie, qui laisse un espace suffisant entre elle et le devant du foyer; de cette manière on augmente la surface sans accroître la masse du combustible. La distance entre le fond du foyer et la barre ne doit pas être de moins de six pouces, et la profondeur en dépassera six à sept. Dans ce cas, lorsque la saillie se projette bien vers le milieu, le combustible brûle sans addition de matière, et ne donne pas une chaleur trop considérable. Cette précaution est inutile lorsque la largeur du foyer est inférieure à 18 pouces. Les boules à feu présentent également peu d'utilité, surtout lorsque le foyer est bien construit et formé de matériaux convenables.



La combustion doit être lente, parce qu'elle favorise le rayonnement de la chaleur; cependant il faut tenir un juste milieu: une combustion trop lente rend le feu obscur, et présente du désavantage. La principale perte de la chaleur se fait par la fumée qui se dégage dans la cheminée; on a essayé de diminuer le diamètre de ce tuyau, et de construire le manteau près du foyer, surtout lorsqu'il est nécessaire d'activer le tirage. Cette méthode présente quelquefois de l'avantage; mais en général elle consomme une trop grande quantité de combustible. La plupart de nos cheminées fument, parce qu'elles sont trop larges, et qu'on les construit de la même grandeur pour tous les appartemens. Il est facile de voir qu'une cheminée trop large peut, indépendamment de la chaleur dissipée, occasioner un refoulement de fumée vers la partie inférieure, puisque cette fumée est plus lourde que l'air ordinaire pris à la même température. Lorsque les foyers sont tous de même grandeur, on peut appliquer un remède partiel, qui consiste à ramener l'ouverture du sommet de la cheminée au diamètre convenable. Or, on a observé qu'un foyer bien construit consomme, pour trois pouces de long, environ une livre de charbon par heure, et qu'il se dégage d'abord une quantité double de fumée. L'excès véritable de la température dans la che-



minée sur l'air ambiant est de 16° ; il en résulte, comme nous le verrons, que si celle-ci laisse dégager $\frac{45^{\circ}}{3} = 150$ pieds cubes de fumée par heure par chaque pouce de grille, elle sera suffisante. En ayant égard à la ventilation, on a la règle suivante :

Si l'on divise par la racine carrée de la hauteur de la cheminée en pieds, 17 fois la longueur de la grille en pouces, le quotient sera l'ouverture à donner à la cheminée en pouces. On pourra toujours, au moyen d'une plaque, ramener une cheminée trop large au diamètre indiqué par cette règle.

Exemple. On a une grille de 15 pouces et une cheminée de 36 pieds, et on veut rétrécir cette cheminée,

$$17 \times 15 = 255.$$

La racine carrée de 36 est 6, conséquemment $\frac{255}{6} = 42 \frac{1}{2}$ pouces pour la surface du sommet de la cheminée, c'est-à-dire que ce sommet doit avoir un diamètre de $6 \frac{1}{2}$ pouces.

Lorsque le sommet est contracté au degré voulu, on peut se dispenser d'adapter un registre à la base de la cheminée, car en général il faut rendre les foyers le moins compliqués possible. Nous préférons la contraction au sommet pour ne présenter à l'air aucun obstacle qui accélère le dégagement de la fumée. Si l'on fait

cette contraction à la base, la force d'ascension s'arrête au premier jet; en outre une ouverture large vers le sommet, permet à la pluie, à l'air froid, etc., de s'introduire, et d'interrompre le cours de la fumée.

La grille ne doit jamais être un obstacle au rayonnement de la chaleur; et, comme nous l'avons dit, il faut que les barres n'aient que le volume exigé pour la solidité. Il y a de l'avantage à donner à la grille une pente vers le fond dans la proportion d'un pouce sur six. Dans ce cas les cendres se déposent vers le fond. La forme des barres qui constituent la grille n'est pas une chose indifférente; elles doivent présenter dans leur section un triangle arrondi à la base et au sommet.

Nous avons dit que l'on devait employer les métaux en très-petite proportion dans les foyers. Cette règle s'applique seulement aux substances en contact avec la grille; car rien ne s'oppose à ce que l'on revête les parois du foyer avec ces matières. Les côtés des cheminées sont en général obliques; cette disposition, appréciée par Rumford, présente de grands avantages pour la radiation; mais il est nécessaire que ces parois soient revêtues de matières polies, brillantes, au lieu de ces fonds noircis dont elles sont ordinairement garnies. Les surfaces éclatantes réfléchissent mieux; et, suivant Leslie, l'airain



est un réflecteur supérieur à l'acier; conséquemment il est préférable pour l'ornement d'un foyer. Les verres légèrement colorés sont de très-bons réflecteurs; s'ils sont garnis de dessins, la chaleur rayonnée sera plus considérable, et ces parois présenteront à l'œil un bel aspect. Une légère couleur vaut mieux; parce que le blanc est moins agréable à l'œil.

L'inclinaison des parois de la cheminée se détermine par la méthode suivante. On trace à un des coins de la cheminée une ligne qui fasse avec les barres de la grille un angle de 45° . Dans ce cas les rayons émis du centre du foyer se réfléchiront sur la paroi construite verticalement sur cette ligne, et reviendront perpendiculairement sur une ligne parallèle aux barres de la grille. Le fond d'une cheminée est en général plat; cependant il est plus avantageux de le construire en polygone ou en prisme polygonal.

La hauteur de la grille est très-importante: si elle est trop faible, le feu paraît enterré, et le courant d'air n'est pas assez rapide. Si elle est trop haute, la personne qui se chauffe se brûle, tandis que la chambre ne reçoit qu'une très-petite portion de chaleur. Je crois qu'on peut donner 5 à 6 pouces à la grille, mais que dans tous les cas on ne doit pas dépasser un Pied. L'espace entre la partie inférieure du



manteau de la cheminée et la grille, varie avec la grandeur de la chambre; mais, dans les cas ordinaires, cette distance doit être de 15 à 16 pouces. Les dimensions de la grille doivent également être proportionnées à la grandeur de la chambre; un pouce en largeur et un demi-pouce en profondeur pour chaque pied de la chambre, paraissent être les proportions convenables; et, si l'espace est tel qu'il faille une grille supérieure à 2 pieds $\frac{1}{2}$, on doit construire deux foyers; dans ce cas le même rapport se conserve en le divisant sur deux foyers.

La ventilation d'une chambre chauffée par une cheminée est en général défectueuse, parce qu'en général, dans les constructions actuelles, l'air qui a été vicié par la respiration ne peut se dégager. On a proposé divers moyens de remédier à cet inconvénient, mais tous sont insuffisans ou font fumer. La construction d'un autre foyer doublerait la dépense, et peut-être ne remplirait pas le but que l'on se propose. En voici un qui doit remplir les conditions voulues. Si on dispose un siphon, de telle manière qu'une de ses branches soit placée près du foyer, et l'autre à l'extérieur, il est évident qu'il s'établira dans la branche échauffée un courant d'air, qui sera alimenté par l'air qui s'introduit dans la branche extérieure.

L'application de ce principe exige les précau-



tions suivantes. La branche extérieure se prolongera jusqu'au sommet de la chambre, aura sa courbe plus bas que le foyer, et celle qui conduit l'air à la cheminée sera placée de telle manière que la suie ne puisse y tomber. L'extrémité de la branche extérieure sera garnie d'un registre pour régulariser la ventilation. La branche intérieure doit recevoir une chaleur assez forte par la radiation du foyer.

Des fourneaux employés pour les chaudières.

En construisant ces fourneaux, on se propose d'ajouter à l'action des combustibles, et d'éviter tout ce qui peut tendre à la diminuer, ce qui exige qu'on en connaisse le phénomène. Lorsqu'un combustible est placé sur du feu dans un lieu fermé, il doit être alimenté par un courant d'air, sans lequel il ne peut y avoir combustion. Il est alors transformé partiellement en matières gazeuses qui s'échappent dans la cheminée avec l'air qui sert à alimenter la combustion. Cét air a changé de nature; son oxigène s'est uni au carbone, aux autres parties du combustible, et a donné lieu à de l'acide carbonique, à des vapeurs, etc. La combustion parfaite exige donc que l'air ait un libre accès sur le combustible, que celui-ci soit échauffé à un certain degré, puisque sans cela ses élémens ne

se combineraient pas avec l'oxigène de l'air ; il résulte de là que l'on doit régulariser l'addition des matières combustibles. Cet avantage augmente avec la quantité d'hydrogène qu'elles contiennent ; car, si elles sont en trop grande quantité, ce corps s'échappe à l'état gazeux avec une dose considérable de chaleur. Si, au contraire, le combustible est en couche mince sur la partie antérieure du foyer, il est consumé en passant sur les cendres rouges du foyer, et se dégage en flamme. On peut d'ailleurs ressaisir la chaleur dont elle s'est chargée en l'engageant dans un tuyau horizontal, qui se roule autour de la chaudière.

L'air qui alimente le foyer doit être sec, car, s'il est humide, il enlève une portion considérable de chaleur. Il doit également être froid : cet état augmente la rapidité avec laquelle il s'introduit dans le foyer.

Il faut aussi que les parois du foyer soient sèches, l'appareil est plus durable, et se conserve sans beaucoup de soins.

L'ouverture qui reçoit l'air doit être d'une largeur suffisante pour produire la plus grande quantité de vapeurs possible, et aller en augmentant vers le foyer. La surface de la grille doit être au moins égale à cette ouverture ; celle du foyer sera déterminée plus bas.

Le feu doit être disposé immédiatement sous la chaudière, de sorte qu'il ait son plein effet

sur le fond même de ce vase. La flamme et la fumée, à leur sortie du foyer, circulent dans une ouverture large et peu profonde, appelée *la gorge*. La distance à laquelle la flamme et la fumée s'étendent, dépend du tirage de la cheminée et de la nature du combustible. Trois à six pieds présentent l'espace ordinaire dans un foyer bien construit; c'est-à-dire environ six pieds avec du charbon-de-terre et un bon tirage, trois pieds avec du coke et un tirage moins considérable. Ces proportions déterminent celles de la chaudière; car en général le mode de circulation sur les parois est peu efficace, puisque l'action est oblique et moins puissante que celle qui est exercée sur le fond.

L'objet le plus important qui vient ensuite est la cheminée. Les fourneaux doivent avoir un fort tirage; or, nous savons qu'il dépend de la hauteur de la cheminée, de la surface de sa section, et de la température à laquelle se dégage la fumée. La section supérieure ne doit jamais être plus considérable que ne l'exige le foyer. Une surface trop considérable arrête le tirage. La partie intermédiaire doit être la plus large, et aussi libre que possible. La surface que l'on doit donner à la cheminée peut s'estimer par l'analyse du combustible; or, nous savons que dans le caking coal les produits d'une combustion parfaite sont :



4,18 (1hy + 8 oxi) = la vapeur = 58^{grains} ou
200 pouces cubes,

75,28 (1 carb. + 2,75 oxi) = acid. carb. = 282^{grains}
ou 610 pouces cubes.

Azote de composition, plus azote de l'air
employé à la combustion,

= 865 , ou 2900 pouces cubes.

Total des produits gazeux ,

1185^{grains} ou 3710 pouces cubes.

Or, puisque

100^{grains} de charbon-de-terre : 7000^{grains} :: 3710
: 259,700 pouces cub. = 150 pieds cubes
pour une livre de charbon :

Fair qui entre dans le foyer ne concourt pas
tout entier à la combustion ; on peut supposer
qu'il n'y en a que les deux tiers de combiné :
nous aurons donc 225 pieds cubes pour une
livre de caking coal. Ce produit sera d'environ
 $\frac{2}{3}$ plus pesant que le même volume d'air à tem-
pérature égale ; on doit donc déduire 9° de
l'excès de la chaleur en estimant la puissance de
la cheminée.

Le coke et le charbon donnent environ 260
pieds cubes par livre. On doit faire la même
réduction pour la température.

Le bois produit 140 pieds cubes par livre de



combustible , sans déduction de température. Il y a de l'avantage à condenser la vapeur , en faisant passer la fumée dans un tuyau de fer.

L'aire du cendrier ou le courant d'air qui doit alimenter le feu sera d'environ $\frac{1}{10}$ inférieur à celui de la cheminée qu'on alimente avec du charbon , et des $\frac{2}{3}$ pour celle qu'on alimente avec du bois.

Il est plus convenable d'estimer par l'effet que par le poids du combustible. Cherchons l'ouverture nécessaire pour produire un pied cube de vapeur , nous en concluons celle qui est nécessaire pour une autre quantité. Or , d'après les calculs qui précèdent ,

Pour les charbons-de-terre ,

nous avons $225 \times 8,4 = 1890$ pi. c.

Pour le coke $260 \times 7,7 = 2000$ *idem*.

Pour le bois $140 \times 30 = 4200$ *idem*.

Il en résulte que l'on peut calculer 2000 pieds cubes par heure pour produire un pied cube de vapeur lorsque l'on emploie le charbon-de-terre et le coke. Cette quantité doit être doublée pour le bois ; nous en concluons les règles suivantes :

Si l'air s'élève directement de la chaudière , la température sera 100° , et si nous estimons l'air extérieur à 10° , nous aurons $100^{\circ} - 10^{\circ}$, ou 90° pour l'excès de la chaleur ; mais , si l'on



emploie le charbon-de-terre , cette température doit être diminuée de 9° ; donc $90 - 9$, ou 81° , sera l'excès effectif de la température.

Règle pour calculer l'aire d'une cheminée lorsque l'excès de température est 81° .

Divisez 45 par la racine carrée de la hauteur de la cheminée en pieds , le quotient sera à peu près l'aire d'une cheminée qui produit un pied cube de vapeur par heure. L'aire de la grille sera la même , et l'ouverture pour l'air froid sera de $\frac{1}{3}$ moindre , parce que cet air n'est pas dilaté par la chaleur. Si l'on exige une quantité double de vapeur, l'aire sera double , ainsi de suite.

Ces calculs démontrent que la cheminée est trop petite , lorsque la fumée s'échappe à une température aussi élevée ; mais , si la différence entre la température de l'air dans la cheminée et celle de l'air à l'extérieur n'est que de 22° , on divise 80 par la racine carrée de la hauteur de la cheminée. Ce nombre exprime en pouces l'ouverture capable de donner un pied cube de vapeur par heure ; celle de l'air extérieur suivra les mêmes proportions. Les nombres 45 et 80 se déterminent par des calculs compliqués qui ne peuvent trouver place ici.

Les avantages que présente une cheminée éle-



vée sont tellement marqués, qu'il est curieux de savoir la hauteur à laquelle on peut élever ce conduit avec sûreté. Cette connaissance nécessite peu d'explications, je les donnerai. Si l'on veut connaître la base d'une cheminée carrée en pyramide régulière, on divise 156 par la différence de 12000 à 26 fois la hauteur en pieds. La racine carrée du quotient multipliée par la hauteur en pieds, sera le côté de la base. Supposons le calcul fait pour une hauteur de 20 pieds, alors

$$26 \times 20 = 520,$$

$$12000 - 520 = 11480,$$

$$\frac{156}{11480} = 0,0136.$$

la racine carrée de 0,0136 est 0,117 environ. Or $20 \times 0,117 = 2,34$ pieds, ou 2 pieds 4 pouces. Si la cheminée n'est pas carrée, ce nombre s'applique au plus petit côté du rectangle.

Lorsque la cheminée diminue rapidement, c'est-à-dire lorsque le diamètre du sommet n'est que la moitié de celui de la base, on doit opérer par la règle suivante.

Divisez 104 par le nombre 12000 diminué de trente-deux fois la hauteur de la cheminée en

pieds. La racine carrée du quotient, multipliée par la hauteur en pieds, donnera le côté de la base.

Je citerai encore un exemple. On veut bâtir une cheminée de 100 pieds de haut, pour dégager la fumée d'une machine à vapeur.

$$\frac{140}{12000 - (52 \times 100)} = 0,01182.$$

La racine carrée de $0,01182 = 0,109$ environ, et $0,109 \times 100 = 10,9$ pieds, ou 10 pieds 11 pouces pour le côté de la base, et par suite $5\frac{1}{2}$ pour le côté du sommet.

L'épaisseur qu'il convient de donner aux côtés de la cheminée mérite également quelques observations, parce que la chaleur doit être suffisante pour alimenter le courant de vapeur, et entretenir le feu à l'état d'ignition. Cette épaisseur doit être de trois ou quatre fois la quantité de combustible que l'on ajoute, c'est-à-dire quatre fois lorsque l'alimentation est fréquente, et trois fois dans le cas contraire. Dans les machines à vapeur il est nécessaire que le foyer exige une attention moins soutenue; l'espace doit donc être plus considérable.

Les règles précédentes pourront toujours servir à calculer les dimensions d'un fourneau. Nous rappellerons ici les détails sur leur construction. Le but principal est de diriger la

chaleur sur la chaudière : conséquemment on préférera les matières peu conductrices , et l'emploi des substances métalliques sera restreint autant que possible. L'espace occupé par le feu et par la chaudière sera garni de très-bonnes briques à feu unies avec de l'argile. Le reste de l'ouvrage sera bâti avec des briques dures , bien cuites , en laissant quelques cavités pour renvoyer la chaleur sur la chaudière. On pourrait enfermer le tout d'un double mur , en se rappelant la maxime de Guyton-Morveau : « le foyer doit être isolé de tous les corps qui sont bons conducteurs de la chaleur. » Il est nécessaire de laisser un espace entre la grille du foyer et la porte qui sert à donner passage à l'air. Cet espace est pavé en fortes tuiles , et recouvert d'une bonne plaque. Les barres de la grille auront de 1 pouce $\frac{1}{2}$ à 3 pouces d'épaisseur , suivant la grandeur du feu , 1 pouce de largeur , et seront espacées de $\frac{3}{8}$ à $\frac{1}{2}$ pouce ; la longueur dépasse rarement 2 pieds 6 pouces. Les dimensions de la grille se calculent dans les proportions suivantes :

- 1 pied consomme $\frac{1}{8}$ de boisseau de charbon par heure.
 2 pieds *idem* $\frac{1}{4}$ de boisseau.
 3 pieds *idem* $\frac{3}{8}$ de boisseau.

Ces dimensions serviront également pour un feu lent ou rapide. Dans le premier cas il est né-



cessaire d'employer une plus forte couche de combustible; il est d'ailleurs évident que les aires capables de produire des quantités égales de vapeur sont en raison inverse de la puissance de ce corps. Lorsque le plan de la chaudière n'est pas circulaire, l'étendue de la grille dans la largeur du vase sera la moitié ou les deux tiers de cette largeur. En général, dans les chaudières allongées, on doit toujours disposer la porte à l'une des extrémités.

Dans un fourneau, la porte doit fermer aussi hermétiquement que possible. Le comte de Rumford a recommandé l'emploi des doubles portes; mais ce moyen est embarrassant et dispendieux. M. Atkinson a perfectionné cette partie des fourneaux, et emploie une boîte de fonte adaptée à la porte même. L'épaisseur de ses parois l'empêche de ployer, et la couche d'air qu'elle renferme diminue la perte de la chaleur. Il serait peut-être préférable de se servir d'un appareil analogue aux fenêtres à guillotine, c'est-à-dire une porte qui s'ouvre au moyen d'une poulie de renvoi. Cette méthode est la plus avantageuse de toutes celles dont on a proposé l'emploi.



SECONDE PARTIE.

Des moyens d'échauffer par la vapeur les maisons particulières, les manufactures, les établissemens publics, etc.

SECTION PREMIÈRE.

Aperçu général sur les divers modes de distribution de la chaleur.

DANS un appartement, l'effet produit par la chaleur doit être passager, c'est-à-dire tel qu'il ne développe aucun changement chimique dans les corps soumis à son action. Il n'existe conséquemment que deux modes de l'appliquer; la source qui la donne doit être limitée; et si elle est forte, être située de telle manière que les corps soumis à cette action, et susceptibles d'éprouver un changement chimique, soient chassés à l'instant. Il paraît prouvé qu'une chaleur sèche inférieure à 100° est sans action sur les matières végétales et animales, ou sur l'air qui lui est soumis. On peut conséquemment l'employer pour chauffer un appartement; si la

température est supérieure à ce terme, l'air est ce qu'on appelle *brûlé*, et par suite nuisible et désagréable. Les foyers forment le deuxième mode de chauffage; la chaleur chasse à l'instant les corps nuisibles qui peuvent se produire; mais ils sont ouverts. Ce mode est par conséquent moins sûr que le précédent, et l'on connaît d'ailleurs les accidens qui peuvent en résulter.

Avant de comparer ces deux modes de chauffage, il est bon de remarquer qu'un corps chaud donne de la chaleur de deux manières: par la radiation et par le contact.

La chaleur rayonnante se répand dans l'air et dans les fluides élastiques avec une vitesse considérable: elle les traverse sans élévation sensible dans leur température, et chauffe les solides qui y sont plongés. Telle est la chaleur que communique le soleil, et celle que nous ressentons à l'approche d'un foyer. Elle chauffe les parties solides d'un appartement, et ces dernières la développent lentement dans l'air. Un individu peut donc éprouver une sensation de chaleur assez forte, et respirer dans un air comparativement plus froid.

Les avantages que présente un air froid pour la respiration sont assez considérables. Les expériences de Lavoisier, Crawford et autres, démontrent que dans un air à 26° , la quantité

d'oxygène consommée est de $\frac{1}{3}$ inférieure à celle que l'on dépense dans un air à 12°. La diminution est dans une proportion supérieure à la raréfaction de l'air : effet que l'on peut attribuer à la température élevée qui arrête les changemens chimiques éprouvés par le sang aux dernières ramifications des vaisseaux pulmonaires.

Les corps amenés à une température basse, c'est-à-dire inférieure à 100°, communiquent peu de chaleur rayonnante. L'échauffement s'opère surtout par le contact ; et cette chaleur, dispersée dans l'air, se communique aux corps solides ; nous pouvons donc distinguer deux modes d'échauffement, le rayonnement, l'air chaud.

L'individu qui est placé dans une chambre chauffée par le deuxième moyen, n'éprouve qu'une sensation très-faible, tant que le thermomètre est inférieur à 16° ; et cependant, par un temps froid, cette température est très-sensible pour celui qui était plongé dans l'air extérieur. En général le passage brusque d'un air chaud dans un air très-froid est nuisible. Il vaut mieux qu'il soit lent et gradué. L'effet est remarquable si l'individu sort d'un lieu humide : à son entrée dans l'air chaud il éprouve un froid glacial, dû à l'évaporation qui enlève une grande quantité de chaleur, qu'elle rend latente aux dépens de l'individu lui-même.

Lorsque l'air est chargé d'eau , il donne plus de froid que s'il était moins chaud , mais plus sec ; de là résulte la fréquence des toux dans une atmosphère humide, surtout chez les individus peu habitués à l'air extérieur. Dans un temps froid l'atmosphère est rarement humide, attendu que dans ce cas elle absorbe moins de vapeurs. La calorifique spécifique de l'air est très-faible ; la chaleur latente de la vapeur est , au contraire, très-considérable, puisque la quantité qui forme un pied cube de vapeur, élèverait à 10° 130 pieds cubes d'air.

La perte éprouvée par l'homme dans un air chaud produit des maux de tête, des ophtalmies, etc., etc. Ces effets diminuent s'il est saturé d'humidité ; mais il reste à déterminer s'il est plus avantageux pour l'homme d'habiter dans une atmosphère de cette espèce. Nous ferons remarquer cependant l'habitude où l'on est de placer un vase rempli d'eau sur un poêle élevé à une température un peu considérable.

Un appartement échauffé par la chaleur rayonnante n'a point ces désavantages, puisque l'air est toujours plus froid que les objets qui sont exposés à l'action du feu. Les rayons d'un foyer donnent autant de chaleur qu'ils absorbent d'eau, et conséquemment ils ne produisent de celle-ci qu'autant qu'ils sont aidés par l'affinité de l'eau et de l'air sec. On peut objecter sans

doute que dans les climats plus froids et plus humides que le nôtre, on se sert d'air échauffé ; mais rappelons-nous que ces climats sont peu variables ; il serait donc peu sage d'en adopter les usages. La chaleur rayonnée chauffe d'une manière inégale ; et si le courant d'air est ménagé avec peu de soin , il en résulte , à la lettre, que l'on est glacé d'un côté tandis que l'on brûle de l'autre ; mais ordinairement la différence de température est insupportable ; car il serait d'ailleurs peu convenable d'espérer obtenir une chaleur parfaitement égale par ce moyen. Dans la nature, le soleil nous échauffe par rayonnement , et par suite d'une manière très-inégale ; cet inconvénient est peu sensible , le froid rafraîchit l'air , et la chaleur des rayons solaires donne une sensation agréable.

Cette méthode d'échauffement n'est praticable que sur une petite échelle, si ce n'est en la combinant avec d'autres. Une source considérable de chaleur serait insupportable ; et puisqu'elle diminue comme le carré de la distance augmente , son action est très-limitée. Il est impossible d'employer plusieurs foyers, sans embarras ; en outre il est difficile de les empêcher de fumer ; et puisque la chaleur doit être intense pour se communiquer à distance , ce mode est presque toujours nuisible et souvent dangereux. La chaleur rayonnante est donc



impropre pour un échauffement considérable ; examinons s'il n'y a pas d'autres méthodes.

Lorsqu'il est impossible d'employer la chaleur rayonnante, on peut échauffer de deux autres manières. 1°. L'air est échauffé dans l'endroit même ; 2°. l'air est échauffé dans un endroit séparé, situé au-dessous de la pièce dont on veut élever la température. La combinaison de ces deux moyens présente plus d'avantages ; car l'on peut remarquer que l'air élevé à une température supérieure à celle où l'on doit l'employer, perd de son action bienfaisante, et affaiblit les organes. Cette altération est-elle due à son état électrique, lorsqu'il est en contact avec des substances métalliques, ou bien à d'autres causes ? On l'ignore ; mais en général, toutes les fois que l'on peut éviter cette élévation de température, les résultats sont bien moins fâcheux. Or il est impossible d'échauffer un appartement par ce moyen, sans amener l'air à une température telle que l'on puisse compenser la perte éprouvée par le passage de l'air dans une autre chambre, et cet excès varie avec la nature de celle-ci et la quantité d'air introduit dans un temps donné. M. Tredgold a noté la température de l'air dans la plupart des cas, elle était toujours de 38° à 55.

Considérons actuellement la méthode de distribuer la chaleur, de manière que la surface



chauffante reste à une température limitée. La vapeur employée à la pression ordinaire ne donnera jamais une chaleur supérieure à 100°; et lorsque la surface qui sert à échauffer ne produit aucun effet sur l'air, ce véhicule peut être conduit partout avec autant de facilité que de sécurité. On peut quelquefois se servir d'eau chaude, mais jamais cette méthode ne vaut la première. Dans les appareils à eau chaude, c'est la vapeur qui distribue la chaleur, puisqu'il est impossible de faire circuler le liquide dans les tuyaux par un changement de densité, sans le convertir en vapeur. Cette opinion est évidente pour quiconque connaît les lois hydrauliques.

La condition exigée, c'est-à-dire la limite de la chaleur à 100° exclut une multitude d'appareils, qu'il serait inutile d'examiner. Les foyers sont en général formés de matières très-conductrices; la chaleur se perd rapidement; la combustion est imparfaite, et par suite il y a perte d'une grande partie du combustible. Il existe à la vérité une autre méthode de distribution dans laquelle l'air n'est jamais en contact avec une surface au-delà de 100°. Elle consiste à renfermer le combustible dans un massif de matières peu conductrices. On emploie la brique, et les foyers des maisons sont construits avec ces matériaux; mais, en général, ils contiennent du soufre; les murs se fendent, et des

émanations sulfureuses se répandent dans l'appartement ; il n'est pas difficile d'obvier à cet inconvénient : on peut imaginer un appareil en fer, l'entourer d'un mur en briques, en régler le tirage, de manière que la température ne dépasse pas 100°. Cet appareil ainsi disposé forme un excellent poêle. Les diverses espèces de ceux qu'on désigne sous le nom de suédois, ne sont que des variations de ce principe. La cage est, au lieu de fonte, en briques vernissées, et ne s'élève jamais à une haute température. Lorsque Guyton-Morveau entreprit de les transporter en France, il s'éloigna tellement de son modèle, qu'il chauffait par des plaques de fer en contact avec le feu : aussi on peut leur appliquer le reproche fait aux poêles allemands, c'est-à-dire qu'ils brûlent de l'air.

De toutes les considérations exposées ci-dessus, on peut conclure que le meilleur moyen de chauffage est celui de la vapeur d'eau : le docteur Ure remarque que les ouvriers employés dans les manufactures chauffées de cette manière, respirent la santé ; tandis que ceux qui travaillent dans les lieux chauffés par des poêles, sont malades et languissans. La chaleur communiquée par la vapeur, peut s'étendre au loin et dans toutes les directions, de sorte qu'un seul foyer suffit pour un grand établissement, et peut se placer dans l'endroit que l'on désire.



Il est dans la fabrique de M. Loddiges, à Hack-
vey, à 800 pieds, et cette distance n'est pas ex-
traordinaire.

Le chauffage par la vapeur doit être dirigé
par une personne instruite; à la vérité ce moyen
nécessite peu de connaissances, cependant l'ap-
pareil exige des soins, et le feu doit être alimenté
plus fréquemment qu'un feu ordinaire.

SECTION II.

*Des chaudières, de leur forme, de leurs appareils, et
de leurs dimensions.*

Le principal objet que nous avons à considé-
rer dans les chaudières, est la forme et les ma-
tériiaux propres à produire de la vapeur avec le
moins de dépenses possibles; nous indiquerons
ensuite les proportions qui conviennent à d'au-
tres objets, tels que l'évaporation, etc. La ma-
tière de la partie de la chaudière qui est exposée
à l'action du feu doit être conductrice, rayon-
nante et non polie. On peut rendre sensibles les
avantages de ces dispositions; en faisant bouillir
de l'eau dans un vase de verre, l'ébullition se
fait lentement et par soubresauts; mais, si l'on y
jette quelques fragmens de fer, l'action est bien
plus rapide. Le cuivre est meilleur conducteur que
le fer; cependant ces deux substances peuvent



être employées avec succès. On peut se servir de mauvais conducteurs pour les parties de la chaudière qui ne transmettent pas la chaleur du foyer.

Les chaudières à vapeurs sont de diverses formes. Les plus ordinaires sont rectangulaires, à sommet demi-cylindrique, et ont le fond courbé de manière que la concavité regarde le foyer ; les côtés peuvent être également bombés : quelquefois les chaudières sont circulaires, à sommet hémisphérique et à fond concave. Celui-ci doit être mince pour faciliter la transmission de la chaleur, car les meilleurs conducteurs l'arrêtent si leur épaisseur est considérable ; les fonds minces abrègent le temps nécessaire pour porter l'eau à l'ébullition ; ils sont aussi plus durables, parce que la surface est exposée à une chaleur moins intense. L'étendue du fond doit être assez grande pour recevoir l'action pleine et entière du feu, de manière que la masse arrive à 100° ; si elle était plus considérable, elle n'engendrerait pas de vapeur ; si elle l'était moins, elle ne produirait pas le plus grand effet possible. C'est un abus de laisser circuler la fumée autour, lorsque cette dernière est à une température inférieure à 100° . Il est évident que dans ce cas elle enlève de la chaleur à la chaudière, au lieu de lui en donner : si l'on veut utiliser la chaleur de cette fumée, on peut la faire servir à