

essaie, avec un autre sur lequel il n'ait pas d'action, et dont la chaleur spécifique soit connue d'avance.

Pour déterminer la chaleur spécifique de l'acide sulfurique, par exemple, supposons qu'en mêlant un kilogramme d'acide sulfurique à 12° avec un kilogramme de mercure à 0° , on ait un mélange à 11° ; il en résultera que la chaleur spécifique du mercure est à celle de l'acide comme 1 à 11 : or, la chaleur spécifique du mercure est à celle de l'eau comme 33 à 1; d'où, la chaleur spécifique de l'eau est à celle de l'acide sulfurique comme 1000 : 330. On voit ainsi qu'en choisissant un corps qui ne réagisse pas sur celui que l'on essaie, on pourra rapporter la capacité trouvée à la capacité de l'eau pour la chaleur (1).

Nous avons dit qu'à l'aide de la méthode des mélanges, on peut déterminer des températures que les

(1) Cette méthode, qui, comme on le voit, est susceptible de s'appliquer généralement à tous les corps, nécessite plusieurs précautions importantes : l'air extérieur et les vases dont on se sert doivent être à la température du mélange; le mélange doit être fait promptement et la température observée de suite avec beaucoup de soin. Pour remplir la première condition, on fait une expérience préalable, dans laquelle, l'eau étant à la température de l'air, on détermine approximativement le nombre de degrés dont le mélange s'élève; alors on abaissera la température de l'eau sur laquelle on doit opérer, de moitié d'autant de degrés que le corps chaud doit lui en communiquer, on la mettra dans un vase à minces parois; puis faisant l'expérience et les observations à l'instant, on obtiendra une compensation entre la chaleur que l'air aura d'abord fournie au mélange, et celle que le mélange lui aura ensuite rendue; les chances d'erreurs seront donc peu importantes.

thermomètres ne sauraient indiquer, et les conclure du rapport des chaleurs spécifiques par un calcul inverse. En effet, prenons pour exemple le verre et les données de l'expérience ci-dessus : nous avons dit que sa chaleur spécifique, l'eau étant 1, est 0,1739, l'élévation de l'eau 1,47, réduite à l'unité de masse, était $14^{\circ},7$. On voit qu'il suffit de diviser la chaleur spécifique du corps immergé par 0,1739; le quotient 84,53 exprime le nombre de degrés dont le corps doit être abaissé par l'immersion. Si l'on ajoute la température du mélange total 1,47, on remontera à la température primitive du corps qui était de 86° , comme nous l'avons vu.

C'est ainsi que Coulomb a déterminé les températures de la trempe qu'il donnait à ses barreaux, et que Delaroché déterminait la température des lingots qu'il mettait aux foyers de ses miroirs dans ses expériences sur le rayonnement du calorique (1).

On voit que cette méthode est susceptible de beau-

(1) Si l'on plonge dans l'eau un kilogramme de fer chauffé presque au terme de la fusion, ou fondu et près de se congeler, il répandra dans ce liquide une quantité de chaleur qui dépendra de sa température; supposons qu'il ait élevé de 20° la température de 9 kilogramm. 615 gramm. d'eau, on dira : 9 kilogramm. 615 gramm. à 20° équivalent à 192 kilogramm. 300 gramm. d'eau à 10° ; et en établissant la relation d'après la chaleur spécifique du fer (= 110 l'eau étant 1000), on aura $110 : 1000 :: 192,3 : x$, d'où $x = 1749$. La température du fer, près de la fusion, peut donc être évaluée approximativement à 1749 degrés centigrades. C'est à ce résultat que sont parvenus MM. Desormes et Clément.

coup d'applications utiles; d'autres applications qu'elle ne comporte pas, sont du ressort des calorimètres, dont nous allons donner une idée.

Calorimètre de glace. On a reconnu, par l'expérience, que la glace fondante et l'eau en contact avec elle ont une même température fixe; que toute la chaleur communiquée à la glace dans cet état de choses n'altère en rien sa température; qu'elle est employée uniquement à sa liquéfaction, parce que, dans ce changement d'état, sa capacité pour la chaleur augmente. Si donc on enlève à chaque instant l'eau liquéfiée qui en résulte, et qu'une nouvelle quantité de glace se présente sans cesse à l'action du calorique, l'effet étant toujours identiquement égal à lui-même, il est évident qu'une quantité double, triple, etc., de chaleur opérera la fusion d'une quantité double, triple, de glace; en sorte que l'on évaluera la chaleur par le poids de la glace fondue. Tel est le but que Lavoisier et Laplace ont atteint en construisant leur calorimètre.

Nous ne donnerons pas ici la description de cet instrument que tout le monde connaît, et que l'on rencontre dans les cabinets de Physique. Chacun sait aussi que le corps soumis à l'expérience dans ce calorimètre est enveloppé de deux couches de glace, l'une extérieure qui prévient l'action de la chaleur de l'air sur la glace intérieure, et celle-ci qui seule peut être fondue par la chaleur que dégage le corps en se refroidissant à 0° , et dont on peut, à l'aide d'un robi-

net, recueillir toute l'eau qui s'en est écoulée durant l'expérience.

Nous indiquerons seulement ici les principales précautions que l'on doit prendre lorsqu'on veut faire usage du calorimètre, le mode de calcul à suivre pour déduire les quantités de chaleur de l'expérience que l'on a faite; enfin nous réunirons en un tableau les chaleurs spécifiques indiquées. Nous en ferons autant pour le calorimètre d'eau.

Avant de mettre la glace dans le calorimètre, il faut bien s'assurer qu'elle est à 0° dans toutes ses parties, et pour cela on doit la tenir dans l'eau pendant environ 20 minutes. Si les morceaux de glace étaient d'un volume trop considérable, la chaleur pourrait rayonner dans quelques-uns de leurs interstices et arriver à la deuxième enveloppe. S'ils étaient trop menus, la quantité d'eau écoulée pourrait être beaucoup plus grande que celle liquéfiée par le corps; en effet, la glace introduite est mouillée de toute l'eau qui ne peut s'égoutter, et dont la quantité est en raison de la surface des morceaux: or, après l'expérience, la surface des morceaux de glace est toujours moindre, puisque leur volume a diminué; et cette différence, en raison de laquelle il reste moins d'eau adhérente, est d'autant plus grande que la surface totale est plus considérable, et que, par conséquent, les morceaux sont plus petits. Une grosseur moyenne, à peu près égale à celle des noix, est convenable; on voit d'ailleurs que, dans tous les cas, il y aura une

correction à faire pour une trop grande quantité d'eau écoulée.

Plusieurs autres circonstances qu'il serait trop long de rapporter ici, deviennent des causes d'erreurs : pour éviter la plupart d'entre elles, on agit comparativement et à la fois sur deux calorimètres, dont l'un ne contient pas de corps chaud ; celui-ci laisse ordinairement écouler une petite quantité d'eau, que l'on retranche du résultat obtenu dans l'autre pour avoir la quantité réelle de glace liquéfiée par le corps essayé. On peut même, afin d'obtenir plus d'exactitude, répéter ce double essai en plaçant alternativement le corps dans chacun des calorimètres.

Lorsque le corps dont on veut déterminer la chaleur spécifique est solide et sans action sur l'eau, on peut le mettre immédiatement en contact avec la glace ; s'il est liquide ou qu'il ait de l'action sur la glace, on l'enferme dans un vase dont on a d'avance déterminé la chaleur spécifique. On plonge un thermomètre dans le vase, on élève sa température au degré voulu, on l'introduit dans le calorimètre, on recueille l'eau produite, on fait le calcul comme nous allons l'indiquer, et il ne reste plus qu'à tenir compte de la chaleur fournie par le vase.

Lorsque l'on est parvenu à recueillir toute l'eau provenant de l'action du calorique que les divers corps laissent dégager pendant que leur température s'abaisse jusqu'à 0° dans le calorimètre, il ne s'agit plus que de ramener tous ces résultats à une commune mesure pour les comparer entre eux.

Un kilogramme d'eau à 75° degrés centigrades (60 de Réaumur), en descendant à 0° , fond un kilogramme de glace. C'est à ce résultat, pris pour unité, qu'on est convenu de rapporter tous les autres. Il faut donc chercher combien un kilogramme du corps soumis à l'expérience fondra de glace en s'abaissant de 75° . Il suffit pour cela de diviser la quantité d'eau fondue, par le nombre de kilogrammes ou de parties de kilogramme du corps soumis à l'expérience ; ensuite diviser le quotient par le nombre de degrés dont le corps était au-dessus de 0° , et enfin multiplier le nouveau quotient par 75 : le produit exprimera la quantité de glace qu'un kilogramme du corps pourra fondre en passant de 75° à zéro, ou la chaleur spécifique pour l'unité de masse.

Ainsi, par exemple, si l'on opère sur 5 kilogram., 5 de fonte de fer à 100° , l'on obtiendra par la fusion de la glace 81 centièmes de kil. d'eau ; on établira la relation 5,5 est à 0,81, comme 1 est à 0,148, ce qui revient, comme on le voit, à diviser 0,81 kil. par 5,5.

On divisera le quotient 0,148 par 100, et l'on multipliera par 75 le nouveau quotient ; le produit, 111 millièmes de kil., indiquera que la capacité de l'eau est à celle de la fonte de fer, comme $\frac{1}{75}$ est à $\frac{0,111}{75}$ ou comme 0,013333 est à 0,00148, c'est-à-dire environ 9 fois plus considérable.

La table suivante indique la capacité de diverses substances pour la chaleur, comparée à celle de l'eau.

TABLE des chaleurs spécifiques des diverses substances,
celle de l'eau étant prise pour unité.

Suivant Lavoisier et Laplace.	Suivant MM. Petit et Dulong.
Eau..... 1,0000	Eau..... 1,0000
Soufre..... 0,2085	Bismuth..... 0,0288
Fer battu..... 0,1105	Plomb..... 0,0293
Étain..... 0,0475	Or..... 0,0208
Plomb..... 0,0282	Platine..... 0,0314
Mercure..... 0,0290	Étain..... 0,0514
Oxide rouge (deutoxide de mercure)..... 0,0501	Argent..... 0,0557
Minium..... 0,0623	Zinc..... 0,0927
Chaux vive..... 0,2169	Tellure..... 0,0912
Verre sans plomb..... 0,1929	Cuivre..... 0,0940
Acide nitrique (à 12089)..... 0,6614	Nickel..... 0,1035
Acide sulfurique (à 1845)..... 0,3346	Fer..... 0,1100
(4 parties de ce dernier, plus 5 parties d'eau)..... 0,6031	Cobalt..... 0,1408
Nitre, $\frac{1}{8}$ } Solution.... 0,8187	Soufre..... 0,1800
Eau, $\frac{7}{8}$ }	
Huile d'olives..... 0,3096	

Les rapports de cette table peuvent servir immédiatement à comparer le calorique spécifique de l'une quelconque des substances, avec celui d'une autre. Ainsi, le mercure dont la température s'abaisse d'un degré, n'élève une masse égale d'eau que de 0,029; une même masse d'étain, en s'abaissant également de 1 degré, élèverait la température de la même masse d'eau de 0,0475; de là il suit que la chaleur dégagée d'une masse de mercure qui se refroidit d'un degré élèverait la température d'une masse égale d'étain de 0,029 divisé par 0,0475, ce qui donne 0,61....; ou encore que la quantité de chaleur capable d'élever

le mercure de 100 degrés n'échaufferait l'étain qu'à 61°.; ou enfin que, pour élever l'un et l'autre de ces métaux d'un même nombre de degrés, il faudrait pour le premier plus de chaleur que pour le deuxième dans le rapport de 100 à 61.

D'après MM. Clément et Désormes, les chaleurs spécifiques de divers corps seraient les suivantes, l'eau étant 1000.

SOLIDES.	LIQUIDES.
Glace..... 720	Eau..... 1000
Antimoine..... 51	Alcool..... 640
Argent..... 56	Huile..... 500
Cuivre..... 95	Sang..... 1000
Étain..... 95	Lait..... 1000
Fer, fonte, acier..... 112	Mercure..... 31
Laiton..... 90	Acide sulfurique..... 340
Or..... 30	Acide nitrique (1335).... 570
Plomb..... 31	Acide hydro-chl. (1120).. 680
Zinc..... 92	Solution de nitre saturée.. 646
Soufre..... 188	
Verre..... 174	
Briques..... 450	
Bois..... 500	
Fibrine..... 740	

D'après cette table, on voit que, pour élever d'un même nombre de degrés une même masse d'huile et d'eau, il faudrait, pour la première, moitié moins de chaleur que pour la deuxième; que, relativement au cuivre, à l'argent, à l'étain, au zinc, il faudrait moins que la dixième partie de la chaleur nécessaire à l'eau; et pour l'or, le plomb, le mercure, à peu près 3 centièmes seulement, etc.

Le calorimètre de glace peut servir, non-seulement à déterminer les chaleurs spécifiques des corps, mais aussi la quantité relative de calorique qui se dégage pendant l'action réciproque des solides et liquides, la combustion des corps, la respiration des animaux, etc.

La détermination de la chaleur dégagée pendant les réactions n'offre aucune difficulté. D'abord on amène les corps à 0° à l'aide de la glace pilée; on amène pareillement à ce degré le vase dans lequel la réaction doit s'opérer, puis, après l'avoir placé dans la capacité intérieure du calorimètre, on y introduit le corps et l'on opère rapidement le mélange. L'expérience se fait du reste comme nous l'avons dit précédemment.

Il est moins facile de déterminer la chaleur qui se dégage pendant la combustion et dans l'acte de la respiration. Cette dernière n'a pas de rapports directs avec le sujet que nous nous sommes proposé de traiter; quant à l'autre, on l'apprécie plus aisément à l'aide du calorimètre d'eau.

Calorimètre d'eau. Pour se servir de ce calorimètre, dû à Rumfort, et l'appliquer, par exemple, à chercher le pouvoir calorifique de la combustion de la cire, on l'emplit d'eau distillée, on place le thermomètre, puis on amène la température initiale de l'expérience à 5° au-dessous de celle de l'atmosphère; la cire étant pesée et formée en bougie à mèche fine, on l'allume, et en la plaçant sur l'entonnoir renversé

du calorimètre, les produits de la combustion se dirigent dans le serpentín. Lorsque la température de l'eau est venue d'autant de degrés au-dessus de celle de l'atmosphère, qu'elle en était au-dessous (afin de rendre à l'air la chaleur que l'eau en avait reçue d'abord), on éteint la bougie, on la pèse et l'on conclut de la différence des poids avant et après l'expérience, la quantité de cire brûlée. Ayant observé la température de l'eau, on détermine aisément la quantité de chaleur dégagée pendant la combustion: si, par exemple, l'eau contenue dans la caisse pèse 10 kilogrammes, que sa température se soit élevée de 6°, ce qui équivaut à 1 kilogramme élevé de 60°; 1 kilogramme d'eau en s'abaissant de 75° de température fait fondre 1 kilogramme de glace; donc les 60° auraient fondu $\frac{60}{75}$ de kilogramme de glace ou 800 grammes.

Au lieu de convertir ainsi les résultats du calorimètre d'eau en résultats de calorimètre de glace, on peut, comme l'a fait M. Clément, prendre pour unité de chaleur 1 kilogramme d'eau élevé de 1° de température centigrade; on évite ainsi les réductions, et les résultats sont plus immédiatement comparables entre eux.

Ainsi dans l'expérience que nous venons de citer, si le poids de la cire brûlée était de 6 grammes, on dira: 6 grammes de cire en brûlant échauffent 6,000 grammes d'eau à 1°, d'où 1 kilogramme de cire échaufferait 10,000 kilogrammes d'eau à 1°, ou 100 kilo-



grammes d'eau à 100°. Cette quantité de chaleur est égale à celle qui serait nécessaire pour fondre 133^{kil.}33 de glace.

Quantités de chaleur produite par diverses substances brûlées sous le calorimètre de Rumfort, ou dans le calorimètre de Lavoisier, par MM. Lavoisier et Laplace, — Rumfort, — Clément et Désormes. Les lettres initiales indiquent ces noms.

SUBSTANCES.	UNITÉS (1) du calorimètre d'eau.	OBSERVATIONS.
Gaz hydrogène.....	23400 L. L.	Si l'on divise les nombres de cette table par 100, on aura le nombre de kil. à 0 qu'un kil. de chaque substance ferait bouillir par sa combustion; et si on les divise par 75, on aura le nombre de kil. de glace que cette combustion ferait fondre. Poids spécifique. 0,72834 à 20°.
Huile d'olive.....	11166 L. L.	
Cire blanche.....	9044 R.	
	10500 L. L.	
	9479 R.	
Huile de colza épurée.	9307 R.	
Suif.....	8369 R.	
	7186 L. L.	
Éther sulfurique.....	8030 R.	
Phosphore.....	7500 L. L.	
Charbon.....	7226 L. L.	
Naphte.....	7338 R.	
Alcool à 42°.....	6195 R.	
Idem, plus aqueux...	5422 R.	
Idem, à 33°.....	5261 R.	
Bois de chêne.....	3146 R.	0,82713 } 1 3/4 0,817624 } 0,84714 } à 15,5 0,85324 }
Charbon de terre.....	7050 C. D.	
Fourbe.....	2400 C. D.	
Idem.....	3200	Première qualité. (terme moyen). Première qualité.

Le calorimètre d'eau s'applique très utilement aussi

(1) Ou nombre de kilogrammes d'eau échauffés d'un degré centigrade, par un kilogramme de chaque substance.

à déterminer la chaleur spécifique des gaz; mais pour obtenir dans ces essais un grand degré d'exactitude, il faut beaucoup de précautions minutieuses; nous ne pourrions les indiquer toutes sans dépasser de beaucoup les limites que nous avons fixées à cet ouvrage; nous renverrons au Mémoire de MM. Dela- roche et Berard, Ann. de Chim. vol. LXXXV, pag. 72 et 224. Les auteurs, dans ce Mémoire qui a mérité le prix proposé par l'Institut, ont obtenu les résultats suivans :

Chaleur spécifique de différens gaz sous une même pression.

	La chaleur spécifique de l'air étant prise pour unité.			Celle de l'eau étant 1000.
	VOLUMES égaux.	POIDS égaux.	POIDS égaux.	
Air atmosphérique....	1,0000	1,0000	0,2669	
Hydrogène.....	0,9033	12,3401	3,2936	
Acide carbonique.....	1,2583	0,8280	0,2210	
Azote.....	1,0000	1,0318	0,2754	
Oxide d'azote.....	1,3503	0,8878	0,2369	
Gaz oléfiant.....	1,5530	1,5763	0,4207	
Oxide de carbone.....	1,0340	1,0008	0,2884	
Oxigène.....	0,9765	0,8848	0,2361	
Vapeur aqueuse.....	1,9600	3,1360	0,8470	

Les corps solides se fondent à des températures différentes, et les différens liquides exigent, sous la même pression, des températures différentes pour se vaporiser; les uns et les autres, en passant de l'état solide à l'état liquide, et de l'état liquide à l'état gazeux,

changent de capacité pour la chaleur. Ainsi, par exemple, la chaleur spécifique de l'eau étant à peu près la même à différens degrés de température entre certaines limites, si l'on mêle 1 kilogramme d'eau à 0° avec un kilogramme d'eau à 20° au-dessus de 0, le mélange des deux kilogrammes aura une température moyenne entre les deux températures primitives, c'est-à-dire 10°, tandis que si l'on mêle un kilogramme de neige à 0° avec un kilogramme d'eau à 75°, le mélange des deux kilogrammes sera liquide et la température sera 0°.

C'est ainsi que tous les corps en se fondant absorbent des quantités de chaleur assez considérables, sans que leur température s'élève, et cela explique pourquoi, dans la fusion de la glace, du plomb, de l'étain, du suif, etc., tant qu'il reste des morceaux solides, on peut continuer à faire du feu sous le vase qui les contient sans que la température du bain augmente (1).

Le même phénomène, dû à l'augmentation de capa-

(1) La chaleur spécifique de l'eau étant égale à..... 1000,
la chaleur spécifique de la glace est égale à..... 720.

La diminution de capacité résultant du passage de l'état —
liquide à l'état solide est de..... 280.

Cette différence de 280, dans la capacité, paraît être la même pour différens corps qui passent de l'état solide à l'état liquide; elle a été vérifiée, autant que cela est possible, pour le plomb, le bismuth et la cire. L'expérience est facile à faire avec le plomb, parce que ce métal pur acquiert immédiatement une grande fluidité, sans prendre un état pâteux intermédiaire. (M. Clément.)

ité pour la chaleur, se représente lorsque les liquides portés à l'ébullition se réduisent en vapeurs.

D'après ce que nous avons dit, on conçoit que la pression atmosphérique s'opposant à la force expansive de la chaleur, la température à laquelle les liquides s'évaporent doit être d'autant plus élevée que la pression qu'ils supportent est plus grande; en effet, l'eau, par exemple, entre en ébullition à 0° dans le vide; à 100° sous la pression atmosphérique de 0^m,76 centimètres, et à 165° sous la pression de cinq atmosphères.

Sous ces différentes pressions et à ces différens degrés de température, la quantité de chaleur employée à la vaporisation de l'eau est la même; elle est égale, d'après les expériences de MM. Désormes et Clément, quelles que soient la température et la pression, à 650 unités du calorimètre d'eau, et réciproquement, la même masse de vapeur constituée dégage en se condensant à 0°, 650 unités de chaleur; elle élèverait donc de 100°, 6 fois et demie son poids d'eau, ou de 50° 13 parties d'eau à 0°.

De là MM. Désormes et Clément ont conclu que cette quantité de chaleur est constante pour toutes les températures, même celles au-dessous de 0° (1); et

(1) En faisant l'expérience dans un calorimètre, ils ont trouvé qu'un kilogramme de vapeur d'eau faisait fondre 9 kil.,66 de glace, d'où retranchant le kilogramme de vapeur condensée, il reste 8 kil.,66; or, cette quantité de glace liquéfiée représente 8 kil.,66 d'eau à 75°, ou $8,66 \times 75^\circ = 650$ unités de chaleur. Ils ont vérifié cette quan-