

LA SCIENCE POPULAIRE

de



ULTIMHEAT[®]
VIRTUAL MUSEUM

CLAUDIUS

SIMPLES DISCOURS SUR TOUTES CHOSES

— ❁ ❁ ❁ —

SUR LA CHALEUR.

—

Chaleur et calorique. — Dilatation et contraction des corps. — Thermomètre et Pyromètre. — Conductibilité. — Rayonnement et absorption. — Réflexion. — Formation de la rosée. — Transparence des corps pour le calorique — Calorique spécifique. — Calorique latent. — Froid artificiel. — Chauffage à la vapeur. — Calorimètre.

— ❁ ❁ ❁ —

PARIS,

JULES RENOUARD ET C^{IE}, LIBRAIRES,

RUE DE TOURNON, N^o 6.

1840.



ULTIMHEAT[®]
VIRTUAL MUSEUM

LA SCIENCE POPULAIRE
DE CLAUDIUS.

LA SCIENCE POPULAIRE

de



ULTIMHEAT[®]
VIRTUAL MUSEUM

SIMPLES DISCOURS SUR TOUTES CHOSES.

SOMMAIRE.

Chaleur et calorique. — Dilatation et contraction des corps. — Thermomètres et pyromètres. — Conductibilité. — Rayonnement et absorption. — Réflexion. — Formation de la rosée. — Transparence des corps pour le calorique. — Calorique spécifique. — Calorique latent. — Froid artificiel. — Chauffage à la vapeur. — Calorimètre.

SUR LA CHALEUR.



A PARIS,

CHEZ JULES RENOUARD ET C^{ie}, LIBRAIRES,

AUX DE TOURNON, n^o 6.

1840.



SUR

LA CHALEUR.

Mes amis, comme dans nos entretiens sur le son, la lumière, l'électricité, le magnétisme, nous allons avoir parler d'une chose que nous ne aurions voir ni toucher, et que nous onnaissons seulement par divers hangemens qui se voient, soit ans les corps environnans, soit en otre propre corps, ou bien par l'impression dont ces changemens sont ccompagnés dans ce dernier cas. ette impression elle-même, que ignifie-t-elle, sinon que (par le ontact, je suppose, de ce que, 'après elle, nous appelons un corps *chaud*, un corps *froid*) un changement analogue au changement visible que ce contact amène dans les autres corps, se produit ici dans le nôtre, à l'extrémité, du moins, des ramifications nerveuses; que les par-

ticules s'écartent, en cet endroit, les unes des autres, comme s'il s'interposait entre elles une matière étrangère, invisible et impalpable, ou bien que ces particules se rapprochent les unes des autres, comme si la matière invisible et impalpable, interposée entre elles, était, en partie, retirée.

Cette matière invisible et impalpable a reçu tour-à-tour les noms de matière du feu ou matière ignée, de matière de la chaleur, et finalement, lors de la réforme introduite dans la langue chimique par *Guyton de Morveau*, *Lavoisier*, *Berthollet* et *Fourcroy*, celui de *calorique*. (1)

Ainsi donc, dans le contact d'un corps *chaud*, il y aurait acquisition de calorique par nos organes du toucher, et dilatation de ces organes.

(1) « Rigoureusement parlant, écrit *Lavoisier* dans son *Traité élémentaire de chimie*, nous ne sommes pas obligés de supposer que le *calorique* soit une matière réelle. Il suffit que ce soit une cause répulsive quelconque qui écarte les particules des corps. »

Dans le contact d'un corps *froid*, il y aurait déperdition de calorique par nos organes du toucher et resserremens de ces organes (1). Lorsque nous disons d'un corps qu'il est *chaud*, cela n'aurait trait qu'au changement qu'il produit dans notre état thermal (2), puisque, dans ce cas, ce corps se refroidit et se refroidit à notre profit. Lorsque nous disons d'un corps qu'il est *froid*, cela n'aurait trait qu'au changement qu'il produit dans notre état thermal, puisque, dans ce cas, ce corps s'échauffe, et s'échauffe à nos dépens. Que notre état thermal ne perde ni ne gagne, il n'y a plus aucune impression de température. Si quelque pression ne vient pas nous avertir, le toucher ne nous annonce plus la présence des corps contigus

(1) Ces dilatations et resserremens, vu la nature cornée des extrémités nerveuses, se résolvent en amollissement et durcissement, comme à l'égard de la plume que vous tenez au froid ou près du feu.

(2) Ce mot dérive de celui qui correspond, en grec, à chaleur.



changemens de température qu'il exprime sous forme visible.

En substituant le mot de *calorique* à celui de *chaleur*, les observateurs modernes annoncent assez clairement qu'ils considèrent les faits de température en dehors, et abstraction faite de l'impression que ces faits produisent; que, dans l'appréciation du chaud et du froid, ils s'occupent, non pas de leur propre état thermal, mais de l'état thermal des corps que notre impression nous fait appeler corps *chauds* ou corps *froids*.

Cette manière de procéder les conduit naturellement à s'enquérir aussi de l'état thermal des corps, sur lesquels aucune impression de chaleur ne nous éclaire. Du moment que les observateurs se mettent à sortir d'eux-mêmes pour l'observation des faits de température et prennent, en quelque sorte, leur point de vue du sein même des corps que nos impressions nous font appeler corps

chaud dans un autre. Il en est ainsi de l'air des caves, en été et en hiver,

chauds ou corps *froids*. Il n'y a pas de raison pour que leur recherche attende ces impressions. Elle s'arrête à l'endroit où elle se tait. Il n'y a pas de raison pour ne pas interroger les corps sur leur état thermal, alors même qu'aucune variation dans le nôtre ne soulève, à leur égard, de question de température.

Vous voyez que le champ d'études ouvert devant nous, loin d'être limité, comme le mot de chaleur semble l'annoncer, aux corps qui nous impressionnent, s'étend à tous sans exception, et nous promet, à l'endroit surtout où nos impressions restent muettes, des faits qui ne seront pas sans nouveauté.

Une fois les impressions de chaleur ou de froid mises de côté, rien ne nous peut éclairer sur l'état thermal des corps, que les changemens visibles que ces corps subissent, ou bien qui s'observent en d'autres corps dont l'état thermal est lié au leur (1). Entre ces changemens, ceux

(1) Nous n'avons aucun moyen d'aborder



qui portent sur l'augmentation ou la diminution de volume, sans addition de matière pesante, sont au premier rang. Il est facile de les observer. Prenez une petite tringle de fer, qui entre sans peine dans l'anneau d'un piton; faites-la rougir au feu et présentez-la rapidement à l'anneau: elle ne peut plus y entrer. Vous pouvez, en fixant cette tringle par un bout et la posant au dessus de charbons ardents, la voir, par son extrémité libre, dépasser telle limite à laquelle elle s'arrêtait avant le chauffage. Laissez refroidir cette tringle, elle revient à sa longueur et à son diamètre primitifs; refroidissez-la davantage, et vous vous assurerez qu'elle se resserre encore plus.

Vous pouvez remarquer le même fait sur les liquides, tels que l'huile, l'esprit-de-vin, l'eau, le mercure;

directement le calorique; car, à supposer que ce soit un fluide invisible, il ne se laisse ni saisir, ni mesurer; il n'est pas de vase à travers lequel il n'entre ou bien duquel il ne s'échappe et qui le puisse contenir sans addition ni perte,

vous pouvez éprouver chacun d'eux dans un petit tube de verre, que vous remplissez à demi et que vous observez, tour-à-tour plongé dans l'air environnant, dans un verre d'eau chaude, dans un verre d'eau froide. Ces liquides vous offrent entre eux de grandes différences. La colonne d'esprit-de-vin et la colonne d'huile sont celles qui grandissent le plus, même au seul contact de la main. L'eau, en comparaison, paraît à peine varier.

Dans les gaz, les changemens de volume sont encore plus remarquables. Prenez pour exemple le gaz au milieu duquel nous vivons, l'air; présentez au feu une vessie aux trois quarts remplie d'air et bien fermée: vous la voyez se gonfler et s'arrondir peu-à-peu; si le chauffage continue, le gaz emprisonné finit par briser l'enveloppe avec fracas. Il est un moyen très simple de rendre l'air visible et d'en apprécier plus nettement les changemens de volume: c'est d'enfermer une bulle d'air au milieu d'un liquide coloré, dans un tube de verre horizontal. A la moind-



dre addition de calorique, la bulle d'air ou plutôt le petit espace transparent, qui indique sa présence, s'agrandit, et pour peu que le chauffage continue, il envahit la totalité du tube. L'expansion croissante de l'air est ici mesurable. Le refroidissement vous rend témoins du fait inverse.

Nous avons vu le fer se dilater par la chaleur; augmentons graduellement la quantité de chaleur ou de calorique. Nous arrivons à un moment où, cette matière dissolvante, cette force répulsive inconnue, l'emporte sur l'espèce d'attraction qui tenait les particules de fer fixées entre elles, et les mobilise. Au lieu du fer solide, nous avons du fer liquide. Ce moment, comme vous le savez, ne se ferait pas si longtemps attendre avec le plomb, le soufre, la glace, la cire. De même, ajoutons successivement de nouvelles quantités de calorique à un liquide. Un moment vient où l'état de mobilisation que présentent les particules dans le liquide, fait place à un autre état de mobilisation. Cet autre état de mobilisation diffère essentielle-

ment du premier, en ce que les particules du corps y possèdent moins le même degré d'élasticité que l'air des couches inférieures de l'atmosphère, sous la pression des couches d'air qui sont au dessus. Le moment où cette nouvelle mobilisation arrive ne se fait pas également attendre pour les divers liquides.

Réciproquement, en retranchant du calorique à un gaz, nous arriverions au moment où il cesse d'avoir le même degré d'élasticité que l'air des couches inférieures de l'atmosphère, et subit, sous leur pression, cette sorte de condensation qui le constitue à l'état liquide. En retranchant du calorique à un liquide, nous arriverions au moment où l'attraction des particules les unes vers les autres reprend le dessus, où la mobilisation cesse, où le corps devient solide. Ces trois états solide, liquide, gazeux, ne sont, à proprement dire, pour chaque corps, que trois étages dans l'échelle de ses températures. Sous le nom d'état solide, sont incluses des températures et



des densités très différentes, mais qui toutes ont cela de commun d'être au dessous de telle limite, qui est la température à laquelle le corps devient liquide. De même, sous le nom d'état liquide, sont incluses des températures et des densités très différentes, mais qui toutes ont cela de commun de rester entre deux limites, celle du point où ce corps devient solide et celle du point où ce corps devient gazeux. Sous le nom d'état gazeux ou aérien, sont incluses des températures et des densités très différentes, mais qui toutes ont cela de commun de rester au dessus de telle limite, qui est la température à laquelle le corps devient liquide. Nous verrons tout-à-l'heure de quelles circonstances inaperçues est marquée la dilatation ou la contraction des corps au-delà de l'une de ces limites. Bornons-nous, pour le moment, aux changemens de volume qui ont lieu, de l'une de ces limites à l'autre.

Ces changemens de volume peuvent être employés à la mesure des variations thermales. Nous pouvons

nous servir des corps chez lesquels ces changemens sont plus sensibles pour apprécier l'état thermal des corps où les changemens de ce genre nous échappent. Ainsi, les changemens de volume de l'esprit-de-vin nous instruiront bien mieux que l'inspection directe de l'eau, de l'état thermal de ce dernier liquide.—Pour pouvoir comparer entre elles les observations de cette espèce, il nous faut remarquer entre les divers changemens de volume que l'esprit-de-vin admet, sans quitter l'état liquide, un point fixe qui nous serve de point de départ et de repère.—Il nous faut choisir, pour ce point fixe, un fait qui ait toujours lieu à la même température et auquel nous puissions revenir pour vérifier notre instrument, ou bien, en l'absence de celui-ci, en construire d'autres sur le même plan. Peut-être serez-vous curieux d'employer d'autres liquides, l'huile ou le mercure, par exemple.—Pour pouvoir rapprocher les résultats fournis par ces liquides divers dont les dilatations sont, vous l'avez vu, si fort



inégales, il nous faut y remarquer deux points fixes, deux points où ces liquides soient à la même température; puis, en chaque tube, partager l'intervalle qui sépare ces deux points, en un pareil nombre d'échelons égaux. (1)

Entre les faits qui ont lieu à des températures toujours les mêmes, se trouvent celui de la fusion de la glace et celui de l'ébullition de l'eau. Nous verrons tout-à-l'heure à quoi tient l'uniformité de température de ces faits, et de quelles circonstances il faut tenir compte en les prenant pour points de départ. Il nous faut plonger notre tube à esprit-de-vin, notre tube à huile, notre tube à mercure, d'abord dans de la glace fondante, et marquer sur le tube le point où le liquide s'arrête; le plonger ensuite dans l'eau bouillante, et marquer encore le point où le liquide s'arrête; puis diviser l'intervalle qui sépare les deux marques,

(1) Resterait à savoir, si pour chacune de ces parties égales, chacun de ces liquides se dilate dans la même proportion.

en un même nombre de parties égales, en cent parties égales, nous propose que nous appellerions des *degrés*; enfin, continuer cette graduation au-dessus et au-dessous des deux points extrêmes. (1)

Ce tube de verre, à liquide mobile sous la seule influence des additions ou des soustractions de calorique, cet indicateur de la température des corps environnans, cette mesure de leur état thermal, prend le nom de *thermomètre*. L'intervalle entre les deux points fixes est-il divisé en cent parties, on l'appelle *thermomètre centigrade*.

D'après ce que vous avez vu tout-à-l'heure des changemens de volume de l'air, il est évident qu'un thermomètre à air ou à gaz devrait être substitué au thermomètre à liquide,

(1) Le zéro est au point de la glace fondante, et s'écrit ainsi 0° . Le signe $+$ distingue, dans l'écriture abrégative, les degrés au-dessus de zéro. Le signe $-$, les degrés au-dessous de zéro. *Cinq degrés au-dessus de zéro* s'écrivent ainsi : $+ 5^{\circ}$. *Cinq degrés au-dessous de zéro* s'écrivent ainsi : $- 5^{\circ}$.



dans le cas où l'on voudrait mesurer de très faibles différences. Quant aux solides, leurs changemens bien moindres semblent les réserver pour la mesure des plus fortes variations de température; de celles, par exemple, auxquelles le verre des thermomètres à liquide ne résisterait pas.

Occupons-nous d'abord du thermomètre à liquide, qu'il nous reste à perfectionner. La première chose est le choix d'un tube qui soit, le plus possible, du même calibre, dans toute sa longueur. Plus ce calibre sera petit, plus les changemens de volume du liquide seront apparens. Cependant si le tube ne nous laissait voir que les changemens de volume subis par le liquide qu'il renferme, ces changemens, sur une si petite quantité de liquide, ne nous rendraient guère sensibles de faibles variations de température. De là la nécessité de terminer, en bas, ce tube par un réservoir un peu plus large de liquide, en forme de boule ou de cylindre. Il s'agit donc de souffler une boule à l'extrémité

inférieure de nos tubes ou l'y souder un tube d'un plus grand calibre. Lorsque le calibre du tube employé est très petit, l'introduction du liquide demande quelques soins. On chauffe d'abord doucement la boule; ce qui dilate l'air inclus dans le tube et en chasse une grande partie. On plonge ensuite rapidement l'extrémité ouverte dans le liquide. L'air resté dans le tube, resserré par le refroidissement, laisse un vide où le liquide monte, sous la pression atmosphérique. Dès qu'il est arrivé quelques gouttes de liquide dans la boule, on la chauffe de nouveau peu-à-peu, jusqu'à faire bouillir le liquide, dont la vapeur chasse le reste d'air. Cette fois, en plongeant de nouveau l'extrémité ouverte dans le liquide, on peut être sûr (le vide étant fait dans le tube et dans la boule, par la condensation de la vapeur qui les remplissait) que le liquide les remplira complètement. Veut-on que les dilatations et les contractions aient lieu dans le vide: on tire en un fil, à la flamme de la lampe, l'extrémité du tube, puis on



chauffe la boule, jusqu'à ce que le liquide, dont on n'a laissé que la quantité voulue, monte à l'extrémité; on ferme alors le tube, en fondant, à la lampe, l'extrémité.

Veut-on laisser un peu d'air dans le tube : on en ferme l'extrémité comme tout-à-l'heure, mais avant que le liquide s'élève tout-à-fait jusque en haut. On maintient ensuite à la flamme cette extrémité dans un état de mollesse, et l'on chauffe le réservoir de façon que le liquide monte le plus possible. L'air restant comprimé vers le haut, repousse le verre mou et y forme une boule.

Vous savez de quels points fixes on fait choix. Celui de la glace fondante s'obtient en plongeant le réservoir et une portion du tube, en un vase rempli de glace pilée, dans un endroit où cette glace puisse fondre. Après quelques instans, on voit le niveau du liquide rester invariable; on note ce niveau, par un trait sur le verre.

On prend l'autre point fixe, celui de l'eau bouillante, en plongeant légèrement la boule dans l'eau et de



façon que le tube soit tout entier dans une sorte de cheminée remplie de vapeur, dans un tuyau blanc, par exemple, ouvert, en haut, sur le côté. Ici encore, l'on voit, après quelques instans, le niveau du liquide rester invariable, et l'on note ce niveau par un trait sur le verre.

Il est à remarquer que ce niveau n'est pas le même dans l'eau pure et dans l'eau qui contient des sels en solution. Dans ce dernier cas, l'eau ne bout qu'à une température plus élevée (1). A la rigueur, il faudrait employer, en cette occasion, de l'eau distillée ou bien de l'eau de pluie recueillie à l'abri de matières étrangères. On s'est, en outre, assuré, dans ces derniers temps, que l'eau bout à un degré plus élevé dans les vases de verre ou de terre que dans les vases métalliques.

Une autre considération importante, c'est celle de la pression atmos-

(1) Une dissolution saturée de sel ordinaire bout à $+ 109^{\circ}$; celle de salpêtre à $+ 115^{\circ}$.

phérique, ou si vous voulez du ressort de l'air environnant, du ressort de l'air des couches inférieures, au milieu desquelles l'expérience est faite. Ce ressort varie, dans le même lieu, comme le montre l'allongement ou le raccourcissement, dans le vide, de la colonne barométrique qui lui fait équilibre. En outre, ce ressort varie d'un lieu à un autre, selon l'épaisseur de la couche atmosphérique que l'air de ce lieu supporte. Le ressort de l'air étant l'un des obstacles que la gazéification de l'eau doit vaincre, cette gazéification a lieu, à une température plus haute ou plus basse, selon que ce ressort est plus fort ou plus faible. D'après les expériences du frère du célèbre chimiste anglais *Wollaston*, 27 millimètres de diminution dans la hauteur de la colonne barométrique ou de diminution dans la pression atmosphérique, abaisserait d'un degré le point de l'ébullition de l'eau. On peut, d'après cela, toujours ramener le point d'ébullition à ce qu'il serait si la colonne barométrique était de 76 centimètres, c'est-à-dire

si cette colonne était à la hauteur qu'elle présente au niveau des mers. (1)

Il reste à diviser en cent parties égales l'intervalle qui sépare les deux points fixes. On emploie pour cela un triangle équilatéral dont la base présente cent divisions égales, jointes chacune, par une ligne droite, à l'angle supérieur; ce qui, vous le voyez, donne, parallèlement à la base, un certain nombre de lignes décroissantes, toutes à cent divisions. On choisit, entre ces lignes, celle qui s'adapte à l'espace à graduer. La graduation se fait, d'ordinaire, à côté du tube, sur une monture en bois, en ardoise, en verre, etc. On continue les mêmes divisions au-dessous de 0° et au-dessus de 100°.

(1) Tel abaissement de la colonne barométrique vous dit de combien vous vous êtes élevés, dans l'atmosphère, au-dessus du niveau des mers. Tel abaissement dans la colonne thermométrique, lors du fait de l'ébullition de l'eau, vous en dit autant; un thermomètre et de l'eau bouillante peuvent ainsi suppléer au baromètre pour la mesure des hauteurs.



Le choix du liquide dépend de l'usage auquel le thermomètre est destiné. Le mercure prend beaucoup plus vite que l'esprit-de-vin la température des corps environnans. L'esprit-de-vin (coloré en rouge, par l'orseille) fait attendre un peu plus longtemps le résultat, mais ses changemens de volume sont plus considérables, et dès-lors plus remarquables. Il se dilate huit fois plus que le mercure. Sa coloration le rend aussi parfois plus commode. S'agit-il de températures très basses (1), le mercure ne peut guère être observé avec certitude au-dessous de -35° à -36° . Entre -39° et -40° , il se solidifie; il gèle. L'esprit-de-vin ne gèle à aucun des froids naturels observés jusqu'ici. Il cède, du reste, la place au mercure, pour le mesurage des températures élevées: il bout avant le point d'ébulli-

(1) Cette expression est empruntée à l'usage du thermomètre: la colonne liquide *montant*, lorsque la quantité de calorique est plus grande; *descendant*, lorsque la quantité de calorique est plus faible.



tion de l'eau, à $+78^{\circ}$; aussi est-il bon, dans les thermomètres à esprit-de-vin, de laisser un peu d'air. L'ébullition est alors retardée par cet air et par la vapeur que le liquide dégage. Les thermomètres à mercure peuvent indiquer jusqu'à 3 et 400 degrés. Cependant au-delà de 300° , les résultats manquent d'exactitude, parce que l'on ne peut plus tenir compte de la dilatation du verre.

Vous voyez souvent des thermomètres centigrades qui n'ont que 15 ou 20 degrés de course: ces thermomètres ont été gradués, au moyen d'un thermomètre centigrade entier.

De ce que, dans les thermomètres à liquide différent, les termes fixes sont empruntés à des températures pareilles, il ne faut pas conclure que, entre ces deux termes, les dilatations ou contractions se correspondent d'un thermomètre à un autre: ainsi quand le thermomètre à mercure est à $+50^{\circ}$, un thermomètre à huile d'olive marquera $+49^{\circ}$; des thermomètres à huiles essentielles marqueront $+48^{\circ}$; un thermomètre à esprit-de-vin, $+45^{\circ}$; un autre, à

eau salée, + 46°; un thermomètre à eau pure, + 36°. Plus on s'élève dans l'échelle thermométrique, moins il faut, pour le même liquide, de calorique pour produire la dilatation équivalente à un degré. Cette différence, très forte avec l'esprit-de-vin, est très faible avec le mercure. Le thermomètre à huile de lin se rapproche, à cet égard, du thermomètre à mercure.

Il ne faut pas perdre de vue que les mouvemens de la colonne thermométrique ne donnent, à l'égard du liquide dont elle est faite, que sa dilatation dans les circonstances spéciales où ce liquide se trouve là, c'est-à-dire avec les modifications qu'apportent à ses mouvemens les changemens de densité du verre, le contact de la monture, etc.

On a remarqué, en ces derniers temps, que le niveau du liquide, à la température de la glace fondante, s'élevait dans le thermomètre, au bout de quelques mois, au-dessus du zéro primitivement marqué; comme par un rétrécissement lent du verre du réservoir. Cette remarque conduit

à des vérifications que l'on n'aurait, auparavant, jugées superflues.

Le thermomètre, inventé, ce semble, par un besoin assez récent de précision dans les études physiques, n'a guère commencé à être d'un usage public que vers le milieu du dix-septième siècle. Les premiers instrumens de ce genre dont il soit fait mention, selon M. *Berzelius*, sont ceux de *Cornelius Drebbel* en Hollande (vers 1600) et de *Sanctorius* à Venise. Ces deux médecins mesuraient les températures d'après le refoulement exercé par l'air, lors de sa dilatation, dans une boule, au haut d'un tube, sur un liquide où le tube était plongé. Vous pouvez voir dans les ouvrages de physique et de chimie, la série de modifications successives, introduites dans la construction des thermomètres. *Renaldini* de Padoue plaçait le 0° au niveau que gardait l'esprit-de-vin dans la glace. L'académie de Florence adoptait, pour seul terme fixe, la température des caves. *Newton* employait l'huile de lin, et prenait deux points fixes, l'un à la tempéra-



ture où l'eau gèle, l'autre à celle du sang dans le corps humain; il divisait l'intervalle en 12 degrés. *Amon-ton* choisit le premier la température de l'eau bouillante pour point de départ. Vers 1714, un constructeur d'instrumens de Dantziek (*Fahrenheit*) remplaçait l'esprit-de-vin par le mercure. Il admettait pour points fixes l'eau bouillante et la température des plus grands froids de l'Islande, ou selon d'autres, celles d'un mélange de sel ammoniac et de neige dont il tenait la proportion secrète. Il avait observé que, entre ces deux points fixes, le mercure augmentait de volume dans la proportion de 1 à 212. Il adopta ce chiffre pour graduer l'intervalle. Dans ce thermomètre, la température de la glace fondante est à $+ 32^{\circ}$. Cette graduation est d'usage en Allemagne, en Hollande, en Angleterre.

Vers le même temps, *Réaumur* employait, à Paris, de l'esprit-de-vin, mêlé d'une quantité déterminée d'eau, afin que le liquide pût supporter, sans bouillir, de plus hautes températures. Dans sa graduation,



chaque division présentait un dixième de l'augmentation sur le volume du liquide à la température de la glace. L'ébullition de l'eau se trouvait ainsi au 80° degré. S'étant aperçu que le mercure, à la même température, marquait dans sa division 85° , *Réaumur* faisait les quarante degrés supérieurs proportionnellement plus petits. Un autre physicien (*Delisle*), ne prenant qu'un seul point fixe, marquait 0° à la température de l'eau bouillante, et divisait la colonne offerte par le liquide, à cette température, en 10000 parties égales, qu'il continuait au-dessus et au-dessous de son zéro. Cette graduation est encore d'usage en Russie. (1)

La première graduation thermométrique établie, non plus d'après l'augmentation en volume, mais par la division directe de l'intervalle compris entre deux points fixes, date de 1740, et appartient au Géné-

(1) Dans ce thermomètre, le 150° degré au-dessous de zéro, correspond au 0° du thermomètre centigrade.

vois *Ducrest*. Le 0° était la température des caves de l'Observatoire de Paris. L'année suivante, le professeur suédois *Celsius* construisit le thermomètre centigrade que je vous ai décrit et que la division décimale a fait adopter en France, bien que l'usage de la division de *Réaumur* se soit conservé jusqu'à ce jour.

La lecture des ouvrages anglais ou celle des anciens ouvrages français oblige souvent à traduire les indications des thermomètres de *Fahrenheit* et de *Réaumur*, en degrés centigrades. 80 degrés de Réaumur équivalent à 100 degrés centigrades; 20 degrés R., à 25 degrés C.; 4 degrés R., à 5 degrés C. Pour convertir un nombre de degrés de *Réaumur* en degrés centigrades, il faut augmenter ce nombre d'un cinquième. Dans la comparaison des degrés de *Fahrenheit* et des degrés centigrades, il faut commencer par retrancher des degrés de *Fahrenheit* le chiffre 32, afin de partir du même point. 180 degrés de *Fahrenheit* équivalent alors à 100 degrés centigrades, c'est-à-dire que les degrés F. sont aux degrés centigra-

des comme 9 est à 5, et que chacun d'eux est égal aux $\frac{5}{9}$ d'un degré centigrade. Pour convertir un nombre de degrés F. en degrés centigrades, il faut donc diminuer ce nombre des $\frac{5}{9}$.

Comme vous le voyez, il ne suffit pas, pour indiquer les températures, de dire que le thermomètre marque tant de degrés au-dessus de glace ou au-dessous; il faut faire savoir de quelle division thermométrique on parle.

Souvent on désire savoir quel est le degré plus bas auquel soit descendue (hors de la portée de l'observateur), la colonne thermométrique, ou bien quel est le degré le plus haut où elle se soit élevée. Entre les divers appareils qui peuvent répondre à ce besoin, je ne vous en citerai que deux fondés sur l'emploi d'une sorte de petit flotteur qui soit mouillé ou ne soit pas mouillé par le liquide. Imaginez, par exemple, un petit tube horizontal à demi rempli d'esprit-de-vin incolore, puis à l'extrémité de la petite colonne horizontale d'esprit-de-



vin et plongé en entier dans le liquide, un petit cylindre d'émail que le liquide mouille. Si le liquide se dilate, l'émail ne bougera pas; mais si le liquide se resserre, se retire, il l'accompagnera dans son retrait, sans le suivre dans ses dilatations ultérieures. Ainsi, l'une des extrémités du petit cylindre indiquera la plus basse température à laquelle le liquide ait été soumis. C'est ce qu'on appelle un thermomètre à *minima*.

Soit un autre tube pareillement horizontal, à demi rempli de mercure; et, au bout de la colonne liquide, un petit cylindre d'acier que le mercure ne mouille pas, et qui, par conséquent, n'y baigne pas. Le mercure poussera ce petit cylindre, devant lui, lors de sa dilatation et ne l'entraînera pas, mais le laissera à sec, lors de son resserrement, lors de son retrait. L'une des extrémités du petit cylindre d'acier (non plus la même que dans le petit cylindre d'émail) dira précisément quelle a été la plus grande dilatation du mercure. C'est ce qu'on appelle un thermomètre à *maxima*. Chacun de ces

deux tubes horizontaux est gradué.

De toutes les dilatations, les plus considérables et en même temps les plus régulières, ce sont celles des gaz, de l'air, par exemple. Ce serait donc aux thermomètres à air que les indications les plus minutieuses et les plus précises devraient être demandées; soit à de l'air enfermé dans une boule, au-dessous d'une goutte de liquide coloré, mobile dans un tube capillaire; soit à de l'air inclus dans le vide imparfait d'une sorte de siphon barométrique.

Les observations du physicien *Charles* avaient établi que plusieurs gaz, l'air entre autres, se dilataient, entre 0° et $+100^{\circ}$, de trois millimètres par degré centésimal, ce qui fait, dans leur volume, une augmentation de 37 centimètres, de 0° à $+100^{\circ}$, ou d'un peu plus d'un tiers. Les observations de *M. Gay-Lussac* en France, et celles de *M. Dalton* en Angleterre, ont fait reconnaître que cette uniformité de dilatation, à température égale, avait lieu dans tous les gaz sans exception. Celles de *MM. Dulong* et *Petit* ont constaté



que cette dilatation, égale entre les différens gaz, continue d'avoir lieu aux températures les plus basses et les plus élevées jusqu'à -36° et $+300^{\circ}$; mais que l'uniformité de dilatation qui se vérifie dans un même gaz, de -36° à $+100^{\circ}$, n'existe plus au-delà; que les dilatations deviennent décroissantes pour des accroissemens semblables de température, comptés sur le thermomètre à mercure.

De tous les liquides le mercure est celui dont la dilatation approche le plus, en régularité, de celle des gaz. De -36° à $+100^{\circ}$, il y a peu de différence entre les résultats numériques d'un thermomètre à mercure et ceux d'un thermomètre à air. Dans les cas extrêmes, le thermomètre à air devrait avoir la préférence sur tous les autres; malheureusement il reste encore à l'appliquer commodément.

La dilatation des corps solides, bien que beaucoup moindre que celle des gaz et des liquides, peut aussi servir de base à la construction d'instrumens thermométriques. Notre tringle de fer, pour composer

un instrument de ce genre, n'aurait besoin que d'être placée sur un port infusible, et de dispositifs simples qui pussent amplifier l'effet de son allongement. Les thermomètres de cette espèce, plus usités dans les cabinets de physique que dans les arts, et destinés surtout à la mesure des plus hautes températures, sont distingués sous le nom de pyromètres. (1)

Ployezen arc deux lames de métaux différens, soudées, à plat, l'une à l'autre. Lors de la dilatation plus grande de l'une d'elles (de celle qui forme la convexité de l'arc), l'arc se fermera;

(1) Mot dérivé de celui qui désigne le feu, dans la langue grecque.

On emploie souvent, en ces occasions, ce qu'on appelle le *pyromètre de Wedgwood*, fondé sur le retrait que subissent à de hautes températures de petits cylindres d'une argile éprouvée à 100° C.; le retrait se mesure par la quantité dont ces cylindres avancent dans une rainure oblique entre deux règles de cuivre légèrement inclinées l'une vers l'autre. Dans la graduation de cette sorte de rainure, le 0° correspond à la température à laquelle le fer est rouge, au jour,



il s'ouvrira, dans le cas contraire. C'est le fait que présente l'un des thermomètres métalliques les plus délicats et les plus commodes, celui de *Bréguet* : il offre une tige en spirale, composée d'une bandelette de platine et d'une bandelette d'argent (réunies par une lamelle d'or qui est destinée à prévenir les ruptures). La spirale verticale est suspendue, par le haut, à un point fixe. Son extrémité inférieure libre se termine en aiguille horizontale au dessus d'un cercle, qui est gradué d'après la marche d'un thermomètre très sensible. Le métal le plus dilatable (l'argent) est en dehors : il fait resserrer le ressort sur lui-même et mouvoir l'aiguille. Cet instrument accuse, avec une rapidité extrême, les moindres variations de température. (1)

(1) Sous le laminage, la triple bandelette arrive à n'avoir plus qu'une épaisseur totale d'un 50^e de millimètre; vous pouvez juger par là de la petitesse de dimensions qu'il a été possible de donner à cet instrument. Vous trouverez, à ce sujet, des détails inté-

L'inégalité de dilatation des métaux a été mise à profit, en plusieurs circonstances, pour compenser le frottement produit par cette inégalité elle-même. Si la verge d'un pendule s'allonge, les oscillations sont ralenties; l'horloge retarde. Si elle se raccourcit, les oscillations sont accélérées; l'horloge avance. En 1738, *Leroy*, en France, et *Ellicot*, en Angleterre, obvièrent à cet inconvénient, en empruntant le remède à la cause même du mal. Il leur suffit que la verge, au lieu d'être suspendue directement à un petit châssis d'acier, fût soutenue, à l'intérieur de ce châssis, au-dessous d'un second châssis, libre par le haut, formé d'un métal d'une dilatation plus grande; de cuivre, par exemple.

ressans dans le V^e volume des *Annales de chimie et de physique*.





Pendant que la dilatation de l'acier fait descendre la lentille du pendule, la dilatation, de bas en haut, du cuivre, la fait remonter.

L'inégalité de la dilatation a été appliquée, sous une autre forme, aux chronomètres. Que deux lames droites, l'une de cuivre, l'autre de platine, soient fixées invariablement entre elles : au premier changement de température, le cuivre se dilate

davantage, la double lame aura une face plus longue et une face plus courte, une face convexe et une face concave. Que cette double lame soit suspendue horizontalement (le cuivre, en dessous) avec une petite masse à chaque bout, à l'extrémité de la tige d'un pendule, l'allongement ou le raccourcissement de la tige par les variations de température, seront compensés par la courbure en sens inverse de la double lame horizontale, et le relè-

vement ou l'abaissement de ses extrémités.

Dans les montres, le régulateur du mouvement est un balancier mu par un ressort spiral; que, par les variations de température, les dimensions du balancier varient, la montre avance ou retarde. On évite ces irrégularités en fixant au balancier des lames *compensatrices*, terminées par de petites masses en or.

Les changements de volume des métaux, presque entièrement imperceptibles sur une petite longueur, le sont beaucoup sur une grande (1). De là, dans les constructions, l'attention de leur laisser du jeu. C'est ainsi que dans la pose des tuyaux de fonte, on se borne à les faire entrer les uns dans les autres.

Entre autres exemples des usages auxquels on peut employer les changements de volume, M. Pécelet, dans

(1) Vous pouvez remarquer la trace de ces variations de volume dans les barres de fer qui s'étendent sur les anciens parapets de nos quais, et les grilles de fer des jardins.



son *Traité de la chaleur*, cite celui que donna M. Molard, au Conservatoire des arts et métiers. Les deux murs d'une salle s'étaient inclinés sous la poussée de la voûte; il s'agissait de les rapprocher. M. Molard fit passer, au travers des deux murs, une barre de fer, écrouée, au dehors, par de forts boulons. On chauffa la moitié de cette barre, à la flamme de plusieurs lampes; un allongement ayant lieu au dehors, on serra de nouveau l'écrou. Lors du refroidissement, le retrait du métal fit revenir en partie la muraille. On renouvela cette opération sur l'autre moitié de la barre, serrant de même l'écrou lors de l'allongement; par le refroidissement, le retrait du métal produisit le retour partiel de l'autre mur. Après plusieurs épreuves successives, l'inclinaison finit par disparaître entièrement.

D'après des expériences sur les dilatactions des corps solides, par *La Place* et *Lavoisier*, de 0° à 100°, le verre et les métaux se dilateraient seulement de quelques *dix millièmes* de leur longueur; les différentes

sortes de verre, de 8 à 9; l'acier non trempé, de 10; le fer doux, de 11; l'or de départ, de 14; le platine, de 17; le laiton, de 18; l'étain, de 19 à 21; l'argent de coupelle, de 19; le plomb, de 28. Le platine ne se dilaterait pas, dans ces limites, plus que le verre le moins dilatable.

Les faits que nous venons de voir nous ont offert divers exemples du passage du calorique d'un corps à un autre corps contigu, ou bien dans le même corps, d'une partie à une autre. Par cette sorte de diffusion, le calorique se répand de proche en proche, comme ferait, a-t-on pensé, un liquide en des conduits: de là le titre de corps *conducteurs*, à ceux dans lesquels cette transmission du calorique s'observe, et celui de *conductibilité* à cette propriété des corps, très inégale de l'un à l'autre. A cette inégalité de conductibilité, se rattachent plusieurs faits que nous sommes tentés au premier abord de rapporter à une origine différente.



Un corps est *chaud*, d'après notre impression, lorsque l'échange du calorique, entre ce corps et le nôtre, se fait à notre avantage; un corps est *froid*, d'après notre impression, quand cet échange se fait à nos dépens. Mais entre les corps qui sont à la même température que ce corps chaud, ou bien à la même température que ce corps froid, il en est qui nous causent des impressions très différentes. Prenez pour exemple les divers objets qui sont dans cette chambre; tous amenés à une température égale, inférieure à celle de votre main: vous trouvez, au toucher, le cuivre plus froid que le marbre, le marbre plus froid que le bois, le bois plus froid que la couverture de ce livre; ou devant le même feu, le carreau plus froid que le tapis, et cependant le thermomètre présenté à chacun de ces objets (1) reste invariable. D'où vient cette inégalité d'impression? de l'i-

(1) A l'exception toutefois de ceux qui sont près du feu et de ceux qui sont exposés au courant d'air de la porte ou de la fenêtre.

négalité dans la transmission du calorique. Tous ces corps, de température inférieure à celle de votre main, lui prennent plus de calorique qu'ils ne lui en donnent; mais ce calorique, les uns lui livrent mieux passage, le *conduisent* mieux, que les autres. Ils peuvent ainsi vous en prendre une plus grande quantité, dans le même temps. Le froid que vous ressentez, en cette occasion, vous apprend quels sont les *bons conducteurs* du calorique.

Supposons que les objets touchés fussent à une température plus élevée que votre main: le même fait aurait lieu en sens inverse. Les corps les plus froids tout-à-l'heure, seraient à présent les plus chauds et pour la même raison: les plus froids tout-à-l'heure, parce que, dans un temps donné, ils vous prenaient une plus grande quantité de calorique; les plus chauds maintenant, parce que dans un temps donné, ils vous cèdent une plus grande quantité de calorique. Cette conductibilité qui les faisait livrer passage au calorique, aux dépens des corps contigus,



plus riches en calorique, les fait ici livrer, de même, passage au calorique, au profit des corps contigus plus pauvres. Touchez, par exemple, exposés au même soleil d'été, et chauffés au même degré thermométrique, du fer, de la pierre, du bois, la chaleur du bois ou de la pierre est supportable, mais celle du fer ne l'est pas. Il brûle, en cet endroit, tout comme il gèle l'imprudent animal qui le touche au milieu des glaces du nord. (1)

Que les objets touchés soient à la même température que votre main, les corps conducteurs ne vous donnent pas plus que les autres, d'impression de chaud ou de froid. Il semble qu'il n'y ait pas de mouvement de calorique, du moment que l'échange peut se faire sur le pied de l'égalité.

D'après cela, au lieu de dire de certains vêtemens, de ceux de flanelle, par exemple, qu'ils empêchent le froid de pénétrer, nous devrions

(1) *Simple discours* SUR LE SECOND VOYAGE DU CAPITAINE ROSS, pag. 205.

dire qu'ils empêchent le calorique de sortir (du moins aussi rapidement qu'il le ferait sans eux). C'est parce qu'ils sont *mauvais conducteurs du calorique* qu'ils nous tiennent chaud, l'hiver. Si la température de l'air était plus élevée que celle de notre corps, ils nous tiendraient frais, empêchant le calorique d'entrer, comme ils l'empêchent de sortir.

Les corps les plus denses sont, en général, les meilleurs conducteurs; les métaux sont au premier rang. La conductibilité de l'or étant représentée par 1000, celle du platine le serait, d'après M. Despretz, par 981; celle de l'argent, par 973; celle du cuivre, par 898; celle du fer, par 374; celle du zinc, par 363; celle de l'étain, par 304; celle du plomb, par 180. Des métaux aux pierres, la distance est ici très grande. La conductibilité du marbre serait représentée par 24; celle de la porcelaine, par 12; celle de la terre des fourneaux, par 11. De là l'antique usage des briques dans la construction des fours. Quant à la conductibilité du bois, elle est bien moindre encore.



Un des moyens les plus simples d'estimer ces différences de conductibilité, c'est celui qu'*Ingenhoulz* employait, revêtant de cire des barres des diverses substances, qu'il chauffait ensuite au même degré, par une de leurs extrémités : la distance plus ou moins grande à laquelle la cire fondait, dans un temps donné, était l'expression de la conductibilité. Vous savez que vous ne pourriez tenir un morceau de fer de la longueur d'une grosse allumette, et, comme elle, rougi par le bout (1). De là, l'osier dont on recouvre l'anse des cafetières de cuivre; de là, les anses de bois des théières, les anses de bois des fourneaux portatifs, la poignée des fers à repasser, etc.

C'est à des matières ligneuses ou cornées que sont empruntés tous nos vêtements; mais c'est surtout quand,

(1) Cependant il est à remarquer qu'un fil métallique un peu fin peut être tenu à la main à peu de distance de l'endroit où il est chauffé au rouge. Il suffit à l'or et au platine d'être en fil très fin pour être mauvais conducteurs.

par leur texture, ces matières laissent entre elles beaucoup d'air, qu'elles sont pour notre calorique comme pour celui des corps environnans, d'utiles barrières; tels sont le duvet, les plumes, les poils, les cheveux, la laine, le coton : l'air interposé et chauffé ne se renouvelle pas, et il n'est guère de corps plus conducteur. Les meilleurs vêtements, ceux qui conservent le mieux le calorique interne, ceux qui nous préservent le mieux du calorique externe, ceux qui sont les meilleurs *isoloirs* du calorique, ce sont les vêtements d'air (1). De là, dans les pays froids, l'usage de murailles d'air, si je puis dire; de doubles fenêtres, de doubles portes, de doubles cloisons, où de l'air est emprisonné et immobilisé, soit seul, soit en une sorte de matelas de crin, de laine, de filasse. C'est encore à l'article du judicieux emploi de l'inconductibilité des corps, qu'il faudrait faire ressortir l'im-

(1) La fraîcheur de la toile tient à la manière dont elle se comporte avec l'humidité de la transpiration.



portance hygiénique des planchers de bois, des tapis, des paillassons.

La conductibilité ne varie pas moins avec la densité dans les liquides que dans les solides. Plongez la main dans une caisse de mercure, vous avez peine à croire que la température n'en soit pas de beaucoup inférieure à celle de l'air environnant ; cependant un thermomètre, que vous y mettez, y garde le même niveau. Au reste, dans ce cas, le calorique que le mercure prend à votre main, qui en a plus que lui, semble n'être en si grande quantité qu'en raison du grand nombre de particules métalliques contiguës à votre main. Il ne se transmet guère au-delà.

C'est ici le lieu de le dire : les liquides et les gaz présentent, dans leur échauffement, en raison sans doute de la mobilité de leurs particules, une particularité qui semble exclure la conductibilité. Le comte de Rumfort, dont le nom est indissolublement lié à toutes les recherches sur la chaleur et le chauffage, a multiplié les expériences, au com-

mencement de ce siècle, pour établir que les liquides *ne conduisent du tout* le calorique.— Mais on met de l'eau sur le feu, comment la masse entière s'échauffe-t-elle, si le calorique ne se transmet pas d'une particule à une autre ?—C'est par le déplacement des particules elles-mêmes. Les portions d'eau chauffées se dilatent, et, spécifiquement plus légères, montent, comme le liège, à la surface du liquide (1). Elles communiquent alors une partie de leur calorique à l'air qui leur est contigu, se resserrent, deviennent spécifiquement plus pesantes et cèdent la place à de nouvelles portions d'eau dilatées qui s'élèvent du fond, remplacées bientôt elles-mêmes, de la même manière. Chaque particule d'eau est ainsi successivement chauffée et dilatée, au fond, puis refroidie et contractée, à la surface ; mais, comme le feu communique plus de calorique que l'air contigu (sans cesse renouvelé, cependant) n'en peut

(1) *Simple discours SUR LES AÉROSTATS*, pag. 18.



prendre, la masse du liquide ne tarde pas à être chauffée tout entière.

Il suit de là que, si, au lieu de chauffer une masse d'eau par en bas, nous la chauffions par en haut, les particules supérieures, dilatées et spécifiquement plus légères, ne descendraient pas et que la chaleur ne se communiquerait pas de haut en bas *par déplacement des particules*, du moins dans un repos parfait. Se communiquerait-elle alors *par conductibilité*? Plusieurs épreuves du comte de Rumfort semblent, à cet égard, justifier son assertion paradoxale. C'est ainsi qu'il parvint à convertir assez rapidement en vapeur la surface supérieure d'une masse d'eau, tandis qu'un morceau de glace restait au fond, sans se fondre. Dans une autre expérience, un cylindre de fer, chauffé à $+100^{\circ}$, fut porté dans un vase d'eau qui renfermait un mamelon de glace, sans en fondre la moindre partie.

Notre surprise tient à ce que nous ne sommes pas habitués à chauffer l'eau par la surface supérieure, et que nous n'avons pas observé les

mouvements qui ont lieu dans les liquides, sur le feu.

Le moyen de rendre ces mouvements visibles, c'est de mêler au liquide quelque substance solide, à-peu-près de la même pesanteur spécifique, qu'il entrainera avec lui. Prenez, par exemple, une fiole de verre blanc, remplie d'eau froide, où se meuvent quelques grains de sciure de chêne, et plongez cette fiole dans un verre d'eau chaude: vous voyez aussitôt deux courans dans la fiole; l'un qui monte, le long de ses parois; l'autre qui descend, au centre. L'eau chaude communique, à travers le verre, son calorique aux particules liquides les plus voisines qui se dilatent et, dès-lors spécifiquement plus légères, montent vers la surface, le long des parois. Arrivées au contact de l'air, elles perdent de leur calorique, se resserrent et, dès-lors spécifiquement plus pesantes, elles forment, en descendant, le courant central. Peu-à-peu vous voyez le mouvement se ralentir, à mesure que le liquide de la fiole et



celui du verre approchent de la même température.

Retirez la fiole du verre d'eau chaude : la direction des courans est changée. C'est à présent le courant latéral qui descend et le courant central qui monte. C'est le même fait sous une autre forme ; l'air froid est ici substitué à l'eau chaude.

Cette inconductibilité des liquides ou du moins, cette conductibilité imparfaite, nous explique la température constamment froide du fond des lacs, d'où il résulte que la surface ne gèle pas avant que la masse d'eau n'ait plus, intérieurement, de particules spécifiquement plus légères qui puissent s'élever, au contact de l'air. Plus la masse d'eau est profonde, plus il faudra de temps pour qu'elle en vienne à geler à la surface.

L'eau présente, dans son accroissement de pesanteur spécifique, une sorte d'exception : c'est que sa plus grande contraction par le refroidissement, son maximum de densité, n'a pas lieu à 0°, mais à près de quatre



degrés au dessus de 0 (1). A compter de +4°, la densité de l'eau diminue au lieu d'augmenter jusqu'au point de la solidification, de sorte qu'à l'opposé de tous les autres liquides, *elle se dilate*, à cette température, *en se refroidissant*. Cela nous aide à concevoir comment il se fait que la surface des lacs gèle seule. Lorsqu'à cette surface, l'eau atteint +4°, le mouvement interne, par accroissement de condensation, cesse ; l'eau ne se contractant plus à la surface, ne descend plus, de façon à exposer à l'air une surface nouvelle. Cette surface seule subit donc un refroidissement ultérieur. Lorsque la glace est formée, elle sert, étant mauvais conducteur du calorique, de vête-

(1) A +8°, l'eau occupe le même espace qu'à 0°.

C'est la plus grande densité de l'eau (de l'eau distillée) que l'on prend pour terme de comparaison, dans la mesure de la pesanteur spécifique des solides et des liquides. C'est aussi à un volume déterminé (à un centimètre cube) d'eau distillée, à son état de plus grande condensation, qu'est empruntée la base des poids métriques, le *gramme*.

ment aux couches inférieures de liquide. Si la mer ne gèle pas, c'est sans doute que la gelée ne dure pas assez pour abaisser à $+ 4^{\circ}$ une aussi grande masse d'eau. En outre, l'eau qui tient, comme celle de la mer, des sels en solution, ne gèle que bien au dessous de 0° .

Si des liquides nous passons aux gaz, nous trouvons la même mobilisation des particules substituée, dans la propagation du calorique, aux mouvemens du calorique lui-même. Au premier abord, on est tenté de croire que la chaleur du soleil, en traversant l'air, l'échauffe; mais on s'aperçoit aisément qu'il n'en est pas ainsi. L'air n'est pas plus chauffé par le calorique solaire qui le traverse, que ne l'est la lentille de verre, au moyen de laquelle vous le condensez vers un même point. Il en serait de même des vitres, si, comme l'air, elles étaient parfaitement transparentes (1).

(1) Vous pouvez objecter qu'en présentant au feu une lame du verre le plus blanc, le calorique ne la traverse pas sans l'échauffer. Il y a ici une distinction à faire sur laquelle nous reviendrons tout-à-l'heure.

C'est de la terre (et non pas directement du soleil) que vient à l'air son calorique. La terre et les objets qu'elle porte sont, en ce cas, comme un vase chauffé, dans lequel l'air s'échauffe par le contact des parois.

La couche d'air, immédiatement en contact avec la terre, chauffée par elle et dès-lors spécifiquement plus légère, s'élève, faisant place à une autre couche d'air, qui, par le contact de la terre, s'échauffe, et monte à son tour. Vous pouvez observer ces mouvemens à l'aide de la poussière fine que le soleil dore et que l'air ascendant ou descendant entraîne, comme l'eau, tout-à-l'heure, entraînait la sciure de chêne. De là le froid excessif et les neiges perpétuelles des plus hautes montagnes: l'air chauffé par le contact de la terre, ne pouvant monter jusqu'à ces couches atmosphériques raréfiées qu'autant que sa raréfaction égalerait la leur, c'est-à-dire qu'autant que toutes les parties inférieures auraient été chauffées. C'est à ces dilatactions et contractions de l'air par variation de température que sont



des tous ses mouvemens, désignés sous les noms de *courans d'air*, de *vents, réguliers ou irréguliers*.

Mais continuons d'observer les mouvemens du calorique et sa communication d'un corps à un autre. Supposons une barre de fer chauffée par un bout : le calorique sera conduit de proche en proche jusqu'à l'autre extrémité. Mais, là, s'arrêtera-t-il ? s'arrêtera-t-il, dans toute la longueur de cette barre, à la surface ? se bornera-t-il à échauffer l'air contigu à cette surface ?

Cette question nous conduit à l'observation d'un nouvel ordre de faits qui se renouvellent autour de nous sans cesse, mais que le thermomètre seul pouvait rapporter à leur véritable origine. Il s'agit du mouvement du calorique, à distance ; de son mouvement, d'un corps opaque à un autre, à travers les corps transparens intermédiaires ou à travers le vide. Que ce mouvement ait lieu de la part des corps lumineux, tels que le soleil, la flamme, le charbon ou

le fer rougis, personne ne l'ignore (1). Qu'il en soit de même d'un morceau de fer chauffé fortement, sa surface lumineuse, — le fer du coiffeur et celui de la repasseuse, approchés de la joue, le disent assez. Mais ce que l'on ne soupçonne guère, c'est que le même fait s'étende à tous les corps opaques sans exception, quelle que soit leur température, de sorte que cet envoi de calorique soit réciproque entre les corps opaques placés en regard l'un de l'autre. Ce que l'on ne soupçonne guère, c'est que, par ce mouvement réciproque, un échange continuuel de calorique ait lieu, à distance (comme au contact), jusqu'à ce que, par le fait d'une égale diffusion (et, si l'on peut employer ici ce mot, d'une sorte d'*équilibre*), les corps soient amenés à la même température ; de sorte aussi, dans le cas où l'un de ces corps est le

(1) Vous savez, du reste, qu'à distance la flamme (gaz chauffé au blanc) donne bien moins de chaleur que le charbon rougi. Un feu flambant, un feu dans lequel le charbon rougi est en partie caché, n'est donc pas le plus avantageux à distance.



nôtre, que nous ne sentions plus, à distance, ni chaleur, ni fraîcheur.

On a donné le nom de *rayonnement* à cette émission de calorique par les corps obscurs comme par les corps lumineux : le calorique paraissant agir, dans ce cas, comme la lumière, que l'on suppose envoyée en tous sens et en ligne droite, sous formes de *traits* ou de *rayons invisibles*.

Par cette émission de calorique, *les corps opaques qui, d'un côté, du moins, n'ont au-devant d'eux aucun autre corps opaque*, émettant du calorique sans en recevoir, se refroidissent, de ce côté, indéfiniment. *Les corps opaques qui sont en présence, à température égale*, recevant, par cette émission de calorique, autant qu'ils dépensent, conservent la même température. *Des corps opaques à température inégale, qui sont en présence*, le plus chaud, émettant plus de calorique qu'il n'en reçoit, se refroidit; le plus froid, recevant plus de calorique qu'il n'en émet, s'échauffe. Cela continue jusqu'à ce que, l'un ayant acquis ce que l'autre perd, et l'échange tournant toujours au profit du corps le plus froid, ils

atteignent la même température et restent dès-lors stationnaires.

A l'émission de calorique, de ces corps, correspond une absorption de calorique, par l'autre.

Il ne faut pas confondre cette émission de calorique avec le renvoi pur et simple ou, comme on dit, avec la *réflexion de calorique*, qui a lieu à la surface des corps polis, placés devant un corps rayonnant. Ce renvoi est précisément l'inverse de l'absorption. Le calorique, dans ce cas, tombe et rebondit, en quelque sorte, sur la surface polie sans s'arrêter ni pénétrer. L'état thermal du corps réflecteur n'est pas changé. (1)

La réflexion du calorique est un des faits les plus généralement connus. Elle a lieu, comme celle de la lumière, en faisant l'*angle de réflexion égal à l'angle d'incidence* (2).

(1) Cela ne doit pas être entendu absolument; il n'y a pas de corps parfaitement réflecteur ou parfaitement absorbant. Toute surface polie absorbe une partie du calorique qu'elle reçoit, et de même, sans doute, toute surface absorbante réfléchit une partie du calorique qui lui arrive à distance.

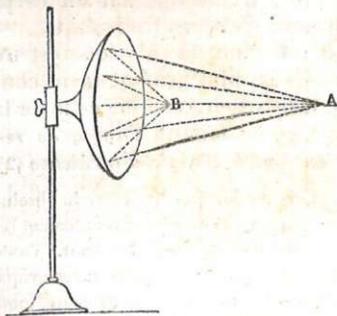
(2) Voy. le *Simple discours SUR LA LUMIÈRE*,



Mettez un charbon allumé dans un tuyau de tôle, dirigé à angle aigu, je suppose, vis-à-vis un miroir plan, et placez un thermomètre dans la direction où le calorique serait renvoyé si la réflexion avait lieu sous un angle pareil, vous voyez aussitôt le thermomètre monter : en toute autre position, il reste stationnaire.

Nous pouvons disposer l'expérience autrement, d'après ce que nous avons dit, dans notre entretien sur la lumière, de la réflexion, à la surface des miroirs concaves.

Si l'on place en A, un charbon



rougi, la flamme d'une chandelle,

— le calorique rayonnant, dont la direction est ici figurée par les plus longues lignes, sera réfléchi, dans la direction des lignes courtes qui, toutes inclinées les unes vers les autres, en sens inverse des premières, se croisent et se rencontrent en B. Que de l'amadou, l'extrémité soufrée d'une allumette, la mèche charbonnée d'une chandelle éteinte, ou bien encore la boule d'un thermomètre, se trouvent là, ils attesteront qu'il y a, dans cet endroit, autant de calorique qu'il en rayonne de l'une des faces du corps A. Aucun autre point ne produit ici le même effet. Approchez la boule thermométrique du corps A, vous voyez la colonne liquide baisser aussitôt. C'est qu'à ce point, à ce *foyer de réflexion*, toute la chaleur rayonnée par A, de ce côté, est réunie. Faut-il ajouter que la position du foyer serait autre, si l'on déplaçait le corps chaud; que s'il était en B par exemple, les lignes courtes de notre figure représenteraient les rayons calorifiques incidens (ou tombans); et les longues lignes, les rayons calo-



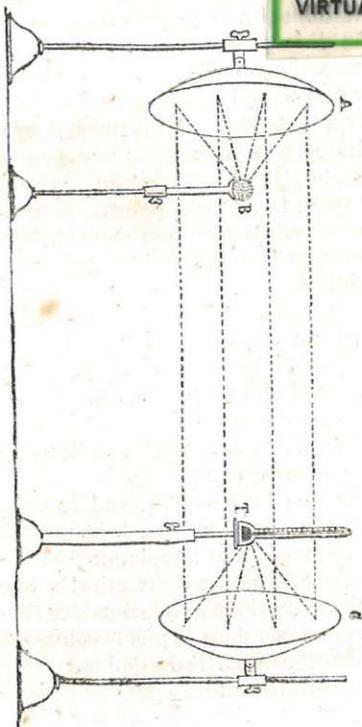
riques renvoyés ou réfléchis. Ce serait alors en A que serait le foyer de réflexion et l'accumulation du calorique rayonné.

L'emploi des miroirs concaves, en réunissant ainsi le calorifique rayonné, permet d'en rendre les effets beaucoup plus apparens; c'est seulement pour le rayonnement des surfaces obscures que ce secours est nécessaire. (1)

Deux miroirs concaves, placés l'un vis-à-vis de l'autre, à la distance de dix à douze pieds, nous peuvent donner le spectacle de l'échange de calorique, par rayonnement, entre deux corps placés à leur foyer, jusqu'à ce que l'égalité de température soit obtenue entre eux. La première expérience de ce genre est due à

(1) Tout le monde a entendu parler des célèbres expériences du Jardin des Plantes, dans lesquelles *Buffon*, au moyen de miroirs concaves, formés de petites glaces, fondit tous les métaux avec de la chaleur solaire réfléchie, à 25, 30 et 40 pieds de distance du miroir; enflammant le bois à 200 et même à 210 pieds. Voyez son *Histoire naturelle*; 6^e mémoire.

MM. de Saussure et Pictet. Au foyer de l'un des miroirs, était placée la



boule d'un thermomètre (T); au foyer de l'autre, un boulet de 54 millimètres (B), chauffé au rouge et refroidi au point de ne plus être lumineux dans l'obscurité. En six minutes, le thermomètre monta de 10 degrés et demi; tandis qu'en dehors du foyer et au voisinage même du boulet, il s'élevait, au plus, de deux degrés. Les lignes pointillées vous indiquent la direction dans laquelle les rayons invisibles du calorique sont envoyés du boulet au miroir A; puis, réfléchis vers le miroir concave C; puis, une seconde fois, réfléchis, de ce dernier miroir vers la boule du thermomètre. Le boulet est-il remplacé par une petite bouteille d'eau bouillante: le thermomètre monte de même.

Veut-on séparer la lumière de la chaleur: l'on remplace le boulet par la flamme d'une bougie, et l'on interpose entre les deux miroirs une plaque de verre que la lumière traverse, mais dans lequel le calorique s'arrête, en partie du moins.

Qu'arriverait-il si, laissant le thermomètre au foyer du miroir C, on

substituait au boulet non plus de l'eau chaude ou la flamme d'une bougie, mais un morceau de glace? — D'après ce que nous avons dit de l'échange continu et inégal de calorique entre les corps qui sont (de près ou à distance) à des températures différentes, le résultat est facile à prévoir.

Dès que le morceau de glace est au foyer du miroir A, le thermomètre baisse, au foyer de l'autre miroir.

Cela voudrait-il dire que le froid est réfléchi? non, sans doute; mais que, dans l'échange de calorique par rayonnement, les rôles sont ici changés; que c'est, à présent, le thermomètre qui est le corps chaud; que c'est lui qui fait office de boulet; que c'est lui qui, donnant plus qu'il ne reçoit, s'appauvrit en fait de calorique.

La glace, malgré les apparences contraires, émet aussi du calorique; mais elle en reçoit du thermomètre plus qu'elle n'en émet, et s'échauffe. Ce n'est donc pas à une émission de froid par la glace, mais à une émission de calorique (sans compensa-



tion équivalente) par le thermomètre, qu'est dû son refroidissement.

C'est au même fait qu'est dû le refroidissement que nous éprouvons, à distance, de la part des murailles en plâtre, en pierre, en marbre; en un mot, de la part de tous les corps opaques qui se trouvent d'une température plus basse que la nôtre. La surface de notre corps se conduit alors comme le thermomètre vis-à-vis de la glace.

Les différens corps ou les surfaces différentes des mêmes corps supposés à une température pareille, n'émettent pas, par rayonnement, la même quantité de calorique. Ce fait a été découvert à-la-fois, en 1804, par *Rumford*, alors en Bavière, et par *Leslie*, à Londres. Ces deux observateurs ont été conduits par les expériences relatives à la vérification de ce fait, à l'emploi d'un thermomètre à air très sensible et exclusivement destiné à l'indication des changemens de température d'un point donné, indépendamment des variations thermales de l'air environnant.

L'instrument, adopté par *Rumford*, se compose d'un tube horizontal, coudé, à chaque bout, en un redressement vertical que termine une boule. Une goutte d'esprit-de-vin coloré est au milieu du tube horizontal. La moindre addition de calorique arrive-t-elle à l'air de l'une des boules, l'air se dilate de ce côté, et fait voyager, vers l'autre, la bulle de liquide. « La sensibilité de cet instrument est si grande, écrit *Rumford* (*Mémoire sur la chaleur*, p. 143) que, lorsqu'il se trouve à la température de 10° à 12°, la chaleur rayonnante de la main, quand elle est présentée à l'une des boules, à la distance d'un mètre, suffit pour faire avancer la bulle d'esprit-de-vin, de plusieurs millimètres; et l'influence refroidissante d'un disque métallique d'un décimètre, à la température de la glace fondante, fait marcher la bulle de liquide en sens contraire, avec une vitesse très visible à l'œil. » Le tube horizontal est gradué, à droite et à gauche, à partir de l'une et de l'autre extrémité de la bulle liquide, placée au milieu.



L'instrument de *Leslie* diffère à peine de celui de Rumford. Le tube horizontal, entièrement rempli d'esprit-de-vin, est plus court. Les deux redressements verticaux, également terminés en boule, sont plus élevés. L'un d'eux porte une échelle de graduation, à partir du niveau du liquide, qui est le même, au commencement de l'opération, dans les deux branches.

Ces instrumens indiquant la différence de température entre les deux boules, dans un milieu pareil, ont reçu le nom de *thermomètres différentiels*. Celui de Rumford est distingué sous le nom de *thermoscope*.

Appliquons cet instrument à la mesure de l'inégal rayonnement des diverses surfaces.

Pour cela, présentons successivement au miroir concave de la page 58, différentes surfaces, d'égale température (au point A, je suppose), et plaçons *l'une des boules* du thermomètre différentiel au point B. Pour mieux satisfaire aux conditions de dimension et de température égales, dans les surfaces éprou-

vées, prenons, comme *Leslie*, une seule et même boîte de fer-blanc, de forme de dé ou de cube, et remplie d'eau chaude. L'une des faces sera simplement noircie avec du noir de fumée; la suivante sera recouverte de papier blanc; la troisième, d'une plaque de verre; la quatrième gardera son étamage. Tournons successivement chacune de ces faces vers le miroir.

Commençons par la face noircie : l'air de la boule thermométrique se dilate considérablement. Eprouvons, à cette heure, le papier blanc : l'air de la boule thermométrique se rapproche un peu de sa dimension primitive. Cette surface n'émet donc pas autant de calorique que la surface noircie. Passons à la surface de verre : le thermomètre indique une émission plus faible de calorique. Avec la surface de fer-blanc, l'émission de calorique indiquée est plus faible encore.

Un léger refroidissement de l'eau peut être pour quelque chose dans ce résultat. Pour vous convaincre que ce refroidissement est bien loin



de jouer ici le rôle principal (sans même renouveler l'eau et vous assurer par un thermomètre qui y plonge, qu'elle est à la même température), substituez à la surface de fer-blanc la surface noircie : l'air, dans la boule du thermomètre différentiel, se dilate aussitôt plus fortement, bien que l'eau ait dû se refroidir encore davantage.

Vous voyez, par ces exemples, qu'entre un habit noir et un habit blanc, maintenus par la chaleur du corps à la même température, l'habit noir émettra beaucoup plus de calorique, en perdra plus par rayonnement, que le blanc, et conséquemment se refroidira plus vite.

Vous demanderez peut-être comment, avec cette inégalité de rayonnement, les corps peuvent arriver, dans leur échange de calorique à distance, à une température égale, et comment, arrivés à cette température et continuant de rayonner inégalement, ils ne se refroidissent pas au-dessous de la température des objets environnans. Cela tient à ce que les corps qui émettent le plus



de calorique par rayonnement sont aussi ceux qui, dans cet échange à distance, en absorbent le plus.

Supposez quatre cubes de fer-blanc remplis d'eau chaude et entièrement recouverts, l'un, de noir de fumée, l'autre, de papier, l'autre, de verre, le quatrième, de son enduit d'étain poli ; supposez, dis-je, ces quatre cubes dans une chambre, où tous les objets, de loin et de près, seraient à la température de l'eau chaude. Malgré leur inégalité de rayonnement, ces cubes, noirs ou blancs, ternes ou polis, n'éprouveraient aucun changement de température, parce que chacun d'eux absorberait du calorique en proportion de son rayonnement.

Il n'en serait pas de même dans le cas où les objets environnans seraient à une température plus basse. Supposez que le cube noir absorbat 400 rayons de calorique dans le temps où le cube de fer-blanc n'en absorberait que 200 ; si le premier en émettait 800, dans le temps où le second n'en émettait que 400, le cube noir serait refroidi le premier à la tempéra-

ture des objets environnans. Du moment que l'égalité de température serait établie, les deux cubes recevant et donnant, l'un 400 rayons, l'autre 200, il n'y aurait plus lieu, pour eux, à un changement de température. Le calorique rayonné vers les corps, qui sont de *mauvais rayonnans*, ces corps étant aussi de *mauvais absorbans*, est renvoyé, réfléchi vers les corps qui l'envoient. Les mauvais absorbans sont les meilleurs réflecteurs.

Il est assez naturel que le pouvoir d'absorption soit en opposition avec celui de réflexion; que plus un corps accueille de calorique, moins il en repousse, et d'un autre côté, que le rayonnement corresponde à l'absorption; qu'un corps émette d'autant plus qu'il reçoit davantage.

Vous voyez que, eu égard seulement à la perte de calorique par rayonnement, les métaux polis retiennent mieux la chaleur que les métaux ternes. Ainsi, par exemple, le brillant, dans les théières métalliques, ne serait pas sans avantage.

D'une autre part, plus la surface des corps que l'on veut faire chauffer, est polie, moins ils absorbent de calorique, moins ils s'échauffent vite. De là le respect qui est dû à l'enduit extérieur des cafetières et des chaudières. Le plaisir de les voir briller est acheté aux dépens du combustible. Les habits qui rayonnent le plus (les habits noirs et bleus), les habits qui, par ce rayonnement, conservent le moins la chaleur du corps, sont aussi ceux qui absorbent le mieux le calorique envoyé du dehors, du soleil, par exemple, ou bien des corps que le soleil chauffe, l'été. Ils sont donc plus défavorables, en cette saison, que les habits blancs. Le blanc convient l'hiver, à l'ombre, et l'été, au soleil. De cette façon, l'ours blanc du nord a seul le costume qui convient aux saisons extrêmes. Les habitans de l'Afrique sont noirs en tout temps; mais il est à remarquer qu'une matière huileuse fait, pour eux, de la peau, une surface réfléchissante plutôt qu'absorbante. De même, les Lapons, selon *Rumford*, évitent, en partie, la déperdition de



calorique par rayonnement, au moyen de divers enduits oléagineux.

Je vous laisse à penser quelles conséquences pratiques ressortent de ces faits dans les usages économiques, dans l'enduit des murs à espaliers, dans le revêtement intérieur des cheminées, le revêtement extérieur des poêles, ou bien encore dans le revêtement en pierre, en plâtre, en bois, en papier, en étoffes, des parois intérieures de nos habitations (des murs, du plancher, du plafond); dans l'usage des rideaux, des tours de lits, des tapis. C'est sur l'inégale absorption des surfaces blanches et brunes qu'est fondé le moyen très simple dont on se sert, dans les Alpes, pour accélérer la fonte des neiges. Étendez sur de la neige des morceaux de papier de différentes couleurs. Vous la verrez fondre d'abord sous les couleurs les plus foncées. Les montagnards, dans ce but, se bornent à la saupoudrer de terre ou de cendre. (1)

(1) Tout le monde sait que si l'on con-

Entre les faits qui se rattachent à ces mouvemens de calorique, nous venons de parler, il en est un qui, bien que connu de tout le monde, dans ses résultats, était resté, presque jusqu'à ce jour, inconnu dans ses circonstances principales : c'est le fait de la *rosée*.

Qu'est-ce, dans son résultat, que la *rosée*? l'humidité dont certains corps, tels que les feuilles, le papier, le bois, se recouvrent, après le coucher du soleil. Ce n'est ni un brouillard, ni une pluie; ce n'est pas non plus une vapeur qui s'élève de terre. Qu'est-ce donc? La condensation, le changement en eau de la vapeur invisible, du gaz aqueux, mêlé à l'air ou dissous dans l'air: condensation analogue à celle que nous offrent, à l'intérieur, les

centre la lumière et la chaleur du soleil sur un point; au moyen d'une lentille de verre (ou, comme on dit, d'un *verre ardent*),—du papier blanc, du linge blanc, de la laine blanche, s'échauffent à peine, tandis que du papier noir, du linge noir, de la laine noire, brûlent sur-le-champ.



vitres refroidies au dehors, l'hiver; ou bien la bouteille que l'on apporte, l'été, parfaitement sèche, de la cave; ou bien encore les murs de pierre, lors du dégel, alors qu'ils n'ont pas encore eu le temps, après les grands froids, de se mettre au niveau d'une température plus douce. Tous ces exemples ont cela de commun que les objets sur lesquels le gaz aqueux de l'air se condense et se dépose, sont d'une température plus basse que l'air qui les touche.

Mais, lors de la formation de la rosée, est-ce un fait que les objets où cette humidité se dépose, sont à une température plus basse que l'air qui les touche? On n'est guère tenté de le croire; car on ne voit pas, au premier abord, ce qui pourrait produire cette inégalité de température. Cependant l'analogie conduit à rechercher si cette inégalité de température se retrouve dans le fait de la rosée, quitte à lui chercher plus tard une cause.

L'expérience est bien facile. Il suffit de mettre un thermomètre en contact avec la substance qui se re-

couvre de rosée, et d'en suspendre un autre, en l'air, à quelque distance au dessus. Cette épreuve apprend qu'en effet *la substance qui se recouvre de rosée est plus froide que l'air.*

Reste à savoir si le froid précède la formation de la rosée ou la suit. Que la formation de la rosée soit accompagnée de froid, tout le monde le sait; mais on est généralement porté à croire que le froid est l'effet et non la cause.

La réponse à cette question est dans l'examen des substances qui se couvrent de rosée et de celles qui ne s'en couvrent pas.

Vous pouvez remarquer qu'il ne se produit pas de rosée à la surface des métaux polis; qu'il s'en produit, au contraire, beaucoup sur le verre, non-seulement à la surface supérieure, mais parfois aussi à la surface inférieure (ce qui, par parenthèse, exclut l'idée d'une chute de haut en bas, d'une pluie).

Le verre et le métal sont également polis. Il faut donc chercher, dans leur texture, la circonstance



qui les distingue ici. Observez d'autres corps polis : vous apercevez bientôt que, parmi eux, ceux-là se couvrent le plus de rosée qui sont les plus *mauvais conducteurs* du calorique ; tandis que les corps polis, *bons conducteurs*, ne s'en recouvrent pas.

Observez les surfaces rudes, ternes, inégales ; vous trouvez de nouvelles distinctions. Ainsi le fer dépoli, surtout s'il est peint ou noirci, se couvrira plutôt de rosée que du papier verni. L'état des surfaces a donc ici beaucoup d'influence. Voyez les mêmes substances que tout-à-l'heure, mais sans poli : elles se rangent entre elles, dans un autre ordre, par rapport à la quantité de rosée qui s'y dépose. Les surfaces qui, par rayonnement, émettent le plus de calorique, sont, en cette occasion, celles qui prennent le plus de rosée.

Considérons-nous les mêmes substances sous le rapport de leur densité ; nous trouvons que les corps d'une texture serrée, tels que les métaux, les pierres, sont peu favorables à la production de la rosée ;

que les corps d'un tissu lâche, tels que le drap, la laine, le coton, l'éponge, y sont très favorables. Les copeaux s'humectent beaucoup plus que le bois massif. Ainsi donc ce sont ici les corps mauvais conducteurs qui prennent le plus de rosée.

Ces circonstances ne sont pas les seules avec lesquelles la présence ou l'absence de la rosée coïncide. On sait, par exemple, qu'elle ne se dépose jamais beaucoup dans les lieux abrités par de hautes murailles, ou par des appentis, et qu'il n'en forme pas du tout dans les nuits où le ciel reste couvert de nuages. Les nuages laissent-ils, ne fût-ce que pour quelques minutes, une portion du ciel à découvert, un dépôt de rosée se forme aussitôt, au dessous. Dans ce dernier exemple, la liaison de ce qui se passe au ciel et de ce qui se passe à terre, ne saurait être mise en doute. Un ciel découvert est donc une circonstance indispensable ; un ciel couvert, un obstacle absolu.

C'est à ces diverses observations à rendre raison du fait que nous avons constaté, à savoir que, dans la for-



mation de la rosée, la surface qui s'en recouvre est à une température plus basse que l'air environnant.

Les corps qui, à leur surface extérieure, émettent ou rayonnent le plus facilement leur calorique, et qui, en même temps, par leur peu de conductibilité, réparent le plus lentement cette perte, doivent évidemment se refroidir le plus, lorsque, leur caloriques'échappant par rayonnement, il ne leur en est pas rendu par réflexion ou par contre-rayonnement. Or, un ciel découvert offre justement la circonstance où cette perte de calorique sans compensation, a lieu. Les nuages et les autres abris s'opposent au refroidissement des corps, en leur envoyant du calorique (1); mais, à ciel décou-

(1) Il ne faut pas s'étonner de la rapidité avec laquelle ces rayonnemens et contre-rayonnemens ont lieu, à de si grandes distances. Tout porte à croire que le rayonnement du calorique se fait avec la même vitesse que celui de la lumière; c'est-à-dire à raison de plus de 70,000 lieues par seconde. Que dans l'expérience du boulet et du thermo-

vert, le calorique, rayonné par ces corps, s'échappe sans retour.

La conclusion, c'est que la diminution de la rosée, sur une surface, est due à ce que cette surface perd plus de calorique par rayonnement qu'elle n'en peut regagner, dans le même temps, par conductibilité (dans son contact avec le sol) ou bien par absorption, c'est-à-dire à la suite d'un contre-rayonnement. Cette surface devient ainsi plus froide que l'air qui la touche, et condense l'humidité que cet air tenait à l'état de gaz invisible.

Vous me pardonnerez, je pense, de m'être arrêté à cet exemple, où se trouvent résumés la plupart des faits que nous avons passés en revue tout-à-l'heure, et qui fournit matière à des vérifications faciles.

mètre (page 61), un écran intercepte le rayonnement du corps chaud: les deux miroirs concaves fussent-ils à 30 mètres de distance, on n'aperçoit aucun intervalle entre le moment où l'on retire l'écran et l'effet des rayons, deux fois réfléchis, sur la boule thermométrique.



M. *Prévoſt*, dans ſes *Recherches phyſico-mécaniques ſur la Chaleur*, publiées en 1792, avoit fait remarquer que le paſſage d'un nuage, au-deſſus de notre tête, dans une nuit ſereine, fait à l'inſtant monter un thermomètre ſuspendu dans l'air. Il avoit rappelé, en outre, qu'au printemps et en automne, il ne gèle pas quand le ciel eſt couvert. En 1777, M. *Pictet* avoit vu le thermomètre baiſſer de deux degrés, en janvier, lors du paſſage d'un nuage au-deſſus. Son attention comme celle de M. *Prévoſt*, paraît s'être portée, ſurtout, dans ces obſervations, vers le fait d'un exauſſement de température par la préſence des nuages, c'eſt-à-dire comme ces phyſiciens l'ont publié les premiers, par contre-rayonnement.

De 1800 à 1815, le docteur *Wells*, en Angleterre, reprit la même queſtion, portant ſon attention ſur les diverſes cauſes du refroidiſſement de certains corps, à la ſurface de la terre. MM. *Prévoſt* et *Pictet* connoiſſaient auſſi bien le rayonnement de la terre vers le ciel, que le

contre-rayonnement des nuages. Cependant il ſemble qu'ils n'ont pas été conſidéré, dans cette occaſion, qui fait obſtacle à la production de la roſée que ce qui la favoriſe; le contre-rayonnement d'en haut, que le rayonnement d'en bas. Auſſi n'eſt-ce guère que de la publication des obſervations de *Wells* en 1815, que date l'analyse minutieufe de ce fait important. — Je dois, en vous renvoyant, pour le détail des diverſes épreuves, au petit ouvrage de *Wells*, traduit par M. *Tordeur*, vous avertir que la juſteſſe de quelques-unes des remarques qu'il contient, a été conſtée en 1836, dans un mémoire de M. *Van Rooſbroeck*, couronné à Rotterdam.

La roſée n'eſt pas le ſeul effet du refroidiſſement des objets terreſtres, lorsqu'ils rayonnent, ſans réciprociété, vers les eſpaces ſupérieurs. Sans parler de la perte de calorique que nous ſenſons nous-mêmes, en pareil cas, et que nous attribuons par erreur à un refroidiſſement de l'air, — par une ſemblable déperdition de calorique ſans reſtitution, les



bourgeons à demi épanouis, les fleurs de pêcheurs, d'abricotiers, de cerisiers, etc., se dessèchent, gèlent ou brûlent. De là sans doute le nom de *lune rousse* à la lune qui, commencée en avril, devient pleine en mai, accusée jadis par les cultivateurs de jaunir et de roussir les fleurs printanières; de les brûler de sa lumière.

Pour garantir les arbres fruitiers et les légumes, de l'action supposée de la lune, les cultivateurs couvraient les légumes de paille ou de feuilles, dressaient des nattes *au-devant* ou même seulement *au-dessus* des arbres fruitiers. Le succès de leurs soins venait confirmer leur croyance; car, sous ces vêtements ou ces abris, les fleurs étaient préservées de la *brûture*. Les physiciens, de leur côté, contestaient à la lumière de la lune cette puissance malfaisante; et de fait, en condensant cette lumière, au moyen de lentilles de verre, on n'a jamais aperçu qu'elle affectât le thermomètre le plus sensible. Malheureusement les physiciens n'en tenaient pas là. Comme

les agriculteurs, ils allaient au-delà de l'observation, reléguant *la lune rousse* parmi les chimères **VIRTUAL MUSEUM** vantant super flues les précautions que l'on prenait contre elle.

Grâce aux expériences de MM. *Prevost* et *Pictet*, par rapport au contre-rayonnement des nuages, et à celles de M. *Wells*, par rapport à l'extrême refroidissement que subissent certains corps dépolis, colorés (dès lors très rayonnans), et d'ailleurs peu conducteurs, tels que sont les jeunes folioles, les pistils, les étamines, on sait aujourd'hui que les physiciens avaient raison contre la lune et que les agriculteurs avaient raison contre les physiciens. « Il est bien vrai, comme les agriculteurs le disaient, écrit M. *Arago* (*Annuaire du bureau des Longitudes, pour 1833; Des actions qu'exerce, dit-on, la lune.*); qu'avec des circonstances thermométriques toutes pareilles de la part de l'air, une plante pourra être gelée ou ne l'être pas, suivant que la lune sera visible ou cachée derrière les nuages. Leur erreur, c'était d'attribuer cet effet à la lumière de l'astre.

La lumière lunaire est ici le signe d'une atmosphère sereine; mais elle n'en est que le signe. L'observation des agriculteurs était incomplète. C'est à tort qu'on la supposait fausse. Pour être dans la vérité, il fallait reconnaître que, dans ces faits, la lune est témoin et non pas acteur. »

Étendez un mouchoir sur quatre bâtons, ou bien ouvrez un parapluie, vous voyez le thermomètre marquer, au-dessous, trois ou quatre degrés de plus qu'à l'air libre.

Les mouvemens du calorique à distance (1), nous le montrent se conduisant à tous égards, comme cette chose invisible et impalpable qui, par son action, non plus sur toutes les extrémités nerveuses, mais sur l'une d'elles, nous donne les perceptions de couleur. Comme la lumière, il se réfléchit; comme elle, il traverse le vide, l'air, le verre, l'eau; comme elle et avec elle,

(1) Ne pouvons-nous pas rapprocher les faits de conductibilité des faits de rayonnement, et ne voir, dans les premiers, qu'un rayonnement à de très petites distances?

il s'infléchit dans sa route, se réfracte, en passant d'un milieu d'une autre d'une densité différente comme elle, au moyen de cette réfraction, il peut être recueilli et concentré à une certaine distance d'une lentille de verre. Cependant il ne se confond pas entièrement avec la lumière. Nous en avons vu déjà plusieurs preuves (1); nous allons en voir encore quelques-unes.

Le calorique lumineux ou obscur, rayonné par les objets terrestres, alors même qu'il est dû à l'exposition de ces objets au soleil, semble différer complètement du calorique solaire, à l'égard de son passage à travers les corps transparents: il est intercepté et retenu par le verre ou les autres corps transparents et les chauffe, tandis que le calorique solaire les traverse sans les chauffer. *Mariotte* en fit le premier la remarque. *Scheele* la vérifia par un grand nombre d'expériences curieuses. Les observations plus récentes de *M. De la Roche* ont conduit

(1) Dans notre entretien SUR LA LUMIÈRE.



à reconnaître que le calorique n'é-
tait ainsi retenu entièrement, au pas-
sage, que dans le cas où la tempéra-
ture de la source de chaleur était
moins élevée; qu'une portion de
calorique traversait le verre, lors-
que la température était plus forte;
que cette portion de calorique, ainsi
transmise, était plus considérable à
mesure que s'accroissait la tempé-
rature de la source.

Depuis, un jeune observateur,
M. Melloni, a appliqué à l'étude
de la transparence des corps pour
le calorique, ou, si l'on veut, de la
transcalidité des corps, un instru-
ment plus sensible encore que le
thermomètre différentiel. C'est le
thermomètre galvano - magnétique
dont je vous ai parlé (page 4). Je
suis obligé d'en différer la descrip-
tion jusqu'à ce que nous ayons vu
ensemble le *galvanomètre*, qui en est
une des parties principales. Ce nou-
vel appareil dû à *M. Nobili*, et dans
lequel se prêtent un mutuel secours
les mémorables découvertes de *Gal-
vani*, de *Volta*, de *MM. OErsted*,
Ampère, *Seebeck*, a permis à *M. Mel-*

loni de constater, par rapport à la
transcalidité des corps, des faits en-
tièrement inattendus; des faits qui
non-seulement attestent que le calo-
rique ne se conduit pas toujours
comme la lumière, mais encore font
penser qu'il y a plusieurs sortes de
calorique qui ne se conduisent pas
les unes comme les autres. Je vous
ferai part, à notre prochaine entre-
vue, de quelques-uns des résultats
obtenus par *M. Melloni*. (1)

Jusque ici nous avons parlé du
calorique en mouvement; du calo-
rique qui nous impressionne, dans
le cas, du moins, où il n'est pas mobi-
lisé par portions égales entre notre
corps et les corps attenans ou dis-
tans. Il nous reste à parler d'un ca-
lorique immobile, enfermé dans les
corps, sans que, par conductibilité
ou par rayonnement, le thermomè-
tre ou notre sens de la chaleur en
soient le moins du monde affectés.

Nous avons parlé, tout-à-l'heure,

(1) Voyez le *Simple discours SUR L'HIS-
TOIRE DE L'ÉLECTRICITÉ, troisième partie.*

de l'absorption de calorique qui a lieu par un corps vis-à-vis d'un autre qui émet ou réfléchit du calorique; dans ce cas, le corps absorbant rayonne autant qu'il absorbe; le calorique absorbé ne reste pas en repos : mobilisé par rayonnement et par conductibilité, ou bien, dans les liquides et les gaz, par la mobilisation des particules dilatées et allégées. Il nous reste à parler d'une absorption de calorique dans laquelle cette chose essentiellement mobile est fixée pour plus ou moins de temps. Comme vous le devinez sans peine, une telle absorption a dû rester longtemps ignorée. La découverte en date seulement du siècle dernier. Hâtons-nous d'arriver aux faits qui l'attestent.

Mettez dans un four chaud des poids égaux de corps de diverse nature, par exemple, un kilogramme de plomb, un kilogramme de craie et un kilogramme de lait. Ils s'élèveront graduellement à la température du four; mais le plomb y arrivera le premier; la craie, la seconde, et le lait, le dernier.

Peut-être supposerez-vous que cela tient au volume inégal de ces corps; que le plomb, étant le plus petit, est, par cela seul, chauffé plus vite; n'oubliez pas que le plomb, offre ainsi moins de surface au calorique rayonné par le four et qu'il en reçoit, dès-lors; dans le même temps, moins que la craie et le lait.

On a tiré de ce fait une autre conclusion : c'est que des corps de nature différente, chauffés à la même température thermométrique, ne contiennent pas la même quantité de calorique; l'on a dit, en regardant ces différens corps comme des vases, que ces corps n'offrent pas, à poids égal, la même *capacité* au calorique. C'est ainsi, pour éclaircir cette comparaison par une autre, c'est ainsi qu'un litre de petites billes et un litre de petits cailloux, admettraient, sans augmenter de volume, des quantités de sablon très inégales; auraient, pour le sablon, des *capacités* très différentes. De même encore, si l'on plonge dans l'eau des morceaux de bois égaux en volume, le liquide s'introduit peu-à-



peu dans les interstices de chacun d'eux ; mais chaque espèce de bois admet une quantité d'eau différente ; non-seulement en raison de la largeur de ses pores, mais encore selon que la matière dont ces pores sont construits, repousse l'eau ou l'attire. Les bois résineux , bien que très poreux, auront, dans ce cas, très peu de *capacité* pour l'eau.

Veillez remarquer que, dans ce dernier exemple, on pourra connaître (à l'augmentation de poids, je suppose) si tel bois a, plus que tel autre, de *capacité* pour le liquide ajouté ; mais on ne connaîtra point, par là, quelle est la quantité totale de liquide que le bois contient, parce qu'on ignore la quantité d'eau qu'il contenait avant l'immersion. Cette remarque s'applique à la mesure du calorique. L'expérience ne nous dit pas la quantité totale que les corps en renferment ; mais elle nous apprend que, pour passer de tel état thermométrique à tel autre état thermométrique, ils en admettent des quantités additionnelles différentes. Ces quantités peuvent servir

à différencier entre eux les corps, à les spécifier. De là le nom de *calorifique spécifique*, au calorique dans les divers corps pour qu'ils produisent des effets thermométriques pareils. De là le nom de *capacité spécifique*, à cette admission de quantités de calorique différentes, pour une température égale.

L'inégalité de temps que les divers corps mettent, en des circonstances extérieures égales, à atteindre la même température, n'est pas la seule preuve de l'inégale *capacité* de ces corps pour le calorique. On pourrait même croire que cette inégalité de temps tient à la différence de conductibilité. Il est un autre moyen de s'assurer que les corps, en montant à la même température, n'ont pas acquis des quantités égales de calorique ; c'est de renverser l'expérience : de refroidir ces corps, de façon à recueillir et à mesurer le calorique qu'ils abandonnent.

Prenez pour exemple, les trois corps chauffés tout-à-l'heure ; plongez-les dans trois masses d'eau égales, qui soient à la même température :



vous estimerez la quantité relative de calorique que ces corps contiennent par celle qu'ils communiquent, en se refroidissant, à ces masses d'eau. L'eau dans laquelle vous avez mis le plomb est la moins échauffée; celle où vous avez plongé la craie, vient ensuite; l'eau la plus chaude est celle où se trouve le lait. (1)

Il est une autre manière de se

(1) D'où vient, demanderez-vous peut-être, qu'avec des *capacités* différentes pour le calorique, — le plomb, la craie, le lait s'arrêtent, dans le four, à une seule et même température qui est celle du four lui-même? C'est un nouvel exemple de l'égalité d'échange de calorique (par rayonnement et absorption) entre les corps qui sont à des températures égales.

Nous ne devons pas nous étonner de voir le thermomètre garder le silence sur cette inégale absorption de calorique. La température d'un corps ne nous dit pas plus ce qu'il renferme de calorique, que la seule inspection d'un litre de cailloux ensablés, ne peut nous dire ce qu'il contient de sable; pas plus que la vue de convives dont la faim est également apaisée, ne nous dit la quantité de nourriture que chacun d'eux a prise,

convaincre de l'inégale *capacité* des corps pour le calorique. Mélon kilogramme d'eau et un kilogramme de mercure, l'une à $+ 50^{\circ}$, l'autre à $+ 100^{\circ}$. Quelle sera la température de la totalité? la moyenne entre ces deux chiffres, pensez-vous; $+ 75^{\circ}$. Il en serait ainsi de deux kilogrammes d'eau, ou de deux kilogrammes de mercure. Mais ici le résultat est bien différent: le mélange, au lieu d'être à $+ 75^{\circ}$, est à $+ 88^{\circ}$. Ainsi l'eau ne perd que 12 degrés, tandis que le mercure en gagne 38. D'où vous pouvez conclure que la *capacité* du mercure pour le calorique est moindre que celle de l'eau. Ici encore, comme dans l'exemple du plomb, de la craie, du lait, vous voyez le meilleur conducteur retenir le moins de calorique. La conductibilité est précisément l'opposé de cette sorte de liaison ou de combinaison par laquelle du calorique semble rester fixé dans les interstices des corps. Le mélange des liquides peut être, comme vous voyez, employé à la mesure de leurs *capacités spécifiques*.



C'est en notant la différence de temps que les divers corps mettent à s'échauffer au même point, que nous avons fait connaissance avec leurs capacités spécifiques. Nous pourrions prendre pour mesure du même fait, le temps que les divers corps mettent à se refroidir. On enferme, pour cela, les substances éprouvées dans un même vase métallique à surfaces polies, et maintenu, dans le vide, à l'abri de l'air froid. Ce procédé suggéré par *Mayer* et perfectionné par *Leslie*, n'a obtenu toute la précision désirable qu'entre les mains de MM. *Dulong* et *Petit*. Entre autres résultats, ces deux observateurs ont trouvé que la capacité des corps pour le calorique, va, dans chacun d'eux, en augmentant, à mesure que sa température s'élève. L'un des fruits les plus précieux de leurs recherches, c'est que la *capacité* des corps simples serait en raison de leur densité; ce qui revient à dire que les particules (ou les atomes) de ces corps auraient tous la même capacité pour le calorique.

On prend, en général, la *capacité*

spécifique de l'eau pour unité, et l'on y rapporte celle des autres corps. Vous pouvez voir, dans les ouvrages de physique, la table des capacités spécifiques, mesurées d'après les divers procédés qui viennent de nous occuper. — L'air et les différens gaz, comparés sous une même pression, à même température et même volume, ont tous la même capacité pour le calorique.

L'absorption de calorique qui a lieu à des degrés différens dans les divers corps, pour qu'ils soient élevés à la même température, une fois faite, ne dure qu'autant que les échanges de calorique avec les corps attenans ou distans, par conductibilité ou par rayonnement, se font sur le pied de l'égalité.

Il est un autre fait dans lequel a lieu une absorption du calorique, mais sans que cette absorption change rien à la température des corps, c'est-à-dire sans qu'il soit ajouté ou retranché à la quantité de leur calorique mobile, de leur calorique ther-



mométrique, de leur calorique sensible. Dans cet autre fait, comme dans l'absorption du calorique spécifique, les corps dont il s'agit recèlent une certaine quantité de calorique, qui semble indissolublement unie ou même combinée avec eux, et fixe, au moins, dans certaines limites de température et de pression. Le résultat de cette absorption de calorique, ce n'est plus, en ces limites, du moins, un état de dilatation ou de contraction, un état de chaleur ou de froid, mais un état de texture ou de densité distinct; mais c'est assez vous annoncer un fait qui a lieu sans cesse autour de nous, à notre insu. Il est temps de le montrer.

Mêlez un kilogramme d'eau froide à 0° , avec un kilogramme d'eau chaude à $+75^{\circ}$. Quelle sera la température de la totalité? $+37^{\circ}$ et demi, c'est-à-dire la température moyenne des deux liquides composans. L'eau chaude se trouvera, de la sorte, avoir conservé 37° et demi: elle aura cédé



les autres 37° et demi à l'eau froide. Ce résultat n'a rien d'impré-

Répetons l'expérience avec une seule modification. A notre kilogramme d'eau à $+75^{\circ}$ mêlons (au lieu d'un kilogramme d'eau à 0°) un kilogramme de glace, également à 0° . En un mot, sans rien changer au poids ni à la température des objets mélangés, substituons, dans cet essai, un solide à un liquide. Le kilogramme de glace baignée dans l'eau chaude ne manquera pas de fondre; et, en peu de temps, au lieu d'un kilogramme d'eau, nous en aurons deux. Mais quelle sera leur température? Supposeriez-vous que ce soit comme tout-à-l'heure, la moyenne entre 0° à $+75^{\circ}$, c'est-à-dire $+47^{\circ}$ et demi; vous seriez bien loin de compte.

La température de ces deux kilogrammes d'eau sera seulement 0° . Il ne restera pas trace des 75° que manifestait l'eau chaude. La quantité de calorique que ces 75° représentent se sera interposée entre les particules de l'eau solide, associée, combinée avec elles, de façon à ne les pas quitter pour augmenter la température

des objets attenans ou environnans. Il y aura donc, dans l'eau liquide, une quantité de calorique qui la distinguera de l'eau solide; du calorique sans action sur le thermomètre ou nos organes; du calorique immobilisé, insensible, caché, ou, comme on dit avec un mot latin, du calorique *latent*.

Ce calorique latent, la perte de calorique sensible subie par notre eau chaude, nous en donne la mesure. Notre expérience nous apprend qu'un kilogramme de glace absorbe, pour passer ou en passant à l'état liquide, la quantité de calorique qui, accumulée, comme calorique spécifique, dans un kilogramme d'eau, porterait cette eau de 0° à $+75^{\circ}$. (1)

(1) Ce fait nous fournit un moyen de plus de mesurer la capacité spécifique des corps pour le calorique; moyen applicable dans le cas où le procédé des mélanges ne l'est pas. Si un corps, entouré de glace de tous les côtés, transmet du calorique à cette glace jusqu'à ce qu'il soit lui-même à la température de 0° , — en plaçant successivement divers corps, au milieu de la glace, on aura, par le

On peut, au reste, observer ce fait directement. Que l'on mette dans une étuve deux ballons égaux en poids et en volume, dont l'un contienne un demi-kilogramme de glace à 0° , et l'autre un demi-kilo-

mesurage de la quantité d'eau formée, la mesure de la quantité de calorique abandonné par les divers corps pour un même abaissement de température.

L'instrument dans lequel Lavoisier et Laplace ont mis, les premiers, ce moyen en usage, a reçu le nom de *calorimètre*. Le corps dont on désire connaître la capacité pour le calorique, est enfermé dans un vase creux de métal, placé lui-même au centre d'une sphère de glace, que l'on tient autant que possible, par les enveloppes, à l'abri des influences extérieures. L'eau qui s'écoule de la glace est recueillie et mesurée avec soin. Que les corps éprouvés soient tous à $+75^{\circ}$; la quantité de glace fondue par chacun d'eux, comparée à celle que produit un égal poids d'eau de $+75$ à 0° , donnera leur capacité spécifique, rapportée à celle de l'eau. Il ne s'agit plus ici d'un indicateur de température, mais de la mesure des quantités de calorique nécessaires (et différentes d'un corps à un autre) pour que tel changement de



gramme d'eau à 0°. Au moment où cette eau arrive à + 75°, la glace de l'autre ballon est entièrement fondue, et la température de l'eau, en laquelle cette glace est convertie, est encore de 0°. Ces ballons, placés dans les mêmes circonstances, ont dû recevoir des quantités de calorique égales, et cependant l'un d'eux présente un excédant de 75°. La quantité de calorique à laquelle cette température répond, pour l'eau, est donc incluse dans l'eau à l'état latent, alors même que l'eau est, à la température la plus basse, à 0°.

L'eau n'est pas toujours plus chaude que la glace : elle peut se maintenir à 0° et même, en quelques circonstances, à plusieurs degrés au dessous de 0°, sans se solidifier. La glace peut rester à 0°, sans fondre. La différence essentielle, bien que longtemps inaperçue, c'est que l'eau

température soit obtenu ; il s'agit d'un *thermomètre du calorique spécifique*. Faut-il ajouter que cet instrument ne nous apprend rien sur les quantités de calorique incluses dans les corps, au-dessous de 0°.

liquide renferme, de plus que l'eau solide, la quantité de calorique équivalente à 75° de température thermométrique.

La découverte de ce fait remonte à 1757 et est due au docteur *Black* : c'est l'une des plus remarquables de la physique moderne. Elle conduit à regarder les liquides comme composés de la matière qui forme le corps solide, et de calorique, sans que l'addition de ce dernier ingrédient change rien au poids ni à la température du composé (1). Voulez-vous voir, dans ce cas (comme dans celui du calorique spécifique) le calorique occupé à remplir les interstices d'un corps, à la manière du sablon entre les cailloux : vous pourrez dire qu'un corps, à l'état liquide, a une bien plus grande capacité pour le calorique

(1) Jusq'à cette découverte, on avait toujours pensé, la glace fondant à 0°, qu'il suffisait, à cette température, d'une faible addition de calorique pour opérer la fusion. On ne se doutait pas qu'il ne fallait pour cela rien moins que la quantité de calorique qui élève de l'eau liquide de 0° à + 75°.

absorbable que le même corps à l'état solide. Cette énorme absorption de calorique, lors du passage d'un corps de l'état solide à l'état liquide, ne serait ainsi qu'un exemple de l'inégalité de capacité pour le calorique.

En physique, comme en toute autre étude, c'est assez de lire pour apprendre; ce n'est pas assez pour retenir. Il faut avoir été témoin des faits, sinon pour y croire, du moins pour qu'ils se gravent profondément dans la mémoire. Rien, du reste, n'est si simple que de vérifier la mémorable observation du docteur *Black*.

La neige que renferme cette bouteille de verre blanc a été refroidie par un des moyens dont nous parlerons tout-à-l'heure, à cinq ou six degrés au dessous de 0, comme l'indique le thermomètre que vous y voyez plongé. Exposons-la à la flamme d'une lampe. Vous voyez le thermomètre monter jusqu'à ce qu'il atteigne 0°; mais il s'y arrête, et cependant la lampe continue de brûler au dessous de la bouteille.—Voici la

neige qui fond. Le thermomètre ne devrait-il pas s'élever au dessus de la glace? — Vous avez sous les yeux l'exemple de cette grande absorption de calorique dont nous venons de parler. Le calorique, ajouté sans interruption par la lampe, est employé tout entier à convertir la neige en eau, à remplir la capacité de l'eau liquide, pour le calorique, capacité bien plus grande que celle de l'eau solide. En un mot, ce calorique tout entier devient *latent*.

Voici la neige entièrement fondue. Le thermomètre recommence à monter. Le calorique, qui s'ajoute maintenant à l'eau, n'est pas fixé, immobilisé en elle: il se communique par conductibilité et par rayonnement. Vous remarquerez sans doute que le thermomètre ne s'élève pas aussi promptement dans l'eau, qu'il le faisait dans la glace avant qu'elle commençât à fondre. C'est une nouvelle preuve que la capacité de l'eau pour le calorique est plus grande que celle de la glace; qu'il faut, même après sa grande absorption à 0°, plus de calorique qu'à la glace, pour élever



sa température d'un degré thermométrique.

Voici l'eau qui commence à bouillir : vous voyez le thermomètre arrêté de nouveau ; la lampe continue de brûler sous la bouteille, et le thermomètre ne monte plus : il est à $+100^{\circ}$ et il y reste. Que devient le calorique ajouté sans interruption par la flamme ? Il se fait un nouveau changement dans la capacité de l'eau pour le calorique, et, dans ce changement, l'eau, non plus à l'état de liquide, mais à l'état de vapeur invisible, ou mieux, de gaz aqueux (1), absorbe

(1) Il ne faut pas confondre la *vapeur d'eau invisible*, le *gaz aqueux*, qui ne reste pas à l'état de gaz (par la pression atmosphérique ordinaire), au-dessous de $+100^{\circ}$, avec sa condensation, dans l'air, sous forme de fumée blanche, de nuage, de brouillard. Cette fumée, si l'on regarde au travers, au microscope, quelque surface noire, n'offre qu'un amas de petites bulles qui enclosent de l'air comme la pellicule aqueuse des bulles de savon.

Nous avons ici l'occasion de remarquer ce qui se passe, dans le fait de l'ébullition de l'eau. Notre bouteille de verre blanc nous laisse

le calorique ajouté par la flamme au thermomètre, au liquide, à la bouteille. Ce calorique reste fixé, immobilisé dans le gaz qui se forme. C'est un nouvel exemple de *calorique latent*.

Combien l'eau gazeuse contient-elle de calorique latent de plus que l'eau liquide ? Une expérience inverse va nous l'apprendre. Il nous suffit de refroidir cette eau gazeuse, cette eau invisible, au dessous de $+100^{\circ}$. Le gaz aqueux, condensé,

voir des choses que les bouilloires opaques ne permettent pas de distinguer. Vous pouvez reconnaître, par exemple, que le gaz aqueux se forme au fond du vase et traverse, sous forme de bulles, la masse entière du liquide. Les petites bulles, au commencement du chauffage, sont de l'air qui était, soit en solution dans l'eau, soit adhérent aux parois du vase. — Dans l'évaporation, le gaz aqueux se forme à la surface du liquide, par une sorte de solution aérienne : la seule condition est que l'air contigu n'en soit pas déjà saturé ; ce qui sera d'autant moins que l'air sera plus rapidement renouvelé. C'est ainsi que les mouvemens de l'air favorisent l'évaporation.



reparaîtra sous forme liquide. Le calorique, précédemment absorbé lors de la formation du gaz, sera dégagé. Rendu à sa mobilité première, il passera aux corps environnans et modifiera leur état thermal. Conduisons le gaz aqueux invisible, qui s'élève de notre bouteille, tant que le thermomètre y reste à $+100^{\circ}$, conduisons ce gaz à travers un tube, dans un verre d'eau froide. En peu d'instans, l'eau du verre est chaude. D'où vient cet échauffement si rapide? Le gaz n'a-t-il produit cet effet que parce qu'il est à la température de $+100^{\circ}$, et n'a-t-il agi, dans ce cas, que de la façon qu'aurait agi un égal poids d'eau de $+100^{\circ}$, mêlé à cette eau froide? Mais que serait un égal poids d'eau? Une goutte peut-être(1).

(1) Un litre d'eau, transformé en gaz (à $+100^{\circ}$ et sous une pression atmosphérique égale à une colonne de mercure de 76 centimètres), occuperait 1696 litres 4 décilitres, d'après les expériences de M. Gay-Lussac. Est-il besoin de dire que le volume de ce gaz augmente, comme celui des autres gaz, avec la température.

Une goutte d'eau à $+100^{\circ}$, une goutte d'eau bouillante, eût-elle changé la température de l'eau?

Si ce gaz échauffe si rapidement l'eau froide, c'est parce qu'il s'y change en liquide, c'est parce qu'il y redevient eau; c'est parce que l'eau possède une bien moindre grande capacité pour le calorique; c'est parce que la quantité de calorique que l'eau gazeuse contenait absorbée et que l'eau liquide ne peut contenir, devient libre et se communique aux corps environnans. L'échauffement de l'eau du verre est donc dû, pour la plus grande partie, au calorique latent du gaz aqueux, redevenu libre. Cette quantité de calorique est énorme. Si nous faisons traverser 5 kilogrammes et demi d'eau froide à 0° , par un seul kilogramme de gaz aqueux, de vapeur d'eau invisible à $+100^{\circ}$, cette vapeur redeviendrait liquide et nous aurions 6 kilogrammes et demi d'eau à $+100^{\circ}$.

Ainsi donc dans la composition d'un kilogramme de vapeur il entre,



à l'état latent, la quantité de calorique nécessaire pour porter un kilogramme d'eau (dont on empêcherait l'évaporation) de 0° à $+550^{\circ}$, ou cinq fois et demi la quantité de calorique nécessaire pour porter un kilogramme d'eau de 0° à $+100^{\circ}$.

Partout où un kilogramme d'eau à 0° se transforme en vapeur, il doit se saisir, pour que cette transformation ait lieu, et il se saisit en effet sur les corps environnans, de 550° de calorique. Ces 550° de calorique, la vapeur les restitue intégralement aux surfaces sur lesquelles sa condensation en eau s'opère. Voilà, pour le dire en passant, tout l'artifice du chauffage à la vapeur, soit que l'on fasse (comme nous l'avons fait, tout-à-l'heure, dans le verre d'eau froide) arriver le gaz aqueux dans le liquide même que l'on veut chauffer, soit que l'on veuille seulement chauffer des surfaces métalliques sur lesquelles la condensation a lieu, des tuyaux, de doubles cloisons, etc. Ce chauffage indiqué en Angleterre, en 1745, par le colonel *Cook*, fut appliqué, pour la première fois, en grand, par

Watt, en 1783, dans sa maison. Notre verre d'eau froide, si rapidement chauffé, vous montre avec quel avantage la calorique latent de la vapeur peut être appliqué au chauffage des bains, à la cuisson des alimens, au chauffage des édifices particuliers et publics, au séchage du linge, aux infusions tinctoriales, à la dessiccation de la poudre, à la distillation des vins. « On se fait une idée inexacte de ce procédé, écrit *M. Arago* (*Éloge historique de Watt*), quand on suppose que le gaz aqueux ne va porter au loin, dans les tuyaux où il circule, que la chaleur sensible ou thermométrique. Les principaux effets sont dus à la chaleur de composition, à la chaleur cachée, à la chaleur latente, qui se dégage au moment où le contact de surfaces froides ramène la vapeur, de l'état gazeux, à l'état liquide. »

Ainsi donc, lors du passage de l'état solide à l'état liquide (1), absorption

(1) Ce changement d'état a lieu, dans le mercure, à près de -39° ; dans l'eau, à 0° ; dans le phosphore, à $+40^{\circ}$; dans le potas-



d'une grande quantité de calorique aux dépens des corps environnans. Lors du retour de l'état liquide à l'état solide, dégagement de la même quantité de calorique, au profit des corps environnans. — Lors du passage de l'état liquide à l'état gazeux (1), absorption d'une énorme quantité de calorique, aux dépens des corps environnans. Lors du retour de l'état gazeux à l'état liquide, restitution de cette énorme quantité de calorique.

L'observation de ces changemens d'état a plus d'un fait à nous montrer qui contredit les idées communes. Il est assez bizarre, par exemple, dans le cas où la solidification a lieu par refroidissement, que cette solidification soit accompagnée d'un dégagement de chaleur. Peut-être

sium, à $+ 58^{\circ}$; dans le soufre, à $+ 108$; dans l'étain, à $+ 228^{\circ}$.

(1) Ce changement d'état a lieu, dans l'acide sulfureux, à $- 10^{\circ}$; dans l'éther, à $+ 36^{\circ}$; dans l'esprit-de-vin, à $+ 78^{\circ}$; dans l'eau pure, à $+ 100^{\circ}$; dans l'acide sulfurique, à $+ 326^{\circ}$.

serez-vous curieux de sentir la chaleur dégagée par l'eau, au moment de sa transformation en glace. C'est une expérience à réserver pour le mois de janvier. Il vous suffira de mettre un thermomètre dans un verre d'eau. L'eau perdant de son calorique libre, vous verrez le thermomètre descendre. Vous pourrez même, si l'eau est parfaitement en repos, y voir le thermomètre descendre au-dessous de 0° . Que la congélation commence, vous verrez le thermomètre remonter à 0° . Le liquide restant acquiesce, en ce cas, le calorique abandonné par celui qui se solidifie.

Je puis vous montrer un exemple plus frappant encore du même fait. Le liquide que vous voyez dans cette fiole est une forte solution de l'un des sels que notre examen des cristaux nous a fait connaître, le sulfate de soude ou sel de Glauber. On l'a bouchée au moment où le liquide bouillait. Par le refroidissement, la vapeur qui remplissait le col de la fiole s'est condensée, et la partie supérieure est ainsi à-peu-près vide. La secousse que produit la rentrée



de l'air suffit pour que le liquide soit, en un instant, changé en solide. La quantité de calorique dégagée est si grande que l'on peut à peine tenir le verre.

L'extinction de la chaux présente un autre exemple du dégagement de calorique, lors du passage de l'état liquide à l'état solide. Vous savez quelle chaleur se produit quand on verse de l'eau sur la chaux vive. Cette chaleur est due au *calorique latent* de l'eau qui, dans ce cas, passe de l'état liquide à un état de solidification plus dense encore que dans la congélation. Le même fait a lieu, à des degrés divers, dans l'auge du maçon, par exemple, lors de la solidification de l'eau qui se combine avec le plâtre (calciné ou *cuit*, c'est-à-dire, seulement, privé d'eau).

A l'absorption du calorique qui a lieu dans le passage de l'état liquide à l'état gazeux sont dus plusieurs faits journallement éprouvés, notamment lors de l'évaporation de l'eau : le froid que vous ressentez en étendant le bras hors d'un bain d'eau tiède ; la fraîcheur que pro-

duit l'arrosage des rues, le refroidissement de l'eau dans les bouteilles de terre poreuse, usitées dans les pays chauds. Plus l'évaporation est rapide, plus le froid instantané est vif. Telle est, à la surface de la peau, et surtout sous un courant d'air, sous le souffle, la volatilisation de l'eau de Cologne ou mieux encore celle de l'éther.

Il n'est pas besoin, vous ai-je dit (1), de passer le détroit du Prince-Régent pour être témoin de la solidification cristalline du mercure ; l'on peut, à peu de frais, se procurer, ici même, le froid du pôle. Vous devinez sans peine, à cette heure, comment ce résultat est obtenu.

Entre les faits où, par changement d'état des corps, une grande quantité de calorique est absorbée aux dépens des corps environnans, nous avons le choix.

Le refroidissement qui accompagne la liquéfaction des corps solides, vous est bien connu. Vous n'aurez pas fait fondre, à froid, dans de

(1) *Simple discours* SUR LES CRISTAUX.



l'eau, du sel ordinaire, du salpêtre, de l'alun, du sulfate de soude, pour vos observations cristallographiques, sans remarquer combien la température du liquide s'abaisse. Un thermomètre, dans le liquide, vous donne la mesure du refroidissement.

Dans la liquéfaction du mélange d'une partie de sel ordinaire et de trois parties de neige ou de glace pilée (d'un kilogramme de l'un, par exemple, et de trois kilogrammes de l'autre), le froid produit peut aller de 0° à -20° ; à -20° , l'eau gèle et se sépare du sel. C'est le procédé dont se servent les glaciers, et auquel on a le plus souvent recours dans les laboratoires. Au moyen de ce froid, on peut, en toute saison, (beaucoup mieux qu'en plein air au mois de janvier) se procurer de l'eau liquide de 5 ou 6 degrés au-dessous de 0° , pour l'expérience dont je vous parlais tout-à-l'heure (page 111).

Le plus grand froid, obtenu de cette façon, est celui que produit, en se liquéfiant, le mélange du chlorure de chaux, bien desséché et en pou-

dre fine, avec moitié, les deux tiers ou tout au plus une égale quantité de neige. Ce mélange se fait dans un vase de bois, entouré d'un autre rempli de neige et de sel. La liquéfaction prend aux corps environnans 50 à 55 degrés de chaleur. Qu'elle ait lieu aux dépens du *calorique latent* du mercure, il se solidifie; il cristallise.

Vous trouverez dans les livres de physique l'indication d'un grand nombre d'autres mélanges réfrigérans; tous fondés sur le même fait. Les proportions des substances à mélanger ne sont pas toujours indifférentes. Ainsi huit parties de neige et dix d'acide sulfurique faible donnent un froid de -55° , à -68° ; tandis qu'une partie de neige et quatre d'acide produisent une chaleur suffisante pour vaporiser, en partie, l'eau du mélange.

Les faits que nous venons de voir, nous montrent qu'à l'état thermal des corps est intimement lié leur état physique, leur structure, leur texture. Réciproquement, à leur état physique est intimement lié leur état



thermal. Chauffez un liquide ; vient un moment où de l'état liquide , il passe à l'état de gaz. Diminuez la pression à laquelle un liquide est soumis , il passe de l'état liquide à l'état de gaz. Que la *gazéification* ait lieu par application de chaleur ou par diminution de pression, le résultat est le même : ce résultat , c'est une absorption de calorique qui peut être telle que les corps environnans passent , en sens inverse, de l'état gazeux à l'état liquide ou même à l'état solide. Voici donc la dilatation et surtout la gazéification, — par diminution de pression, — à comparer entre les procédés de refroidissement artificiel.

Que de l'air soit comprimé par un piston dans un petit cylindre de cuivre : le calorique que cet air (à son premier état d'expansion) tenait absorbé , est , en partie , exprimé , comme l'eau d'une éponge que l'on presse. Sa quantité, sous une impulsion un peu vive , peut être telle que de l'amadou, attaché au piston, revient allumé. Cet appareil compose un briquet très simple qui a eu beau-

coup de vogue, il y a quelques années. Vous pouvez imaginer une pression telle que la totalité calorique qui existe à l'état latent , dans l'air, en serait extrait, de façon que l'air passerait à l'état liquide. M. *Faraday* a réalisé cette idée, il y a quelques années, à l'égard de plusieurs gaz que l'on décorait, comme l'air, du titre de *gaz permanens*, mais qui ne sont tels que sous une certaine pression et dans certaines limites thermométriques ; de même que la vapeur d'eau est un gaz permanent à toutes les températures supérieures à $+ 100^{\circ}$.

Quant à la diminution de la pression, au-dessus des liquides ou des gaz, il y a deux manières de l'obtenir : l'une, c'est d'agrandir l'espace, ce qui aurait lieu, par exemple, pour de l'air qui se trouverait sous le piston au fond d'un cylindre fermé par le bas, quand on élèverait le piston. L'autre, c'est de faire sortir une partie de l'air inclus dans cet espace, d'y faire un vide partiel. Dans les deux cas, le thermomètre, si sensible, de *Bréguet*, annonce, à



l'instant, un refroidissement de 20 à 25 degrés. Ainsi, une dilatation ne peut avoir lieu dans les gaz, sans que du calorique soit pris aussitôt aux corps environnans pour remplir, en quelque sorte, les interstices que cette dilatation élargit; de même que du calorique ne peut être communiqué aux gaz, sans que cette même dilatation s'ensuive.

L'air qui nous entoure est à l'état de ressort comprimé sous le poids des couches aériennes supérieures. Cette pression qui maintient cet air à l'état de densité où nous le voyons, fait obstacle à la gazéification des liquides. Si cette pression est moindre, soit par la soustraction d'une partie de l'air qui remplit un espace déterminé, soit par agrandissement de cet espace, sans addition d'air, soit enfin en faisant l'expérience à une plus grande hauteur dans l'atmosphère (1), la gazéification a

(1) A chaque ligne que le baromètre monte ou s'abaisse, le thermomètre, placé dans l'eau bouillante, monte ou s'abaisse de $\frac{8.4}{100}$ d'un degré.

lieu à un degré thermométrique inférieur, ou même sans chauffage apparent. Dans ce dernier cas, devinez sans peine que le gaz formé a pris son calorique latent, aux corps environnans; que la gazéification a coïncidé avec une notable production de froid.

Faisons bouillir de l'eau dans une fiole qui porte un bouchon traversé par un tube tiré à la lampe; la vapeur chassera l'air de la fiole et du tube. Fermons l'extrémité de celui-ci, en le fondant, et laissons refroidir la fiole. Il reste au-dessus du liquide, un espace vide ou tout au plus rempli de vapeur d'eau. Que la fiole soit plongée dans de l'eau glacée, l'eau qu'elle a gardée bout aussitôt, le vide étant refait par la condensation de la vapeur.

Qu'un peu d'eau soit placé dans une petite tasse sous la cloche de la machine pneumatique; dès que l'on y fait le vide, de la vapeur d'eau traverse le liquide comme s'il était sur le feu, et en sort, mais non pas assez vite pour que l'absorption qui a lieu, aux dépens des objets environnans,



aille jusqu'à solidifier l'eau restante. La vapeur formée est elle-même un obstacle à la vaporisation ultérieure. Mais si la vapeur formée était détruite au fur et à mesure; si le vide était refait sans cesse... le moyen, c'est de mettre sous la cloche une substance qui ait une grande affinité pour l'eau, par exemple de l'acide sulfurique. Le bouillonnement interrompu, un instant, par la pression qu'exerce sur le liquide la vapeur formée, recommence de lui-même, quand cette vapeur s'est combinée avec l'acide sulfurique. Des cristaux de glace ne tardent pas à paraître à cette même surface tout-à-l'heure bouillonnante.

La destruction de la vapeur formée peut être obtenue sans acide sulfurique, par simple condensation. Supposons que l'eau soit dans une boule de verre A, au bas d'un tube recourbé et terminé, à l'autre extrémité, par une seconde boule B; que l'on ait fait bouillir cette eau, et fermé la boule B, au moment où tubes et boules ne renfermaient plus que de l'eau liquide ou en vapeur. La

moindre addition de calorique suffira pour faire bouillir l'eau de la boule A; et, si par un refroidissement de la boule B, on condensait, au fur et à mesure, la vapeur émise par la boule A, le calorique nécessaire pour la gazéification finirait par être pris sur celui qui est nécessaire à l'eau pour sa liquéfaction, et « à force de bouillir, l'eau gèlerait. » (1)

Pour le refroidissement de la boule B, nous pouvons recourir à une évaporation rapide à celle de l'éther, par exemple. Que cette boule, enfermée dans un petit sac de flanelle humectée d'éther, soit introduite sous la cloche de la machine pneumatique; en moins d'une minute, grâce au froid produit par l'évaporation de l'éther dans le vide, la vapeur formée dans le tube se condense, et l'eau gèle dans la boule qui est au-dehors.

Une expérience, dont l'idée ap-

(1) Ce petit appareil, dont l'idée appartient à *Wollaston*, a reçu le nom de *cryophore*.



partient à *Leslie*, montre à-la-fois, dans leur corrélation, les deux faits contraires de la gazéification et de la solidification. Une petite fiole d'éther est mise dans un verre d'eau sous la cloche de la machine pneumatique ; dès qu'on a retiré une partie de l'air, l'éther se met à bouillir, sans chauffage, et l'eau gèle sans cause apparente de refroidissement. Un thermomètre dans le verre d'eau et un autre dans l'éther, montrent que la température y baisse de la même manière. L'éther se refroidit en même temps qu'il bout. Tant que la congélation dure, le liquide et le gaz sont à 0°. Avec deux verres de montre superposés (le verre de dessous à demi rempli d'eau), le résultat est instantané. A peine a-t-on retiré de l'air de la cloche, que l'on trouve les deux verres de montre unis par une couche de glace. (1)

(1) L'évaporation rapide de l'éther sulfurique, dans le vide, autour du mercure, le solidifie en trois ou quatre minutes et va jusqu'à produire un froid de — 60°. L'évaporation dans le vide de l'acide sulfureux,

C'est à l'absorption de calorique par les gaz liquéfiés au moyen de la pression, lors de leur retour à l'état gazeux, à la suite de la suppression de cette pression, que sont empruntés les plus grands froids aujourd'hui connus. Ces froids sont tels qu'en plusieurs exemples comme dans l'un de ceux que je vous citais tout-à-l'heure, ils peuvent aller jusqu'à nous donner, à l'état solide, une partie du gaz lui-même. C'est ainsi que *M. Thilorier* a enrichi les sciences et les arts d'un nouveau corps solide, d'une nouvelle sorte de neige ou de glace, celle qui présente, à l'état solide, l'une des substances que l'on osait à peine espérer de voir à l'état liquide : le gaz acide carbonique.

Soit un mélange, en vase clos, d'eau, d'acide sulfurique et de carbonate de soude (acide carbonique et soude). L'acide sulfurique se combine avec la soude et forme un sulfate de soude ; l'acide carbonique se

liquide à — 18° et bouillant à — 10°, donne, en peu d'instans, un froid de — 68°.



dégage. Le vase ne contient plus bientôt que de l'eau, du sulfate de soude et cet acide carbonique en partie à l'état de gaz comprimé, en partie à l'état liquide. Qu'une petite issue soit ouverte au gaz : de petits flocons de neige apparaissent.

Cette neige carbonique, mêlée à l'éther, absorbe, dans son évaporation rapide, le calorique de liquidité de trente ou quarante fois son poids de mercure. Ce métal peut alors se travailler sous le marteau.

Le refroidissement produit par une absorption de calorique, lors de la dilatation d'un gaz précédemment comprimé, vous explique la singularité que présentent les jets de vapeur des soupapes de sûreté. La machine à vapeur est-elle à basse pression, la température de cette fumée blanchâtre est insupportable; y plonger la main, c'est la mettre dans l'eau bouillante. La machine est-elle à haute pression (1); la main,

(1) C'est-à-dire la vapeur est-elle dans le cylindre à une température qui lui donne un ressort supérieur à celui de l'air.

chose étrange! peut rester impunément dans le cône de l'effluve de vapeur. C'est que, dans le premier cas, la vapeur, du même ressort que l'air, conserve sa densité et conséquemment sa température de 100°; tandis que dans le second, elle se dilate, et, se dilatant, absorbe du calorique aux corps environnans.

La compression de l'air et sa dilatation ultérieure, jointes à l'emploi de l'un des anciens procédés réfrigérans, avait précédemment permis à Hutton de solidifier l'esprit-de-vin le plus pur. Quelques parcelles de la neige carbonique de M. Thilorier suffisent pour cet effet.

Il nous resterait à savoir, mes amis, si le calorique, considéré soit comme une matière réelle, soit comme une cause répulsive quelconque, est, en définitive, en quantité fixe ou variable; si les prétendues productions de calorique ne sont pas toutes, comme



dans les exemples précédens de conductibilité, de rayonnement, de passage d'un état physique à un autre, — de simples déplacements sans addition. Il nous resterait à savoir si les différentes *sources de chaleur*, telles que le feu ou la combustion, la respiration, le frottement, la percussion, et diverses autres opérations mécaniques ou chimiques, accompagnées d'un dégagement de chaleur, — ne sont que des formes diverses du dégagement de chaleur qui accompagne le passage d'un état physique à un autre; le passage de l'état gazeux à l'état liquide; de l'état liquide à l'état solide. Il nous resterait à parler de l'origine de cette quantité de calorique que nous montre la terre, à sa surface; de l'origine de cette autre quantité de calorique qu'elle recèle dans ses profondeurs; de la chaleur actuelle du soleil; de ses rapports calorifiques actuels avec l'astre terrestre et les autres astres planétaires; des climats, des saisons. Ce sujet, nous menerait aujourd'hui trop loin. Il vaut mieux le réserver pour un

autre jour, dans toute son intégrité. (1)

(1) Voyez le *Simple discours* SUR LES SOURCES DE LA CHALEUR.

FIN.



TABLE.

	Pages.
Chaleur et calorique.....	1
Dilatation des corps solides, liquides, gazeux.....	8
Thermomètres à esprit-de-vin, à mer- cure.....	13
Thermomètre à air.....	31
Pyromètre.....	32
Divers emplois des dilatations et con- tractions.....	33
Conductibilité.....	39
Chauffage particulier des masses liqui- des ou gazeuses.....	46
Rayonnement et absorption.....	54
Réflexion.....	57
Différence de rayonnement calorifique des diverses surfaces.....	64
Formation de la rosée.....	73
Transparence des corps pour le calo- rique.....	86
Calorique spécifique.....	87
Calorique latent.....	95
Chauffage à la vapeur.....	109
Refroidissement artificiel.....	113
Sources de la chaleur.....	125

FIN DE LA TABLE.

