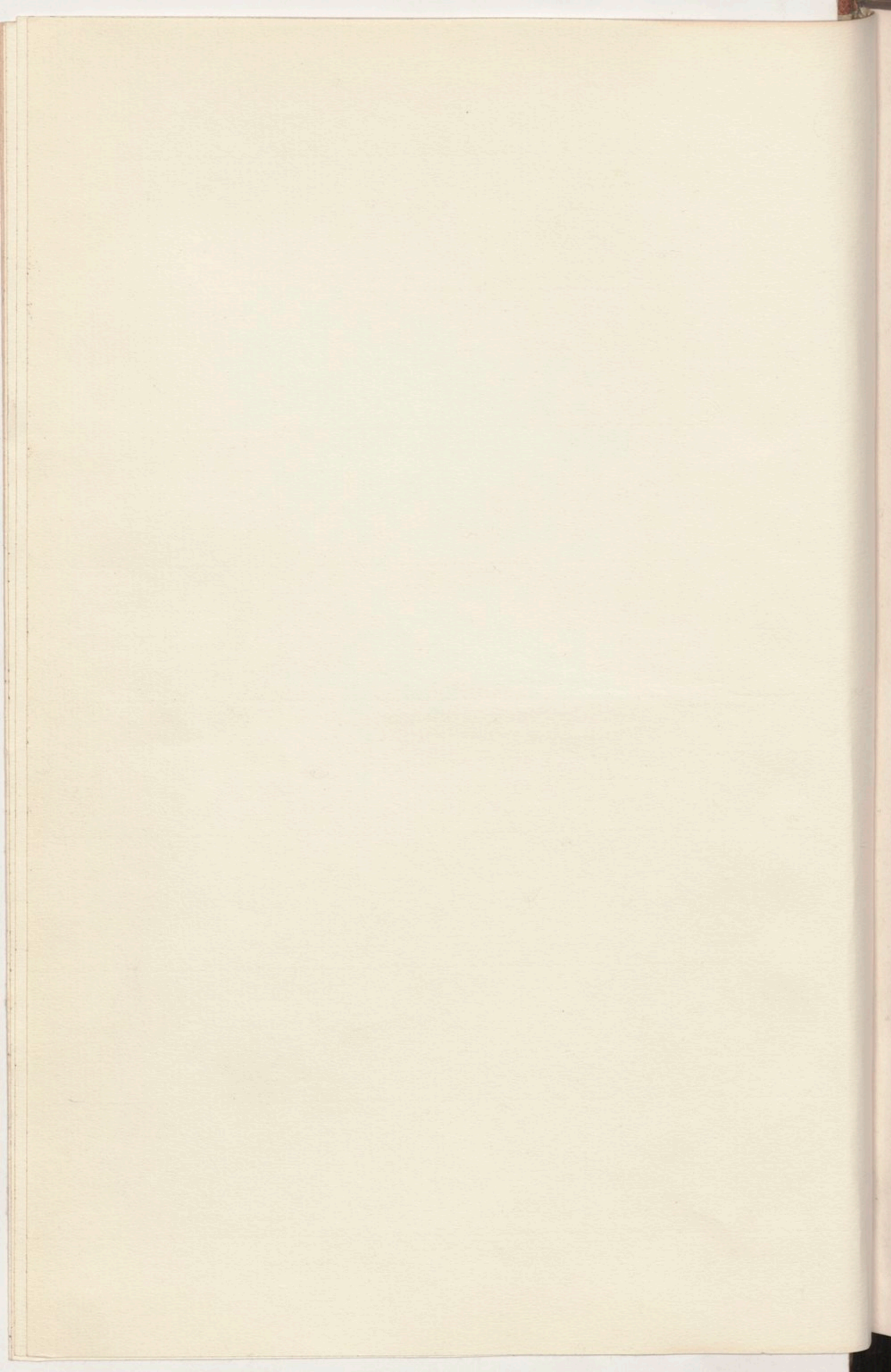


ŒUVRES COMPLÈTES
DE BUFFON

II





OEUVRES COMPLÈTES

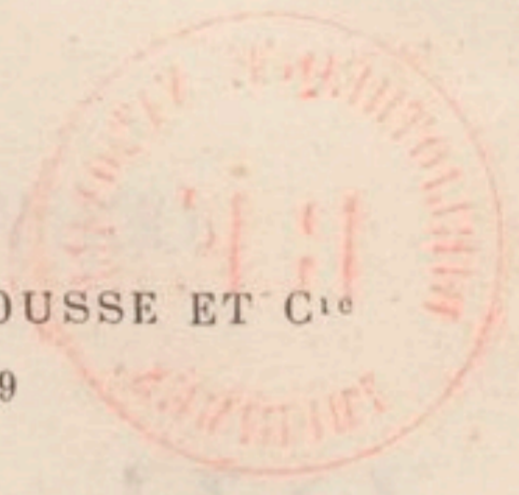
DE BUFFON

1771

II

4° S
572

1000



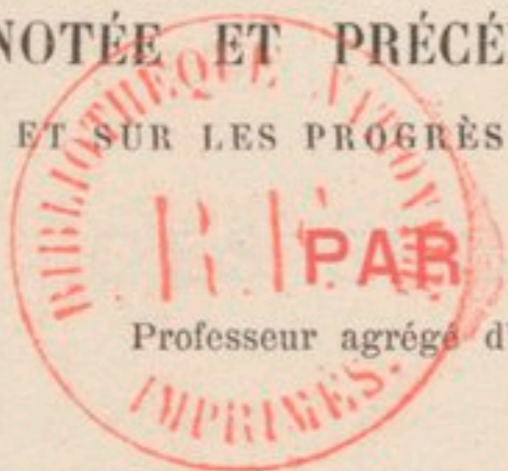
PARIS. — IMPRIMERIE V^{ve} P. LAROUSSE ET C^{ie}
19, RUE MONTPARNASSE, 19

DE BUREAU

OEUVRES
COMPLÈTES
DE BUFFON

NOUVELLE ÉDITION

ANNOTÉE ET PRÉCÉDÉE D'UNE INTRODUCTION SUR BUFFON
ET SUR LES PROGRÈS DES SCIENCES NATURELLES DEPUIS SON ÉPOQUE



PAR J.-L. DE LANESSAN
Professeur agrégé d'histoire naturelle à la Faculté de médecine de Paris

SUIVIE DE LA

CORRESPONDANCE GÉNÉRALE DE BUFFON

RECUEILLIE ET ANNOTÉE PAR M. NADAULT DE BUFFON

OUVRAGE ILLUSTRÉ
DE 160 PLANCHES GRAVÉES SUR ACIER ET COLORIÉES A LA MAIN
ET DE 8 PORTRAITS GRAVÉS SUR ACIER



TOME DEUXIÈME

ÉPOQUES DE LA NATURE. — MINÉRAUX



PARIS

LIBRAIRIE ABEL PILON

A. LE VASSEUR, SUCC^R, ÉDITEUR

33, RUE DE FLEURUS, 33



OEUVRES

COMPLÈTES

DE BUFFON

NOUVELLE ÉDITION

REVUE ET CORRIGÉE PAR M. DE LAMESSAN

ET SUPPLÉMENTÉE PAR M. DE LAMESSAN

PAR M. DE LAMESSAN

CORRESPONDANCE GÉNÉRALE DE BUFFON

ET DE SES CORRESPONDANTS

TOME PREMIER



PARIS

LIBRAIRIE ADEL PLOU

INTRODUCTION A L'HISTOIRE DES MINÉRAUX

DES ÉLÉMENTS

PREMIÈRE PARTIE

DE LA LUMIÈRE, DE LA CHALEUR ET DU FEU

Les puissances de la nature, autant qu'elles nous sont connues, peuvent se réduire à deux forces primitives, celle qui cause la pesanteur et celle qui produit la chaleur. La force d'impulsion leur est subordonnée; elle dépend de la première pour ses effets particuliers, et tient à la seconde pour l'effet général : comme l'impulsion ne peut s'exercer qu'au moyen du ressort, et que le ressort n'agit qu'en vertu de la force qui rapproche les parties éloignées, il est clair que l'impulsion a besoin, pour opérer, du concours de l'attraction; car si la matière cessait de s'attirer, si les corps perdaient leur cohérence, tout ressort ne serait-il pas détruit, toute communication de mouvement interceptée, toute impulsion nulle, puisque, dans le fait (*a*), le mouvement ne se communique et ne peut se transmettre d'un corps à un autre que par l'élasticité, qu'enfin on peut démontrer qu'un corps parfaitement dur, c'est-à-dire absolument inflexible, serait en même temps absolument immobile et tout à fait incapable de recevoir l'action d'un autre corps (*b*)? L'attrac-

(*a*) Pour une plus grande intelligence, je prie mes lecteurs de revoir la seconde partie de l'article de cet ouvrage qui a pour titre : *De la Nature, seconde vue*.

(*b*) La communication du mouvement a toujours été regardée comme une vérité d'expérience : les plus grands mathématiciens se sont contentés d'en calculer les résultats dans les différentes circonstances, et nous ont donné sur cela des règles et des formules où ils ont employé beaucoup d'art; mais personne, ce me semble, n'a jusqu'ici considéré la nature intime du mouvement, et n'a tâché de se représenter et de présenter aux autres la manière physique dont le mouvement se transmet et passe d'un corps à un autre corps. On a prétendu que les corps durs pouvaient le recevoir comme les corps à ressort, et, sur cette hypothèse dénuée de preuves, on a fondé des propositions et des calculs dont on a tiré une infinité de fausses conséquences; car les corps supposés durs et parfaitement inflexibles ne pourraient recevoir le mouvement. Pour le prouver, soit un globe parfaitement dur, c'est-à-dire inflexible dans toutes ses parties, chacune de ces parties ne pourra par conséquent être rapprochée ou éloignée de la partie voisine, sans quoi cela serait contre la supposition; donc, dans un globe parfaitement dur, les parties ne peuvent recevoir aucun déplacement, aucun changement, aucune action, car si elles recevaient une action, elles auraient une réaction, les corps ne pouvant réagir qu'en agissant. Puis donc que toutes les parties prises

tion étant un effet général, constant et permanent, l'impulsion qui, dans la plupart des corps, est particulière, et n'est ni constante ni permanente, en dépend donc comme un effet particulier dépend d'un effet général : car au contraire, si toute impulsion était détruite, l'attraction subsisterait et n'en agirait pas moins, tandis que celle-ci venant à cesser, l'autre serait non seulement sans exercice, mais même sans existence; c'est donc cette différence essentielle qui subordonne l'impulsion à l'attraction dans toute matière brute et purement passive.

Mais cette impulsion qui ne peut ni s'exercer ni se transmettre dans les corps bruts qu'au moyen du ressort, c'est-à-dire du secours de la force d'attraction, dépend encore plus immédiatement, plus généralement de la force qui produit la chaleur, car c'est principalement par le moyen de la chaleur que l'impulsion pénètre dans les corps organisés, c'est par la chaleur qu'ils se forment, croissent et se développent. On peut rapporter à l'attraction seule tous les effets de la matière brute, et à cette même force d'attraction, jointe à celle de la chaleur (*), tous les phénomènes de la matière vive.

J'entends par matière vive, non seulement tous les êtres qui vivent ou végètent, mais encore toutes les molécules organiques vivantes, dispersées et répandues dans les débris ou résidus des corps organisés; je comprends encore dans la matière vive celle de la lumière, du feu, de la chaleur, en un mot toute matière qui nous paraît être active par elle-même. Or cette matière vive tend toujours du centre à la circonférence, au lieu que la matière brute tend au contraire de la circonférence au centre; c'est une force expansive qui anime la matière vive, et c'est une force attractive à laquelle obéit la matière brute : quoique les directions de ces deux forces soient diamétralement opposées, l'action de chacune ne s'en exerce pas moins; elles se balancent sans jamais se détruire, et de la combinaison de ces deux forces également actives résultent tous les phénomènes de l'univers.

Mais, dira-t-on, vous réduisez toutes les puissances de la nature à deux forces, l'une attractive et l'autre expansive, sans donner la cause ni de l'une ni de l'autre, et vous subordonnez à toutes deux l'impulsion qui est la seule force dont la cause nous soit connue et démontrée par le rapport de nos sens; n'est-ce pas abandonner une idée claire, et y substituer deux hypothèses obscures?

A cela je réponds, que, ne connaissant rien que par comparaison, nous n'aurons jamais d'idée de ce qui produit un effet général, parce que cet effet appartenant à tout, on ne peut dès lors le comparer à rien. Demander quelle est la cause de la force attractive,

séparément ne peuvent recevoir aucune action, elles ne peuvent en communiquer; la partie postérieure, qui est frappée la première, ne pourra pas communiquer le mouvement à la partie antérieure, puisque cette partie postérieure qui a été supposée inflexible ne peut pas changer, eu égard aux autres parties; donc il serait impossible de communiquer aucun mouvement à un corps inflexible. Mais l'expérience nous apprend qu'on communique le mouvement à tous les corps; donc tous les corps sont à ressort, donc il n'y a point de corps parfaitement durs et inflexibles dans la nature. Un de mes amis (M. Gueneau de Montbeillard), homme d'un excellent esprit, m'a écrit à ce sujet dans les termes suivants : « De » la supposition de l'immobilité absolue des corps absolument durs, il suit qu'il ne faudrait » peut-être qu'un pied cube de cette matière pour arrêter tout le mouvement de l'univers » connu; et si cette immobilité absolue était prouvée, il semble que ce n'est point assez de » dire qu'il n'existe point de ces corps dans la nature, et qu'on peut les traiter d'impos- » sibles, et dire que la supposition de leur existence est absurde : car le mouvement pro- » venant du ressort leur ayant été refusé, ils ne peuvent dès lors être capables du mouve- » ment provenant de l'attraction, qui est par hypothèse la cause du ressort. »

(*) Buffon considère la chaleur comme une « force » indépendante de l'attraction et de l'impulsion; nous savons aujourd'hui que la chaleur n'est pas autre chose qu'une manifestation spéciale du mouvement moléculaire de la matière.

c'est exiger qu'on nous dise la raison pourquoi toute la matière s'attire (*). Or ne nous suffit-il pas de savoir que réellement toute la matière s'attire, et n'est-il pas aisé de concevoir que cet effet étant général, nous n'avons nul moyen de le comparer, et par conséquent nulle espérance d'en connaître jamais la cause ou la raison. Si l'effet, au contraire, était particulier comme celui de l'attraction de l'aimant et du fer, on doit espérer d'en trouver la cause, parce qu'on peut le comparer à d'autres effets particuliers, ou le ramener à l'effet général. Ceux qui exigent qu'on leur donne la raison d'un effet général ne connaissent ni l'étendue de la nature, ni les limites de l'esprit humain : demander pourquoi la matière est étendue, pesante, impénétrable, sont moins des questions que des propos mal conçus, et auxquels on ne doit aucune réponse. Il en est de même de toute propriété particulière lorsqu'elle est essentielle à la chose : demander, par exemple, pourquoi le rouge est rouge serait une interrogation puérile à laquelle on ne doit pas répondre. Le philosophe est tout près de l'enfant lorsqu'il fait de semblables demandes, et autant on peut les pardonner à la curiosité non réfléchie du dernier, autant le premier doit les rejeter et les exclure de ses idées.

Puis donc que la force d'attraction et la force d'expansion sont deux effets généraux, on ne doit pas nous en demander les causes ; il suffit qu'ils soient généraux et tous deux réels, tous deux bien constatés, pour que nous devions les prendre eux-mêmes pour causes des effets particuliers ; et l'impulsion est un de ces effets qu'on ne doit pas regarder comme une cause générale connue ou démontrée par le rapport de nos sens, puisque nous avons prouvé que cette force d'impulsion ne peut exister ni agir qu'au moyen de l'attraction, qui ne tombe point sous nos sens. Rien n'est plus évident, disent certains philosophes, que la communication du mouvement par l'impulsion, il suffit qu'un corps en choque un autre pour que cet effet suive ; mais dans ce sens même la cause de l'attraction n'est-elle pas encore plus évidente et plus générale, puisqu'il suffit d'abandonner un corps pour qu'il tombe et prenne du mouvement sans choc ? Le mouvement appartient donc, dans tous les cas, encore plus à l'attraction qu'à l'impulsion.

Cette première réduction étant faite, il serait peut-être possible d'en faire une seconde et de ramener la puissance même de l'expansion à celle de l'attraction, en sorte que toutes les forces de la matière dépendraient d'une seule force primitive : du moins cette idée me paraîtrait bien digne de la sublime simplicité du plan sur lequel opère la nature. Or ne pouvons-nous pas concevoir que cette attraction se change en répulsion toutes les fois que les corps s'approchent d'assez près pour éprouver un frottement ou un choc des uns contre les autres ? L'impénétrabilité qu'on ne doit pas regarder comme une force, mais comme une résistance essentielle à la matière, ne permettant pas que deux corps puissent occuper le même espace, que doit-il arriver lorsque deux molécules, qui s'attirent d'autant plus puissamment qu'elles s'approchent de plus près, viennent tout à coup se heurter ? Cette résistance invincible de l'impénétrabilité ne devient-elle pas alors une force active ou plutôt réactive, qui, dans le contact, repousse les corps avec autant de vitesse qu'ils en avaient acquis au moment de se toucher ? et dès lors la force expansive ne sera point une force particulière opposée à la force attractive, mais un effet qui en dérive et qui se manifeste toutes les fois que les corps se choquent ou frottent les uns contre les autres.

J'avoue qu'il faut supposer dans chaque molécule de matière, dans chaque atome quelconque, un ressort parfait pour concevoir clairement comment s'opère ce changement de l'attraction en répulsion ; mais cela même nous est assez indiqué par les faits : plus la matière s'atténue et plus elle prend du ressort ; la terre et l'eau, qui en sont les agrégats

(*) On a cherché, de nos jours, l'explication de l'attraction dans les phénomènes dont l'éther est le siège. (Voyez mon Introduction.)

les plus grossiers, ont moins de ressort que l'air; et le feu, qui est le plus subtil des éléments, est aussi celui qui a le plus de force expansive : les plus petites molécules de la matière, les plus petits atomes que nous connaissions sont ceux de la lumière (*), et l'on sait qu'ils sont parfaitement élastiques, puisque l'angle sous lequel la lumière se réfléchit est toujours égal à celui sous lequel elle arrive: nous pouvons donc en inférer que toutes les parties constitutives de la matière en général sont à ressort parfait, et que ce ressort produit tous les effets de la force expansive toutes les fois que les corps se heurtent ou se frottent en se rencontrant dans des directions opposées.

L'expérience me paraît parfaitement d'accord avec ces idées : nous ne connaissons d'autres moyens de produire du feu que par le choc ou le frottement des corps (**): car le feu que nous produisons par la réunion des rayons de la lumière ou par l'application du feu déjà produit à des matières combustibles, n'a-t-il pas néanmoins la même origine, à laquelle il faudra toujours remonter, puisqu'en supposant l'homme sans miroirs ardents et sans feu actuel, il n'aura d'autres moyens de produire le feu qu'en frottant ou choquant des corps solides les uns contre les autres (a)?

La force expansive pourrait donc bien n'être dans le réel que la réaction de la force attractive, réaction qui s'opère toutes les fois que les molécules primitives de la matière, toujours attirées les unes par les autres, arrivent à se toucher immédiatement : car dès lors il est nécessaire qu'elles soient repoussées avec autant de vitesse qu'elles en avaient acquis en direction contraire au moment du contact (b); et lorsque ces molécules sont abso-

(a) Le feu que produit quelquefois la fermentation des herbes entassées, celui qui se manifeste dans les effervescences, ne sont pas une exception qu'on puisse m'opposer, puisque cette production du feu par la fermentation et par l'effervescence dépend, comme toute autre, de l'action ou du choc des parties de la matière les unes contre les autres.

(b) Il est certain, me dira-t-on, que les molécules rejailliront après le contact, parce que leur vitesse à ce point, et qui leur est rendue par le ressort, est la somme des vitesses acquises dans tous les moments précédents par l'effet continu de l'attraction, et par conséquent doit l'emporter sur l'effort instantané de l'attraction dans le seul moment du contact. Mais ne sera-t-elle pas continuellement retardée, et enfin détruite, lorsqu'il y aura équilibre entre la somme des efforts de l'attraction avant le contact et la somme des efforts de l'attraction après le contact? Comme cette question pourrait faire naître des doutes ou laisser quelques nuages sur cet objet, qui par lui-même est difficile à saisir, je vais tâcher d'y satisfaire en m'expliquant encore plus clairement. Je suppose deux molécules, ou, pour rendre l'image plus sensible, deux grosses masses de matière, telles que la lune et la terre, toutes deux douées d'un ressort parfait dans toutes les parties de leur intérieur : qu'arriverait-il à ces deux masses isolées de toute autre matière, si tout leur mouvement progressif était tout à coup arrêté, et qu'il ne restât à chacune d'elles que leur force d'attraction réciproque? Il est clair que, dans cette supposition, la lune et la terre se précipiteraient l'une vers l'autre, avec une vitesse qui augmenterait à chaque moment, dans la même raison que diminuerait le carré de leur distance. Les vitesses acquises seront donc immenses au point de contact, ou, si l'on veut, au moment de leur choc, et dès lors ces deux corps que nous avons supposés à ressort parfait et libres de tous autres empêchements, c'est-à-dire entièrement isolés, rejailliront chacun, et s'éloigneront l'un de l'autre dans la direction opposée, et avec la même vitesse qu'ils avaient acquise au point du contact : vitesse qui, quoique diminuée continuellement par leur attraction réciproque, ne laisserait pas de les porter d'abord au même lieu d'où ils sont partis, mais encore infiniment plus loin, parce que la retardation du mouvement est ici en ordre inverse de celui de l'accélération, et que la vitesse acquise au

(*) La lumière n'est pas un corps matériel, mais une simple manifestation du mouvement moléculaire de l'éther.

(**) Les combinaisons chimiques, les phénomènes électriques sont encore susceptibles de produire de la chaleur.

lument libres de toute cohérence, et qu'elles n'obéissent qu'au seul mouvement produit par leur attraction, cette vitesse acquise est immense dans le point du contact. La chaleur, la lumière, le feu, qui sont les grands effets de la force expansive, seront produits toutes les fois qu'artificiellement ou naturellement les corps seront divisés en parties très petites et qu'ils se rencontreront dans des directions opposées; et la chaleur serait d'autant plus sensible, la lumière d'autant plus vive, le feu d'autant plus violent, que les molécules se seront précipitées les unes contre les autres avec plus de vitesse par leur force d'attraction mutuelle.

De là on doit conclure que toute matière peut devenir lumière, chaleur, feu; qu'il suffit que les molécules d'une substance quelconque se trouvent dans une situation de liberté, c'est-à-dire dans un état de division assez grande et de séparation telle qu'elles puissent obéir sans obstacle à toute la force qui les attire les unes vers les autres; car dès qu'elles se rencontreront elles réagiront les unes contre les autres, et se fuiront en s'éloignant avec autant de vitesse qu'elles en avaient acquies au moment du contact, qu'on doit regarder comme un vrai choc, puisque deux molécules qui s'attirent mutuellement ne peuvent se rencontrer qu'en direction contraire. Ainsi la lumière, la chaleur et le feu ne sont pas des matières particulières, des matières différentes de toute autre matière; ce n'est toujours que la même matière qui n'a subi d'autre altération, d'autre modification qu'une grande division de parties, et une direction de mouvement en sens contraire par l'effet du choc et de la réaction (*).

Ce qui prouve assez évidemment que cette matière du feu et de la lumière n'est pas une substance différente de toute autre matière, c'est qu'elle conserve toutes les qualités essentielles, et même la plupart des attributs de la matière commune: 1° la lumière, quoique composée de particules presque infiniment petites, est néanmoins encore divisible, puisque avec le prisme on sépare les uns des autres les rayons, ou, pour parler plus clairement, les atomes différemment colorés; 2° la lumière, quoique douée en apparence d'une qualité tout opposée à celle de la pesanteur, c'est-à-dire d'une volatilité qu'on croirait lui être essentielle, est néanmoins pesante (**), comme toute autre matière, puisqu'elle fléchit toutes les fois qu'elle passe auprès des autres corps, et qu'elle se trouve à portée de leur sphère d'attraction; je dois même dire qu'elle est fort pesante, relativement à son volume qui est d'une petitesse extrême, puisque la vitesse immense avec laquelle la lumière se meut en ligne directe ne l'empêche pas d'éprouver assez d'attraction près des autres corps pour que sa direction s'incline et change d'une manière très sensible à nos yeux; 3° la substance de la lumière n'est pas plus simple que celle de toute autre matière, puisqu'elle est composée de parties d'inégale pesanteur, que le rayon rouge est beaucoup plus pesant que le rayon violet, et qu'entre ces deux extrêmes elle contient une infinité de rayons

point du choc étant immense, les efforts de l'attraction ne pourront la réduire à zéro qu'à une distance dont le carré serait également immense; en sorte que, si le contact était absolu et que la distance des deux corps qui se choquent fût absolument nulle, ils s'éloigneraient l'un de l'autre jusqu'à une distance infinie; et c'est à peu près ce que nous voyons arriver à la lumière et au feu, dans le moment de l'inflammation des matières combustibles: car dans l'instant même elles lancent leur lumière à une très grande distance, quoique les particules qui se sont converties en lumière fussent auparavant très voisines les unes des autres.

(*) « La lumière, la chaleur et le feu » ne sont pas des corps matériels, mais simplement des formes particulières du mouvement moléculaire de la matière. (Voyez mon Introduction.)

(**) La lumière, n'étant qu'un « mouvement », ne peut pas être « pesante ». Tout ce qui suit est également faux. (Voyez sur les questions traitées dans ce mémoire mon Introduction.) Il serait trop long et trop difficile de relever ici les unes après les autres toutes les erreurs de détail commises par notre auteur.

intermédiaires qui approchent plus ou moins de la pesanteur du rayon rouge ou de la légèreté du rayon violet : toutes ces conséquences dérivent nécessairement des phénomènes de l'inflexion de la lumière et de sa réfraction (a), qui, dans le réel, n'est qu'une inflexion qui s'opère lorsque la lumière passe à travers les corps transparents ; 4° on peut démontrer que la lumière est massive, et qu'elle agit, dans quelques cas, comme agissent tous les autres corps ; car, indépendamment de son effet ordinaire qui est de briller à nos yeux, et de son action propre toujours accompagnée d'éclat et souvent de chaleur, elle agit par sa masse lorsqu'on la condense en la réunissant ; et elle agit au point de mettre en mouvement des corps assez pesants placés au foyer d'un bon miroir ardent ; elle fait tourner une aiguille sur un pivot placé à son foyer ; elle pousse, déplace et chasse les feuilles d'or ou d'argent qu'on lui présente avant de les fondre, et même avant de les échauffer sensiblement. Cette action produite par sa masse est la première, et précède celle de la chaleur ; elle s'opère entre la lumière condensée et les feuilles de métal, de la même façon qu'elle s'opère entre deux autres corps qui deviennent contigus, et par conséquent la lumière a encore cette propriété commune avec toute autre matière ; 5° enfin, on sera forcé de convenir que la lumière est un mixte, c'est-à-dire une matière composée comme la matière commune non seulement de parties plus grosses et plus petites, plus ou moins pesantes, plus ou moins mobiles, mais encore différemment figurées ; quiconque aura réfléchi sur les phénomènes que Newton appelle *les accès de facile réflexion et de facile transmission de la lumière*, et sur les effets de la double réfraction du cristal de roche et du spath appelé cristal d'Islande, ne pourra s'empêcher de reconnaître que les atomes de la lumière ont plusieurs côtés, plusieurs faces différentes, qui, selon qu'elles se présentent, produisent constamment des effets différents (b).

(a) L'attraction universelle agit sur la lumière ; il ne faut, pour s'en convaincre, qu'examiner les cas extrêmes de la réfraction : lorsqu'un rayon de lumière passe à travers un cristal, sous un certain angle d'obliquité, la direction change tout à coup, et, au lieu de continuer sa route, il rentre dans le cristal et se réfléchit. Si la lumière passe du verre dans le vide, toute la force de cette puissance s'exerce, et le rayon est contraint de rentrer, et rentre dans le verre par un effet de son attraction que rien ne balance ; si la lumière passe du cristal dans l'air, l'attraction du cristal, plus forte que celle de l'air, la ramène encore, mais avec moins de force, parce que cette attraction du verre est en partie détruite par celle de l'air qui agit en sens contraire sur le rayon de lumière ; si ce rayon passe du cristal dans l'eau, l'effet est bien moins sensible, le rayon rentre à peine, parce que l'attraction du cristal est presque toute détruite par celle de l'eau, qui s'oppose à son action ; enfin, si la lumière passe du cristal dans le cristal, comme les deux attractions sont égales, l'effet s'évanouit et le rayon continue sa route. D'autres expériences démontrent que cette puissance attractive, ou cette force réfringente, est toujours à très peu près proportionnelle à la densité des matières transparentes, à l'exception des corps onctueux et sulfureux, dont la force réfringente est plus grande, parce que la lumière a plus d'analogie, plus de rapport de nature avec les matières inflammables qu'avec les autres matières. — Mais s'il restait quelque doute sur cette attraction de la lumière vers les corps, qu'on jette les yeux sur les inflexions que souffre un rayon lorsqu'il passe fort près de la surface d'un corps : un trait de lumière ne peut entrer par un très petit trou, dans une chambre obscure, sans être puissamment attiré vers les bords du trou ; ce petit faisceau de rayons se divise, chaque rayon voisin de la circonférence du trou se plie vers cette circonférence, et cette inflexion produit des franges colorées, des apparences constantes, qui sont l'effet de l'attraction de la lumière vers les corps voisins ; il en est de même des rayons qui passent entre deux lames de couteaux : les uns se plient vers la lame supérieure, les autres vers la lame inférieure ; il n'y a que ceux du milieu qui, souffrant une égale attraction des deux côtés, ne sont pas détournés, et suivent leur direction.

(b) Chaque rayon de lumière a deux côtés opposés, doués originairement d'une propriété d'où dépend la réfraction extraordinaire du cristal, et deux autres côtés opposés qui n'ont

En voilà plus qu'il n'en faut pour démontrer que la lumière n'est pas une matière particulière ni différente de la matière commune, que son essence est la même, ses propriétés essentielles les mêmes; qu'enfin elle n'en diffère que parce qu'elle a subi dans le point du contact la répulsion d'où provient sa volatilité. Et de la même manière que l'effet de la force d'attraction s'étend à l'infini, toujours en décroissant comme l'espace augmente, les effets de la répulsion s'étendent et décroissent de même, mais en ordre inverse; en sorte que l'on peut appliquer à la force expansive tout ce que l'on sait de la force attractive: ce sont pour la nature deux instruments de même espèce, ou plutôt ce n'est que le même instrument qu'elle manie dans deux sens opposés.

Toute matière deviendra lumière dès que, toute cohérence étant détruite, elle se trouvera divisée en molécules suffisamment petites, et que ces molécules étant en liberté seront déterminées par leur attraction mutuelle à se précipiter les unes contre les autres: dans l'instant du choc la force répulsive s'exercera, les molécules se fuiront en tout sens avec une vitesse presque infinie, laquelle néanmoins n'est qu'égale à leur vitesse acquise au moment du contact; car la loi de l'attraction étant d'augmenter comme l'espace diminue, il est évident qu'au contact l'espace, toujours proportionnel au carré de la distance, devient nul, et que par conséquent la vitesse acquise en vertu de l'attraction doit à ce point devenir presque infinie; cette vitesse serait même infinie si le contact était immédiat, et par conséquent la distance entre les deux corps absolument nulle; mais, comme nous l'avons souvent répété, il n'y a rien d'absolu, rien de parfait dans la nature, et de même rien d'absolument grand, rien d'absolument petit, rien d'entièrement nul, rien de vraiment infini, et tout ce que j'ai dit de la petitesse *infinie* des atomes qui constituent la lumière, de leur ressort *parfait*, de la distance *nulle* dans le moment du contact, ne doit s'entendre qu'avec restriction. Si l'on pouvait douter de cette vérité métaphysique, il serait possible d'en donner une démonstration physique sans même nous écarter de notre sujet. Tout le monde sait que la lumière emploie environ sept minutes et demie de temps à venir du soleil jusqu'à nous; supposant donc le soleil à trente-six millions de lieues, la lumière parcourt cette énorme distance en sept minutes et demie, ou ce qui revient au même (supposant son mouvement uniforme), quatre-vingt mille lieues en une seconde; cette vitesse quoique prodigieuse, est néanmoins bien éloignée d'être infinie, puisqu'elle est déterminable par les nombres; elle cessera même de paraître prodigieuse lorsqu'on réfléchira que la nature semble marcher en grand presque aussi vite qu'en petit; il ne faut pour cela que supputer la célérité du mouvement des comètes à leur périhélie, ou même celle des planètes qui se meuvent le plus rapidement, et l'on verra que la vitesse de ces masses immenses, quoique moindre, se peut néanmoins comparer d'assez près avec celle de nos atomes de lumière.

Et de même que toute matière peut se convertir en lumière par la division et la répulsion de ses parties excessivement divisées lorsqu'elles éprouvent un choc des unes contre les autres, la lumière peut aussi se convertir en toute autre matière par l'addition de ses propres parties, accumulées par l'attraction des autres corps. Nous verrons dans la suite que tous les éléments sont convertibles; et si l'on a douté que la lumière, qui paraît être l'élément le plus simple, pût se convertir en substance solide, c'est que d'une part, on n'a pas fait assez d'attention à tous les phénomènes, et que d'autre part on était dans le préjugé, qu'étant essentiellement volatile, elle ne pouvait jamais devenir fixe. Mais n'avons-nous pas prouvé que la fixité et la volatilité dépendent de la même force, attractive

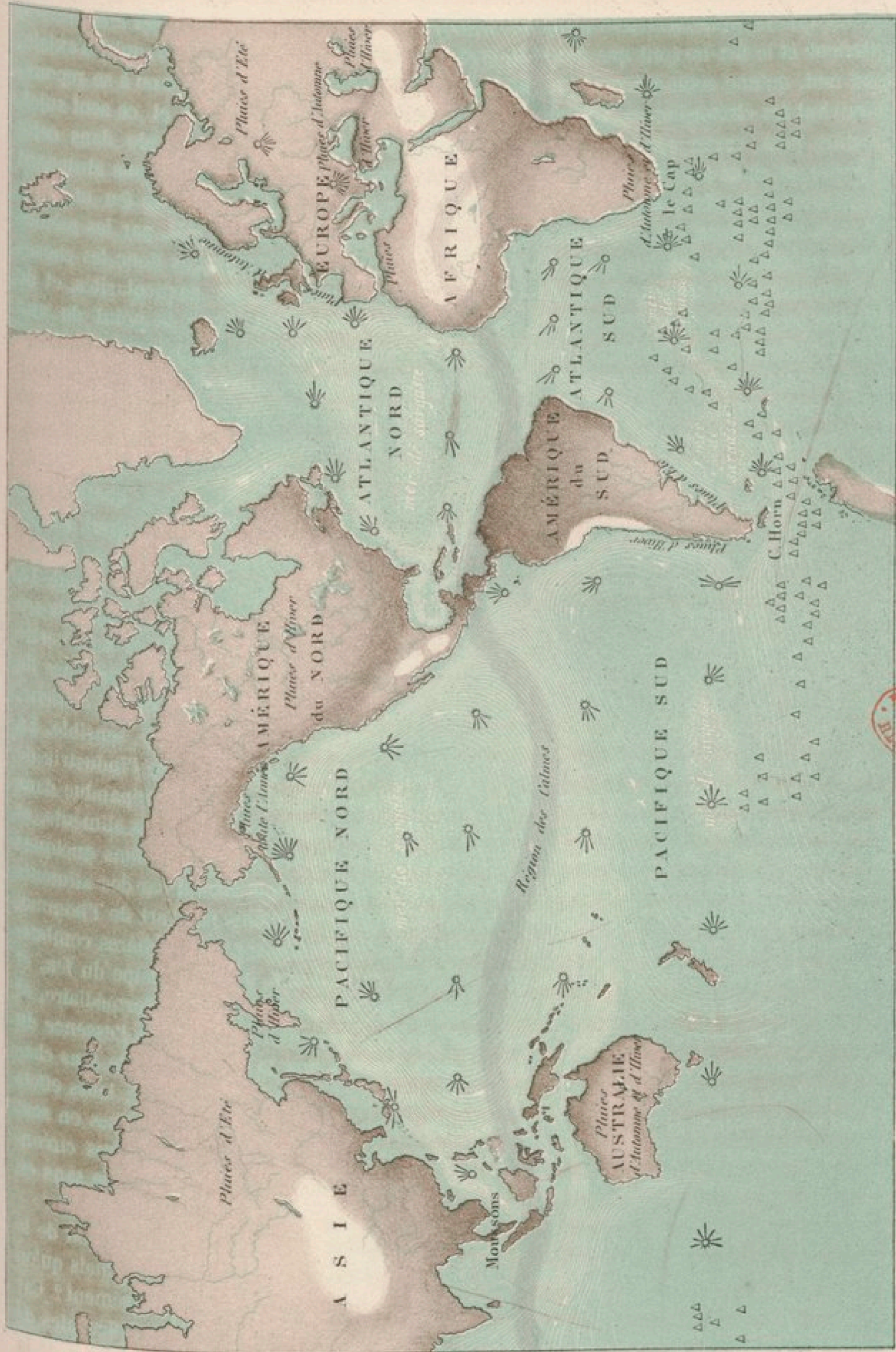
pas cette propriété. *Optique* de Newton, question xxvi, traduction de Coste. — *Nota.* Cette propriété dont parle ici Newton ne peut dépendre que de l'étendue ou de la figure de chacun des côtés des rayons, c'est-à-dire des atomes de lumière. Voyez cet article en entier dans Newton.

dans le premier cas, devenue répulsive dans le second ? Et dès lors ne sommes-nous pas fondés à croire que ce changement de la matière fixe en lumière, et de la lumière en matière fixe, est une des plus fréquentes opérations de la nature ?

Après avoir montré que l'impulsion dépend de l'attraction, que la force expansive est à même que la force attractive devenue négative, que la lumière, et à plus forte raison la chaleur et le feu ne sont que des manières d'être de la matière commune ; qu'il n'existe, en un mot, qu'une seule force et une seule matière toujours prête à s'attirer ou à se repousser suivant les circonstances, recherchons comment, avec ce seul ressort et ce seul sujet, la nature peut varier ses œuvres à l'infini. Nous mettrons de la méthode dans cette recherche, et nous en présenterons les résultats avec plus de clarté, en nous abstenant de comparer d'abord les objets les plus éloignés, les plus opposés, comme le feu et l'eau, l'air et la terre, et en nous conduisant au contraire par les mêmes degrés, par les mêmes nuances douces que suit la nature dans toutes ses démarches. Comparons donc les choses les plus voisines, et tâchons d'en saisir les différences, c'est-à-dire les particularités, et de les présenter avec encore plus d'évidence que leurs généralités. Dans le point de vue général, la lumière, la chaleur et le feu ne font qu'un seul objet, mais dans le point de vue particulier, ce sont trois objets distincts, trois choses qui, quoique se ressemblant par un grand nombre de propriétés, diffèrent néanmoins par un petit nombre d'autres propriétés assez essentielles pour qu'on puisse les regarder comme trois choses différentes, et qu'on doive les comparer une à une.

Quelles sont d'abord les propriétés communes de la lumière et du feu, quelles sont aussi leurs propriétés différentes ? La lumière, dit-on, et le feu élémentaire ne sont qu'une même chose, une seule substance : cela peut être, mais comme nous n'avons pas encore d'idée nette du feu élémentaire, abstenons-nous de prononcer sur ce premier point. La lumière et le feu, tels que nous les connaissons, ne sont-ils pas au contraire deux choses différentes, deux substances distinctes et composées différemment ? Le feu est à la vérité très souvent lumineux, mais quelquefois aussi le feu existe sans aucune apparence de lumière ; le feu, soit lumineux, soit obscur, n'existe jamais sans une grande chaleur, tandis que la lumière brille souvent avec éclat sans la moindre chaleur sensible. La lumière paraît être l'ouvrage de la nature, le feu n'est que le produit de l'industrie de l'homme ; la lumière subsiste, pour ainsi dire, par elle-même, et se trouve répandue dans les espaces immenses de l'univers entier ; le feu ne peut subsister qu'avec des aliments, et ne se trouve qu'en quelques points de l'espace où l'homme le conserve, et dans quelques endroits de la profondeur de la terre, où il se trouve également entretenu par des aliments convenables. La lumière, à la vérité lorsqu'elle est condensée, réunie par l'art de l'homme, peut produire du feu ; mais ce n'est qu'autant qu'elle tombe sur des matières combustibles. La lumière n'est donc tout au plus, et dans ce seul cas, que le principe du feu, et non pas le feu ; ce principe même n'est pas immédiat, il en suppose un intermédiaire, et c'est celui de la chaleur qui paraît tenir encore de plus près que la lumière à l'essence du feu. Or, la chaleur existe tout aussi souvent sans lumière que la lumière existe sans chaleur ; ces deux principes ne paraissent donc pas nécessairement liés ensemble ; leurs effets ne sont ni simultanés ni contemporains, puisque dans de certaines circonstances on sent de la chaleur longtemps avant que la lumière paraisse, et que dans d'autres circonstances on voit de la lumière longtemps avant de sentir de la chaleur, et même sans en sentir aucune.

Dès lors la chaleur n'est-elle pas une autre manière d'être, une modification de la matière qui diffère, à la vérité, moins que toute autre de celle de la lumière, mais qu'on peut néanmoins considérer à part, et qu'on devrait concevoir encore plus aisément ? Car la facilité plus ou moins grande que nous avons à concevoir les opérations différentes de la nature dépend de celle que nous avons d'y appliquer nos sens : lorsqu'un effet de la



Repinet 20.

CIRCULATION DE L'ATMOSPHERE ET DES MERS

→ Direction des courants marins lesquels sont indiqués par des lignes blanches — → Signes marquant la direction des vents.
 ▲ Signes indiquant les régions des glaces flottantes. La teinte des continents est graduée en proportion de l'abondance des pluies.

A. Le Vasseur, Editeur.

Imp. R. Taneur.

nature tombe sous deux de nos sens, la vue et le toucher, nous croyons en avoir une pleine connaissance; un effet qui n'affecte que l'un ou l'autre de ces deux sens, nous paraît plus difficile à connaître, et, dans ce cas, la facilité ou la difficulté d'en juger dépend du degré de supériorité qui se trouve entre nos sens; la lumière que nous n'apercevons que par le sens de la vue (sens le plus fautif et le plus incomplet), ne devrait pas nous être aussi bien connue que la chaleur qui frappe le toucher, et affecte par conséquent le plus sûr de nos sens. Cependant il faut avouer qu'avec cet avantage on a fait beaucoup moins de découvertes sur la nature de la chaleur que sur celle de la lumière, soit que l'homme saisisse mieux ce qu'il voit que ce qu'il sent, soit que la lumière se présentant ordinairement comme une substance distincte et différente de toutes les autres, elle ait paru digne d'une considération particulière, au lieu que la chaleur, dont l'effet est plus obscur, se présentant comme un objet moins isolé, moins simple, n'a pas été regardée comme une substance distincte, mais comme un attribut de la lumière et du feu.

Quand même cette opinion qui fait de la chaleur un pur attribut, une simple qualité, se trouverait fondée, il serait toujours utile de considérer la chaleur en elle-même et par les effets qu'elle produit toute seule, c'est-à-dire lorsqu'elle nous paraît indépendante de la lumière et du feu. La première chose qui me frappe et qui me paraît bien digne de remarque, c'est que le siège de la chaleur est tout différent de celui de la lumière; celle-ci occupe et parcourt les espaces vides de l'univers; la chaleur, au contraire, se trouve généralement répandue dans toute la matière solide. Le globe de la terre et toutes les matières dont il est composé ont un degré de chaleur bien plus considérable qu'on ne pourrait l'imaginer. L'eau a son degré de chaleur qu'elle ne perd qu'en changeant son état, c'est-à-dire en perdant sa fluidité; l'air a aussi sa chaleur, que nous appelons sa température, qui varie beaucoup, mais qu'il ne perd jamais en entier, puisque son ressort subsiste même dans le plus grand froid; le feu a aussi ses différents degrés de chaleur, qui paraissent moins dépendre de sa nature propre que de celle des aliments qui le nourrissent. Ainsi toute la matière connue est chaude, et dès lors la chaleur est une affection bien plus générale que celle de la lumière.

La chaleur pénètre tous les corps qui lui sont exposés, et cela sans aucune exception; tandis qu'il n'y a que les corps transparents qui laissent passer la lumière, et qu'elle est arrêtée et en partie repoussée par tous les corps opaques. La chaleur semble donc agir d'une manière bien plus générale et plus palpable que n'agit la lumière, et quoique les molécules de la chaleur soient excessivement petites, puisqu'elles pénètrent les corps les plus compactes, il me semble néanmoins que l'on peut démontrer qu'elles sont bien plus grosses que celles de la lumière : car on fait de la chaleur avec la lumière en la réunissant en grande quantité; d'ailleurs la chaleur agissant sur le sens du toucher, il est nécessaire que son action soit proportionnée à la grossièreté de ce sens, comme la délicatesse des organes de la vue paraît l'être à l'extrême finesse des parties de la lumière : celles-ci se meuvent avec la plus grande vitesse, agissent dans l'instant à des distances immenses, tandis que celles de la chaleur n'ont qu'un mouvement progressif assez lent qui ne paraît s'étendre qu'à de petits intervalles du corps dont elles émanent.

Le principe de toute chaleur paraît être l'attrition des corps; tout frottement, c'est-à-dire tout mouvement en sens contraire entre des matières solides, produit de la chaleur, et si ce même effet n'arrive pas dans les fluides, c'est parce que leurs parties ne se touchent pas d'assez près pour pouvoir être frottées les unes contre les autres, et qu'ayant peu d'adhérence entre elles, leur résistance au choc des autres corps est trop faible pour que la chaleur puisse naître ou se manifester à un degré sensible; mais dans ce cas, on voit souvent de la lumière produite par ce frottement d'un fluide sans sentir de la chaleur. Tous les corps, soit en petit ou en grand volume, s'échauffent dès qu'ils se rencontrent en

sens contraire : la chaleur est donc produite par le mouvement de toute matière palpable et d'un volume quelconque, au lieu que la production de la lumière qui se fait aussi par le mouvement en sens contraire, suppose de plus la division de la matière en parties très petites; et comme cette opération de la nature est la même pour la production de la chaleur et celle de la lumière, que c'est le mouvement en sens contraire, la rencontre des corps qui produisent l'un et l'autre, on doit en conclure que les atomes de la lumière sont solides par eux-mêmes, et qu'ils sont chauds au moment de leur naissance; mais on ne peut pas également assurer qu'ils conservent leur chaleur au même degré que leur lumière, ni qu'ils ne cessent pas d'être chauds avant de cesser d'être lumineux. Des expériences familières paraissent indiquer que la chaleur de la lumière du soleil augmente en passant à travers une glace plane, quoique la quantité de la lumière soit diminuée considérablement par la réflexion qui se fait à la surface extérieure de la glace, et que la matière même du verre en retienne une certaine quantité. D'autres expériences plus recherchées (a) semblent prouver que la lumière augmente de chaleur à mesure qu'elle traverse une plus grande épaisseur de notre atmosphère.

(a) Un habile physicien (M. de Saussure, citoyen de Genève) a bien voulu me communiquer le résultat des expériences qu'il a faites dans les montagnes sur la différente chaleur des rayons du soleil, et je vais rapporter ici ses propres expressions. — « J'ai fait faire, » en mars 1767, sept caisses rectangulaires de verre blanc de Bohême, chacune desquelles » est la moitié d'un cube coupé parallèlement à sa base : la première a un pied de largeur » en tout sens, sur six pouces de hauteur; la seconde dix pouces sur cinq, et ainsi de suite » jusqu'à la cinquième, qui a deux pouces sur un. Toutes ces caisses sont ouvertes par le » bas, et s'emboîtent les unes dans les autres, sur une table fort épaisse de bois de poirier » noirci, à laquelle elles sont fixées. J'emploie sept thermomètres à cette expérience : l'un » suspendu en l'air et parfaitement isolé à côté des boîtes et à la même distance du sol; un » autre posé sur la caisse extérieure en dehors de cette caisse, et à peu près au milieu; le » suivant posé de même sur la seconde caisse, et ainsi des autres jusqu'au dernier, qui est » sous la cinquième caisse, et à demi noyé dans le bois de la table.

» Il faut observer que tous ces thermomètres sont de mercure, et que tous, excepté le » dernier, ont la boule nue, et ne sont pas engagés, comme les thermomètres ordinaires; » dans une planche ou dans une boîte, dont le plus ou le moins d'aptitude à prendre et à » conserver la chaleur fait entièrement varier le résultat des expériences.

» Tout cet appareil exposé au soleil, dans un lieu découvert, par exemple sur le mur de » clôture d'une grande terrasse, je trouve que le thermomètre suspendu à l'air libre monte » le moins haut de tous; que celui qui est sur la caisse extérieure monte un peu plus haut; » ensuite celui qui est sur la seconde caisse, et ainsi des autres; en observant cependant » que le thermomètre qui est posé sur la cinquième caisse monte plus haut que celui qui » est sous elle et à demi noyé dans le bois de la table : j'ai vu celui-là monter à 70 degrés » de Réaumur (en plaçant le 0 à la congélation, et le 80° degré à l'eau bouillante). Les » fruits exposés à cette chaleur s'y cuisent et y rendent leur jus.

» Quand cet appareil est exposé au soleil dès le matin, on observe communément la plus » grande chaleur vers les deux heures et demie après midi, et lorsqu'on le retire des rayons » du soleil, il emploie plusieurs heures à son entier refroidissement.

» J'ai fait porter ce même appareil sur une montagne élevée d'environ cinq cents toises » au-dessus du lieu où se faisaient ordinairement les expériences, et j'ai trouvé que le re- » froidissement causé par l'élévation agissait beaucoup plus sur les thermomètres suspendus » à l'air libre que sur ceux qui étaient enfermés dans les caisses de verre, quoique j'eusse » eu soin de remplir les caisses de l'air même de la montagne, par égard pour la fausse » hypothèse de ceux qui croient que le froid des montagnes tient de la pureté de l'air qu'on » y respire. »

Il serait à désirer que M. de Saussure, de la sagacité duquel nous devons attendre d'excellentes choses, suivit encore plus loin ces expériences, et voulût en publier les résultats.

On sait de tout temps que la chaleur devient d'autant moindre ou le froid d'autant plus grand qu'on s'élève plus haut dans les montagnes. Il est vrai que la chaleur qui provient du globe entier de la terre doit être moins sensible sur ces pointes avancées qu'elle ne l'est dans les plaines, mais cette cause n'est point du tout proportionnelle à l'effet, l'action de la chaleur qui émane du globe terrestre ne pouvant diminuer qu'en raison du carré de la distance, il ne paraît pas qu'à la hauteur d'une demi-lieue, qui n'est que de la trois millième partie du demi-diamètre du globe, dont le centre doit être pris pour le foyer de la chaleur; il ne paraît pas, dis-je, que cette différence, qui dans cette supposition n'est que d'une unité sur neuf millions, puisse produire une diminution de chaleur aussi considérable, à beaucoup près, que celle qu'on éprouve en s'élevant à cette hauteur; car le thermomètre y baisse dans tous les temps de l'année, jusqu'au point de la congélation de l'eau; la neige ou la glace subsistent aussi sur ces grandes montagnes à peu près à cette hauteur dans toutes les saisons: il n'est donc pas probable que cette grande différence de chaleur provienne uniquement de la différence de la chaleur de la terre: l'on en sera pleinement convaincu si l'on fait attention qu'au haut des volcans, où la terre est plus chaude qu'en aucun autre endroit de la surface du globe, le froid de l'air est à très peu près le même que dans les autres montagnes à la même hauteur.

On pourrait donc penser que les atomes de la lumière, quoique très chauds au moment de leur naissance et au sortir du soleil, se refroidissent beaucoup pendant les sept minutes et demie de temps que dure leur traversée du soleil à la terre, d'autant que la durée de la chaleur, ou, ce qui revient au même, le temps du refroidissement des corps étant en raison de leur diamètre, il semblerait qu'il ne faut qu'un très petit moment pour le refroidissement des atomes presque infiniment petits de la lumière; et cela serait en effet s'ils étaient isolés, mais comme ils se succèdent presque immédiatement, et qu'ils se propagent en faisceaux d'autant plus serrés qu'ils sont plus près du lieu de leur origine, la chaleur que chaque atome perd tombe sur les atomes voisins; et cette communication réciproque de la chaleur qui s'évapore de chaque atome entretient plus longtemps la chaleur générale de la lumière; et comme sa direction constante est toujours en rayons divergents, que leur éloignement l'un de l'autre augmente comme l'espace qu'ils ont parcouru, et qu'en même temps la chaleur qui part de chaque atome, comme centre, diminue aussi dans la même raison, il s'ensuit que l'action de la lumière des rayons solaires décroissant en raison inverse du carré de la distance, celle de leur chaleur décroît en raison inverse du carré-carré de cette même distance.

Prenons donc pour unité le demi-diamètre du soleil, et supposant l'action de la lumière comme 1000 à la distance d'un demi-diamètre de la surface de cet astre, elle ne se sera plus que comme $\frac{1000}{4}$ à la distance de deux demi-diamètres, que comme $\frac{1000}{9}$ à celle de trois demi-diamètres, comme $\frac{1000}{16}$ à la distance de quatre demi-diamètres; et enfin, en arrivant à nous, qui sommes éloignés du soleil de trente-six millions de lieues, c'est-à-dire d'environ deux cent vingt-quatre de ses demi-diamètres, l'action de la lumière ne sera plus que comme $\frac{1000}{50625}$, c'est-à-dire, plus de cinquante mille fois plus faible qu'au sortir du soleil, et la chaleur de chaque atome de lumière étant aussi supposée 1000 au sortir du soleil, ne sera plus que comme $\frac{1000}{16}$, $\frac{1000}{81}$, $\frac{1000}{256}$ à la distance successive de 1, 2, 3 demi-diamètres, et en arrivant à nous, comme $\frac{1000}{2562890625}$, c'est-à-dire, plus de deux mille cinq cents millions de fois plus faible qu'au sortir du soleil.

Quand même on ne voudrait pas admettre cette diminution de la chaleur de la lumière en raison du carré-carré de la distance au soleil, quoique cette estimation me paraisse fondée sur un raisonnement assez clair, il sera toujours vrai que la chaleur, dans sa propagation, diminue beaucoup plus que la lumière, au moins quant à l'impression qu'elles font l'une et l'autre sur nos sens. Qu'on excite une très forte chaleur, qu'on allume un grand feu dans un point de l'espace, on ne le sentira qu'à une distance médiocre, au lieu qu'on en

voit la lumière à de très grandes distances ; qu'on approche peu à peu la main d'un corps excessivement chaud, on s'apercevra par la seule sensation que la chaleur augmente beaucoup plus que l'espace ne diminue : car on se chauffe souvent avec plaisir à une distance qui ne diffère que de quelques pouces de celle où l'on se brûlerait. Tout paraît donc nous indiquer que la chaleur diminue en plus grande raison que la lumière, à mesure que toutes deux s'éloignent du foyer dont elles partent.

Ainsi l'on peut croire que les atomes de la lumière sont fort refroidis lorsqu'ils arrivent à la surface de notre atmosphère, mais qu'en traversant la grande épaisseur de cette masse transparente, ils reprennent par le frottement une nouvelle chaleur. La vitesse infinie avec laquelle les particules de la lumière frôlent celles de l'air doit produire une chaleur d'autant plus grande, que le frottement est plus multiplié ; et c'est probablement par cette raison que la chaleur des rayons solaires se trouve, par l'expérience, beaucoup plus grande dans les couches inférieures de l'atmosphère, et que le froid de l'air paraît augmenter si considérablement à mesure qu'on s'élève. Peut-être aussi que comme la lumière ne prend de la chaleur qu'en se réunissant, il faut un grand nombre d'atomes de lumière pour constituer un seul atome de chaleur, et que c'est par cette raison que la lumière faible de la lune, quoique frôlée dans l'atmosphère comme celle du soleil, ne prend aucun degré de chaleur sensible. Si, comme le dit M. Bouguer (a), l'intensité de la lumière du soleil à la surface de la terre est trois cent mille fois plus grande que celle de la lumière de la lune, celle-ci ne peut qu'être presque absolument insensible, même en la réunissant au foyer des plus puissants miroirs ardents, qui ne peuvent la condenser qu'environ deux mille fois, dont, ôtant la moitié pour la perte par la réflexion ou la réfraction, il ne reste qu'une trois centième partie d'intensité au foyer du miroir. Or, y a-t-il des thermomètres assez sensibles pour indiquer le degré de chaleur contenu dans une lumière trois cents fois plus faible que celle du soleil, et pourra-t-on faire des miroirs assez puissants pour la condenser davantage ?

Ainsi l'on ne doit pas inférer de tout ce que j'ai dit que la lumière puisse exister sans aucune chaleur, mais seulement que les degrés de cette chaleur sont très différents, selon les différentes circonstances, et toujours insensibles lorsque la lumière est très faible (b). La chaleur, au contraire, paraît exister habituellement, et même se faire sentir vivement sans lumière ; ce n'est ordinairement que quand elle devient excessive que la lumière l'accompagne. Mais ce qui mettrait encore une différence bien essentielle entre ces deux modifications de la matière, c'est que la chaleur qui pénètre tous les corps ne paraît se fixer dans aucun et ne s'y arrêter que peu de temps, au lieu que la

(a) *Essai d'Optique sur la gradation de la lumière.*

(b) On pourrait même présumer que la lumière en elle-même est composée des parties plus ou moins chaudes : le rayon rouge, dont les atomes sont bien plus massifs et probablement plus gros que ceux du rayon violet, doit en toute circonstance conserver beaucoup plus de chaleur, et cette présomption me paraît assez fondée pour qu'on doive chercher à la constater par l'expérience ; il ne faut pour cela que recevoir, au sortir du prisme, une égale quantité de rayons rouges et de rayons violets, sur deux petits miroirs concaves ou deux lentilles réfringentes, et voir au thermomètre le résultat de la chaleur des uns et des autres. — Je me rappelle une autre expérience qui semble démontrer que les atomes bleus de la lumière sont plus petits que ceux des autres couleurs ; c'est qu'en recevant sur une feuille très mince d'or battu la lumière du soleil, elle se réfléchit toute, à l'exception des rayons bleus qui passent à travers la feuille d'or, et peignent d'un beau bleu le papier blanc qu'on met à quelque distance derrière la feuille d'or. Ces atomes bleus sont donc plus petits que les autres, puisqu'ils passent où les autres ne peuvent passer ; mais je n'insiste pas sur les conséquences qu'on doit tirer de cette expérience, parce que cette couleur bleue, produite en apparence par la feuille d'or, peut tenir au phénomène des ombres bleues, dont je parlerai dans un des Mémoires suivants.

lumière s'incorpore, s'amortit et s'éteint dans tous ceux qui ne la réfléchissent pas, ou qui ne la laissent pas passer librement. Faites chauffer à tous degrés des corps de toute sorte, tous perdront en assez peu de temps la chaleur acquise, tous reviendront au degré de la température générale, et n'auront par conséquent que la même chaleur qu'ils avaient auparavant. Recevez de même la lumière en plus ou moins grande quantité sur des corps noirs ou blancs, bruts ou polis, vous reconnaîtrez aisément que les uns l'admettent, les autres la repoussent, et qu'au lieu d'être affectés d'une manière uniforme comme ils le sont par la chaleur, ils ne le sont que d'une manière relative à leur nature, à leur couleur, à leur poli; les noirs absorberont plus la lumière que les blancs, les bruts que les polis. Cette lumière une fois absorbée reste fixe et demeure dans les corps qui l'ont admise, elle ne reparait plus, elle n'en sort pas comme le fait la chaleur : d'où l'on devrait conclure que les atomes de la lumière peuvent devenir parties constituantes des corps en s'unissant à la matière qui les compose; au lieu que la chaleur, ne se fixant pas, semble empêcher au contraire l'union de toutes les parties de la matière, et n'agir que pour les tenir séparées.

Cependant il y a des cas où la chaleur se fixe à demeure dans les corps, et d'autres cas où la lumière qu'ils ont absorbée reparait et en sort comme la chaleur. Les diamants, les autres pierres transparentes qui s'imbibent de la lumière du soleil; les pierres opaques, comme celles de Bologne, qui, par la calcination, reçoivent les particules d'un feu brillant; tous les phosphores naturels rendent la lumière qu'ils ont absorbée, et cette restitution ou déperdition de lumière se fait successivement, et avec le temps, à peu près comme se fait celle de la chaleur. Et peut-être la même chose arrive dans les corps opaques en tout ou en partie. Quoi qu'il en soit, il paraît d'après tout ce qui vient d'être dit que l'on doit reconnaître deux sortes de chaleur, l'une lumineuse, dont le soleil est le foyer immense, et l'autre obscure, dont le grand réservoir est le globe terrestre. Notre corps, comme faisant partie du globe, participe à cette chaleur obscure; et c'est par cette raison qu'étant obscure par elle-même, c'est-à-dire sans lumière, elle est encore obscure pour nous, parce que nous ne nous en apercevons par aucun de nos sens. Il en est de cette chaleur du globe comme de son mouvement, nous y sommes soumis, nous y participons sans le sentir et sans nous en douter. De là il est arrivé que les physiciens ont porté d'abord toutes leurs vues, toutes leurs recherches sur la chaleur du soleil, sans soupçonner qu'elle ne faisait qu'une très petite partie de celle que nous éprouvons réellement (*); mais ayant fait des instruments pour reconnaître la différence de chaleur immédiate des rayons du soleil en été à celle de ces mêmes rayons en hiver, ils ont trouvé avec étonnement que cette chaleur solaire est, en été, soixante-six fois plus grande qu'en hiver dans notre climat, et que néanmoins la plus grande chaleur de notre été ne diffère que d'un septième du plus grand froid de notre hiver : d'où ils ont conclu avec grande raison qu'indépendamment de la chaleur que nous recevons du soleil, il en émane une autre du globe même de la terre, bien plus considérable, et dont celle du soleil n'est que le complément; en sorte qu'il est aujourd'hui démontré que cette chaleur qui s'échappe de l'intérieur de la terre (a) est, dans notre climat, au moins vingt-neuf fois en été et quatre cents fois en hiver, plus grande que la chaleur qui nous vient du soleil (**); je dis au moins, car

(a) Voyez l'*Histoire de l'Académie des sciences*, année 1702, p. 7; et le *Mémoire* de M. Amontons, p. 155. — Les *Mémoires* de M. de Mairan, année 1710, p. 104; année 1721, p. 8; année 1765, p. 143.

(*) C'est le contraire qui est vrai. La plus grande partie de la chaleur de la surface de notre globe provient du soleil; une partie très minime seulement provient des foyers de calorique terrestres.

(**) Voyez la note précédente.

quelque exactitude que les physiciens, et en particulier M. de Mairan, aient apportée dans ces recherches, quelque précision qu'ils aient pu mettre dans leurs observations et dans leur calcul, j'ai vu en les examinant que le résultat pouvait en être porté plus haut (a).

Cette grande chaleur qui réside dans l'intérieur du globe, qui sans cesse en émane à l'extérieur, doit entrer comme élément dans la combinaison de tous les autres éléments. Si le soleil est le père de la nature, cette chaleur de la terre en est la mère, et toutes deux se réunissent pour produire, entretenir, animer les êtres organisés, et pour travailler, assimiler, composer les substances inanimées (*). Cette chaleur intérieure du globe, qui tend

(a) Les physiciens ont pris pour le degré du froid absolu mille degrés au-dessous de la congélation; il fallait plutôt le supposer de dix mille que de mille : car, quoique je sois très persuadé qu'il n'existe rien d'absolu dans la nature, et que peut-être un froid de dix mille degrés n'existe que dans les espaces les plus éloignés de tout soleil, cependant, comme il s'agit ici de prendre pour unité le plus grand froid possible, je l'aurais au moins supposé plus grand que celui dont nous pouvons produire la moitié ou les trois cinquièmes; car on a produit artificiellement cinq cent quatre-vingt-douze degrés de froid à Pétersbourg, le 6 janvier 1760, le froid naturel étant de trente et un degrés au-dessous de la congélation; et si l'on eût fait la même expérience en Sibérie, où le froid naturel est quelquefois de soixante-dix degrés, on eût produit un froid de plus de mille degrés : car on a observé que le froid artificiel suivait la même proportion que le froid naturel. Or, $31 : 592 :: 70 : 1336 \frac{24}{31}$; il serait donc possible de produire en Sibérie un froid de treize cent trente-six degrés au-dessous de la congélation; donc le plus grand degré de froid possible doit être supposé bien au delà de mille ou même de treize cent trente-six pour en faire l'unité à laquelle on rapporte les degrés de la chaleur, tant solaire que terrestre, ce qui ne laissera pas d'en rendre la différence encore plus grande. — Une autre remarque que j'ai faite, en examinant la construction de la table dans laquelle M. de Mairan donne les rapports de la chaleur des émanations du globe terrestre à ceux de la chaleur solaire pour tous les climats de la terre, c'est qu'il n'a pas pensé ou qu'il a négligé d'y faire entrer la considération de l'épaisseur du globe, plus grande sous l'équateur que sous les pôles. Cela néanmoins devrait être mis en compte, et aurait un peu changé les rapports qu'il donne pour chaque latitude. — Enfin une troisième remarque, et qui tient à la première, c'est qu'il dit (page 160) qu'ayant fait construire une machine qui était comme un extrait de mes miroirs brûlants, et ayant fait tomber la lumière réfléchie du soleil sur des thermomètres, il avait toujours trouvé que, si un miroir plan avait fait monter la liqueur, par exemple, de trois degrés, deux miroirs dont on réunissait la lumière la faisaient monter de six degrés, et trois miroirs de neuf degrés. Or, il est aisé de sentir que ceci ne peut pas être généralement vrai, car la grandeur des degrés du thermomètre n'est fondée que sur la division en mille parties, et sur la supposition que mille degrés au-dessous de la congélation fond le froid absolu; et comme il s'en faut bien que ce terme soit celui du plus grand froid possible, il est nécessaire qu'une augmentation de chaleur double ou triple par la réunion de deux ou trois miroirs, élève la liqueur à des hauteurs différentes de celle des degrés du thermomètre, selon que l'expérience sera faite dans un temps plus ou moins chaud, que celui où ces hauteurs s'accorderont le mieux ou différencieront le moins sera celui des jours chauds de l'été, et que, les expériences ayant été faites sur la fin de mai, ce n'est que par hasard qu'elles ont donné le résultat des augmentations de chaleur par les miroirs, proportionnelles aux degrés de l'échelle du thermomètre. Mais j'abrège cette critique, en renvoyant à ce que j'ai dit, près de vingt ans avant ce Mémoire de M. de Mairan, sur la construction d'un thermomètre réel, et sa graduation par le moyen de mes miroirs brûlants. Voyez les *Mémoires de l'Académie des sciences*, année 1747.

(*) La chaleur intérieure du globe ne joue aucun rôle dans le développement et le maintien de la vie à la surface de la nature. Toute la chaleur nécessaire aux êtres vivants vient du soleil.

toujours du centre à la circonférence, et qui s'éloigne perpendiculairement de la surface de la terre est, à mon avis, un grand agent dans la nature; l'on ne peut guère douter qu'elle n'ait la principale influence sur la perpendicularité de la tige des plantes, sur les phénomènes de l'électricité, dont la principale cause est le frottement ou mouvement en sens contraire, sur les effets du magnétisme, etc. Mais comme je ne prétends pas faire ici un traité de physique, je me bornerai aux effets de cette chaleur sur les autres éléments. Elle suffit seule, elle est même bien plus grande qu'il ne faut pour maintenir l'eau dans son état de liquidité, car on a descendu des thermomètres jusqu'à 120 brasses de profondeur (a), et les retirant promptement, on a vu que la température de l'eau y était à très peu près la même que dans l'intérieur de la terre à pareille profondeur, c'est-à-dire, de 10 degrés $\frac{2}{3}$. Et comme l'eau la plus chaude monte toujours à la surface et que le sel l'empêche de geler, on ne doit pas être surpris de ce qu'en général la mer ne gèle pas, et que les eaux douces ne gèlent que d'une certaine épaisseur, l'eau du fond restant toujours liquide, lors même qu'il fait le plus grand froid et que les couches supérieures sont en glace de dix pieds d'épaisseur.

Mais la terre est celui de tous les éléments sur lequel cette chaleur intérieure a dû produire et produit encore les plus grands effets. On ne peut pas douter, après les preuves que j'en ai données (b), que cette chaleur n'ait été originairement bien plus grande qu'elle ne l'est aujourd'hui; ainsi on doit lui rapporter, comme à la cause première, toutes les sublimations, précipitations, agrégations, séparations, en un mot, tous les mouvements qui se font et se font chaque jour dans l'intérieur du globe, et surtout dans la couche extérieure où nous avons pénétré, et dont la matière a été remuée par les agents de la nature, ou par les mains de l'homme: car à une ou peut être deux lieues de profondeur on ne peut guère présumer qu'il y ait eu des conversions de matière, ni qu'il s'y fasse encore des changements réels: toute la masse du globe ayant été fondue, liquéfiée par le feu, l'intérieur n'est qu'un verre ou concret ou discret, dont la substance simple ne peut recevoir aucune altération par la chaleur seule; il n'y a donc que la couche supérieure et superficielle qui, étant exposée à l'action des causes extérieures, aura subi toutes les modifications, toutes les différences, toutes les formes, en un mot, des substances minérales.

Le feu qui ne paraît être, à la première vue, qu'un composé de chaleur et de lumière, ne serait-il pas encore une modification de la matière qu'on doit considérer à part, quoiqu'elle ne diffère pas essentiellement de l'une ou de l'autre, et encore moins des deux prises ensemble? Le feu n'existe jamais sans chaleur, mais il peut exister sans lumière. On verra, par mes expériences, que la chaleur seule, et dénuée de toute apparence de lumière, peut produire les mêmes effets que le feu le plus violent: on voit aussi que la lumière seule, lorsqu'elle est réunie, produit les mêmes effets; elle semble porter en elle-même une substance qui n'a pas besoin d'aliment; le feu ne peut subsister au contraire qu'en absorbant de l'air, et il devient d'autant plus violent qu'il en absorbe davantage (*), tandis que la lumière concentrée et reçue dans un vase purgé d'air agit comme le feu dans l'air, et que la chaleur resserrée, retenue dans un espace clos, subsiste et même augmente avec une très petite quantité d'aliments. La différence la plus générale entre le feu, la chaleur et la lumière me paraît donc consister dans la quantité, et peut-être dans la qualité de leurs aliments.

(a) *Histoire physique de la mer*, par M. le comte Marsigli, p. 16.

(b) Voyez dans cet ouvrage l'article de la Formation des planètes, et ci-après les articles des Époques de la nature.

(*) Le feu est produit par l'oxydation rapide, intense et destructive des matériaux que l'on désigne par l'épithète de combustibles.

L'air est le premier aliment du feu (*), les matières combustibles ne sont que le second ; j'entends par premier aliment celui qui est toujours nécessaire, et sans lequel le feu ne pourrait faire aucun usage des autres. Des expériences connues de tous les physiiciens, nous démontrent qu'un petit point de feu, tel que celui d'une bougie placée dans un vase bien fermé, absorbe en peu de temps une grande quantité d'air, et qu'elle s'éteint aussitôt que la quantité ou la qualité de cet aliment lui manque. D'autres expériences bien connues des chimistes prouvent que les matières les plus combustibles, telles que les charbons, ne se consomment pas dans des vaisseaux bien clos, quoique exposés à l'action du plus grand feu. L'air est donc le premier, le véritable aliment du feu, et les matières combustibles ne peuvent lui en fournir que par le secours et la médiation de cet élément, dont il est nécessaire, avant d'aller plus loin, que nous considérions ici quelques propriétés.

Nous avons dit que toute fluidité avait la chaleur pour cause, et en comparant quelques fluides ensemble nous voyons qu'il faut beaucoup plus de chaleur pour tenir le fer en fusion que l'or, beaucoup plus pour y tenir l'or que l'étain, beaucoup moins pour y tenir la cire, beaucoup moins pour y tenir l'eau, encore beaucoup moins pour y tenir l'esprit-de-vin, et enfin excessivement moins pour y tenir le mercure, puisqu'il ne perd sa fluidité qu'au cent quatre-vingt-septième degré au-dessous de celui où l'eau perd la sienne (**). Cette matière, le mercure, serait donc le plus fluide des corps si l'air ne l'était encore plus. Or, que nous indique cette fluidité plus grande dans l'air que dans aucune matière? Il me semble qu'elle suppose le moindre degré possible d'adhérence entre ses parties constituantes ; ce qu'on peut concevoir en les supposant de figure à ne pouvoir se toucher qu'en un point. On pourrait croire aussi qu'étant douées de si peu d'énergie apparente, et de si peu d'attraction mutuelle des unes vers les autres, elles sont par cette raison moins massives et plus légères que celles de tous les autres corps. Mais cela me paraît démenti par la comparaison du mercure, le plus fluide des corps après l'air, et dont néanmoins les parties constituantes paraissent être plus massives et plus pesantes que celles de toutes les autres matières à l'exception de l'or. La plus ou moins grande fluidité n'indique donc pas que les parties du fluide soient plus ou moins pesantes, mais seulement que leur adhérence est d'autant moindre, leur union d'autant moins intime, et leur séparation d'autant plus aisée. S'il faut mille degrés de chaleur pour entretenir la fluidité de l'eau, il n'en faudra peut-être qu'un pour maintenir celle de l'air.

L'air est donc de toutes les matières connues, celle que la chaleur divise le plus facilement, celle dont les parties lui obéissent avec le moins de résistance, celle qu'elle met le plus aisément en mouvement expansif, et contraire à celui de la force attractive. Ainsi l'air est tout près de la nature du feu, dont la principale propriété consiste dans ce mouvement expansif ; et quoique l'air ne l'ait pas par lui-même, la plus petite particule de chaleur ou de feu suffisant pour le lui communiquer, on doit cesser d'être étonné de ce que l'air augmente si fort l'activité du feu, et de ce qu'il est si nécessaire à sa subsistance (***) . Car étant de toutes les substances celle qui prend le plus aisément le mouvement expansif, ce sera celle aussi que le feu entraînera, enlèvera de préférence à toute autre, ce sera celle qu'il s'appropriera le plus intimement comme étant de la nature la plus voisine de la sienne, et par conséquent l'air doit être du feu l'adminicule le plus puissant, l'aliment le plus convenable, l'*ami* le plus intime et le plus nécessaire.

Les matières combustibles que l'on regarde vulgairement comme les vrais aliments du feu, ne lui servent néanmoins, ne lui profitent en rien dès qu'elles sont privées du secours

(*) Ce n'est pas l'air lui-même, mais l'oxygène de l'air.

(**) Ce chiffre est trop fort. L'eau, perdant sa fluidité à 0° centigrade, le mercure perd la sienne à 40° centigrade au-dessous de zéro.

(***) A l'époque de Buffon, on était totalement ignorant des phénomènes d'oxydation.

de l'air, le feu le plus violent ne les consume pas, et même ne leur cause aucune altération sensible, au lieu qu'avec de l'air une seule étincelle de feu les embrase, et qu'à mesure qu'on fournit de l'air en plus ou moins grande quantité, le feu devient dans la même proportion plus vif, plus étendu, plus dévorant. De sorte qu'on peut mesurer la célérité ou la lenteur avec laquelle le feu consume les matières combustibles, par la quantité plus ou moins grande de l'air qu'on lui fournit. Ces matières ne sont donc, pour le feu, que des aliments secondaires qu'il ne peut s'approprier par lui-même, et dont il ne peut faire usage qu'autant que l'air s'y mêlant, les rapproche de la nature du feu en les modifiant, et leur sert d'intermède pour les y réunir.

On pourra (ce me semble) concevoir clairement cette opération de la nature, en considérant que le feu ne réside pas dans les corps d'une manière fixe, qu'il n'y fait ordinairement qu'un séjour instantané, qu'étant toujours en mouvement expansif, il ne peut subsister dans cet état qu'avec les matières susceptibles de ce même mouvement; que l'air s'y prêtant avec toute facilité, la somme de ce mouvement devient plus grande, l'action du feu plus vive, et que dès lors les parties les plus volatiles des matières combustibles, telles que les molécules aériennes, huileuses, etc., obéissant sans effort à ce mouvement expansif qui leur est communiqué, elles s'élèvent en vapeurs; que ces vapeurs se convertissent en flamme par le même secours de l'air extérieur; et qu'enfin, tant qu'il subsiste dans les corps combustibles quelques parties capables de recevoir par le secours de l'air ce mouvement d'expansion, elles ne cessent de s'en séparer pour suivre l'air et le feu dans leur route, et par conséquent se consumer en s'évaporant avec eux.

Il y a de certaines matières, telles que le phosphore artificiel, le pyrophore, la poudre à canon, qui paraissent à la première vue faire une exception à ce que je viens de dire car elles n'ont pas besoin, pour s'enflammer et se consumer en entier, du secours d'un air renouvelé; leur combustion peut s'opérer dans les vaisseaux les mieux fermés; mais c'est par la raison que ces matières, qu'on doit regarder comme les plus combustibles de toutes, contiennent dans leur substance tout l'air nécessaire à leur combustion. Leur feu produit d'abord cet air et le consume à l'instant, et comme il est en très grande quantité dans ces matières, il suffit à leur pleine combustion, qui dès lors n'a pas besoin, comme toutes les autres, du secours d'un étranger.

Cela semble nous indiquer que la différence la plus essentielle qu'il y ait entre les matières combustibles et celles qui ne le sont pas, c'est que celles-ci ne contiennent que peu ou point de ces matières légères, aériennes, huileuses, susceptibles du mouvement expansif, ou que, si elles en contiennent, elles s'y trouvent fixées et retenues; en sorte que, quoique volatiles en elles-mêmes, elles ne peuvent exercer leur volatilité toutes les fois que la force du feu n'est pas assez grande pour surmonter la force d'adhésion qui les retient unies aux parties fixes de la matière. On peut même dire que cette induction, qui se tire immédiatement de mes principes, se trouve confirmée par un grand nombre d'observations bien connues des chimistes et des physiciens; mais ce qui paraît l'être moins, et qui cependant en est une conséquence nécessaire, c'est que toute matière pourra devenir volatile dès que l'homme pourra augmenter assez la force expansive du feu, pour la rendre supérieure à la force attractive qui tient unies les parties de la matière que nous appelons fixes : car, d'une part, il s'en faut bien que nous ayons un feu aussi fort que nous pourrions l'avoir par des miroirs mieux conçus que ceux dont on s'est servi jusqu'à ce jour; et, d'autre côté, nous sommes assurés que la fixité n'est qu'une qualité relative, et qu'aucune matière n'est d'une fixité absolue ou invincible, puisque la chaleur dilate les corps les plus fixes. Or, cette dilatation n'est-elle pas l'indice d'un commencement de séparation qu'on augmente avec le degré de chaleur jusqu'à la fusion, et qu'avec une chaleur encore plus grande on augmenterait jusqu'à la volatilisation?

La combustion suppose quelque chose de plus que la volatilisation; il suffit pour celle-

ci que les parties de la matière soient assez divisées, assez séparées les unes des autres, pour pouvoir être enlevées par celles de la chaleur; au lieu que pour la combustion, il faut encore qu'elles soient d'une nature analogue à celle du feu; sans cela le mercure, qui est le plus fluide après l'air, serait aussi le plus combustible, tandis que l'expérience nous démontre que, quoique très volatil, il est incombustible. Or, quelle est donc l'analogie ou plutôt le rapport de nature que peuvent avoir les matières combustibles avec le feu? La matière en général est composée de quatre substances principales, qu'on appelle *éléments*, la terre, l'eau, l'air et le feu entrent tous quatre en plus ou moins grande quantité dans la composition de toutes les matières particulières; celles où la terre et l'eau dominent seront fixes, et ne pourront devenir que volatiles par l'action de la chaleur; celles au contraire qui contiennent beaucoup d'air et de feu seront les seules vraiment combustibles. La grande difficulté qu'il y ait ici, c'est de concevoir nettement comment l'air et le feu, tous deux si volatils, peuvent se fixer et devenir parties constituantes de tous les corps; je dis de tous les corps, car nous prouverons que, quoiqu'il y ait une plus grande quantité d'air et de feu fixes dans les matières combustibles, et qu'ils y soient combinés d'une manière différente que dans les autres matières, toutes néanmoins contiennent une quantité considérable de ces deux éléments; et que les matières les plus fixes et les moins combustibles sont celles qui retiennent ces éléments fugitifs avec le plus de force. Le fameux phlogistique des chimistes (être de leur méthode plutôt que de la nature) n'est pas un principe simple et identique, comme ils nous le présentent; c'est un composé, un produit de l'alliage, un résultat de la combinaison des deux éléments, de l'air et du feu fixés dans les corps. Sans nous arrêter donc sur les idées obscures et incomplètes que pourrait nous fournir la considération de cet être précaire, tenons-nous-en à celle de nos quatre éléments réels, auxquels les chimistes, avec tous leurs nouveaux principes, seront toujours forcés de revenir ultérieurement.

Nous voyons clairement que le feu, en absorbant de l'air, en détruit le ressort. Or, il n'y a que deux manières de détruire un ressort, la première en le comprimant assez pour le rompre, la seconde en l'étendant assez pour qu'il soit sans effet. Ce n'est pas de la première manière que le feu peut détruire le ressort de l'air, puisque le moindre degré de chaleur le raréfie, que cette raréfaction augmente avec elle, et que l'expérience nous apprend qu'à une très forte chaleur, la raréfaction de l'air est si grande qu'il occupe alors un espace treize fois plus étendu que celui de son volume ordinaire; le ressort dès lors en est d'autant plus faible, et c'est dans cet état qu'il peut devenir fixe et s'unir sans résistance sous cette nouvelle forme avec les autres corps. On entend bien que cet air, transformé et fixé, n'est point du tout le même que celui qui se trouve dispersé, disséminé dans la plupart des matières, et qui conserve dans leurs pores sa nature entière; celui-ci ne leur est que mélangé et non pas uni; il ne leur tient que par une très faible adhérence, au lieu que l'autre leur est si étroitement attaché, si intimement incorporé, que souvent on ne peut l'en séparer.

Nous voyons de même que la lumière, en tombant sur les corps, n'est pas, à beaucoup près, entièrement réfléchi, qu'il en reste en grande quantité dans la petite épaisseur de la surface qu'elle frappe; que par conséquent elle y perd son mouvement, s'y éteint, s'y fixe, et devient dès lors partie constituante de tout ce qu'elle pénètre. Ajoutez à cet air, à cette lumière, transformés et fixés dans les corps, et qui peuvent être en quantité variable; ajoutez-y, dis-je, la quantité constante du feu que toutes les matières, de quelque espèce que ce soit, possèdent également; cette quantité constante de feu ou de chaleur actuelle du globe de la terre, dont la somme est bien plus grande que celle de la chaleur qui nous vient du soleil, me paraît être non seulement un des grands ressorts du mécanisme de la nature, mais en même temps un élément dont toute la matière du globe est pénétrée; c'est le feu élémentaire qui, quoique toujours en mouvement expansif, doit,

par sa longue résidence dans la matière et par son choc contre ses parties fixes, s'unir, s'incorporer avec elles, et s'éteindre par parties comme le fait la lumière (a).

Si nous considérons plus particulièrement la nature des matières combustibles, nous verrons que toutes proviennent originairement des végétaux, des animaux, des êtres en un mot qui sont placés à la surface du globe que le soleil éclaire, échauffe et vivifie; les bois, les charbons, les tourbes, les bitumes, les résines, les huiles, les graisses, les suifs, qui sont les vraies matières combustibles, puisque toutes les autres ne le sont qu'autant qu'elles en contiennent, ne proviennent-ils pas tous des corps organisés ou de leurs détriments? Le bois et même le charbon ordinaire, les graisses, les huiles par expression, la cire et le suif, ne sont que des substances extraites immédiatement des végétaux et des animaux; les tourbes, les charbons fossiles, les succins, les bitumes liquides ou concrets, sont des produits de leur mélange et de leur décomposition, dont les détriments ultérieurs forment les soufres et les parties combustibles du fer, du zinc, des pyrites et de tous les minéraux que l'on peut enflammer. Je sens que cette dernière assertion ne sera pas admise, et pourra même être rejetée, surtout par ceux qui n'ont étudié la nature que par la voie de la chimie; mais je les prie de considérer que leur méthode n'est pas celle de la nature, qu'elle ne pourra le devenir ou même s'en approcher qu'autant qu'elle s'accordera avec la saine physique, autant qu'on en bannira non seulement les expressions obscures et techniques, mais surtout les principes précaires, les êtres fictifs auxquels on fait jouer le plus grand rôle, sans néanmoins les connaître. Le soufre, *en chimie*, n'est que le composé de l'acide vitriolique et du phlogistique (*); quelle apparence y a-t-il donc qu'il puisse, comme les autres matières combustibles, tirer son origine du détriment des végétaux ou des animaux? A cela je réponds, même en admettant cette définition chimique, que l'acide vitriolique, et en général tous les acides, tous les alcalis, sont moins des substances de la nature que des produits de l'art. La nature forme des sels et du soufre, elle emploie à leur composition, comme à celle de toutes les autres substances, les quatre éléments; beaucoup de terre et d'eau, un peu d'air et de feu entrent en quantité variable dans chaque différente substance saline; moins de terre et d'eau, et beaucoup plus d'air et de feu, semblent entrer dans la composition du soufre (**). Les sels et les soufres doivent être regardés comme des êtres de la nature dont on extrait, par le secours de l'art de la chimie et par le moyen du feu, les différents acides qu'ils contiennent; et puisque nous avons employé le feu, et par conséquent de l'air et des matières combustibles pour extraire ces acides, pouvons-nous douter qu'ils n'aient retenu et qu'ils ne contiennent réellement des parties de matière combustible qui y seront entrées pendant l'extraction?

Le phlogistique est encore bien moins que l'acide un être naturel; ce ne serait même qu'un être de raison si on ne le regardait pas comme un composé d'air et de feu devenu fixe et inhérent aux autres corps. Le soufre peut en effet contenir beaucoup de ce phlogistique, beaucoup aussi d'acide vitriolique; mais il a, comme toute autre matière, et sa terre et son eau; d'ailleurs son origine indique qu'il faut une grande consommation de matières

(a) Ceci même pourrait se prouver par une expérience qui mériterait d'être poussée plus loin. J'ai recueilli sur un miroir ardent par réflexion une assez forte chaleur sans aucune lumière au moyen d'une plaque de tôle mise entre le brasier et le miroir; une partie de la chaleur s'est réfléchie au foyer du miroir, tandis que tout le reste de la chaleur l'a pénétré; mais je n'ai pu m'assurer si l'augmentation de chaleur dans la matière du miroir n'était pas aussi grande que s'il n'en eût pas réfléchi.

(*) Le soufre est un corps dit « simple ».

(**) Il n'entre dans la composition du soufre pur ni terre ni eau. Tout ce passage traduit exactement l'ignorance de Buffon et de ses contemporains en matière de chimie.

combustibles pour sa production ; il se trouve dans les volcans, et il semble que la nature ne le produise que par effort et par le moyen du plus grand feu ; tout concourt donc à nous prouver qu'il est de la même nature que les autres matières combustibles, et que par conséquent il tire, comme elles, sa première origine du détriment des êtres organisés.

Mais je vais plus loin : les acides eux-mêmes viennent en grande partie de la décomposition des substances animales ou végétales, et contiennent en conséquence des principes de la combustion. Prenons pour exemple le salpêtre : ne doit-il pas son origine à ces matières ? n'est-il pas formé par la putréfaction des végétaux, ainsi que des urines et des excréments des animaux ? Il me semble que l'expérience le démontre, puisqu'on ne cherche, on ne trouve le salpêtre que dans les habitations où l'homme et les animaux ont longtemps résidé ; et puisqu'il est immédiatement formé du détriment des substances animales et végétales, ne doit-il pas contenir une prodigieuse quantité d'air et de feux fixes ? aussi en contient-il beaucoup, et même beaucoup plus que le soufre, le charbon, l'huile, etc. Toutes ces matières combustibles ont besoin, comme nous l'avons dit, du secours de l'air pour brûler, et se consomment d'autant plus vite, qu'elles en reçoivent en plus grande quantité ; le salpêtre n'en a pas besoin dès qu'il est mêlé avec quelques-unes de ces matières combustibles ; il semble porter en lui-même le réservoir de tout l'air nécessaire à sa combustion : en le faisant détonner lentement, on le voit souffler son propre feu, comme le ferait un soufflet étranger ; en le renfermant le plus étroitement, son feu, loin de s'éteindre, n'en prend que plus de force, et produit les explosions terribles sur lesquelles sont fondés nos arts meurtriers. Cette combustion si prompte est en même temps si complète qu'il ne reste presque rien après l'inflammation, tandis que toutes les autres matières enflammées laissent des cendres ou d'autres résidus qui démontrent que leur combustion n'est pas entière, ou, ce qui revient au même, qu'elles contiennent un assez grand nombre de parties fixes qui ne peuvent ni se brûler ni même se volatiliser. On peut de même démontrer que l'acide vitriolique contient aussi beaucoup d'air et de feux fixes, quoique en moindre quantité que l'acide nitreux ; et dès lors il tire, comme celui-ci, son origine de la même source, et le soufre, dans la composition duquel cet acide entre si abondamment, tire des animaux et des végétaux tous les principes de sa combustibilité.

Le phosphore artificiel, qui est le premier dans l'ordre des matières combustibles, et dont l'acide est différent de l'acide nitreux et de l'acide vitriolique, ne se tire aussi que du règne animal, ou, si l'on veut, en partie du règne végétal élaboré dans les animaux, c'est-à-dire des deux sources de toute matière combustible. Le phosphore s'enflamme de lui-même, c'est-à-dire sans communication de matière ignée, sans frottement, sans autre addition que celle du contact de l'air ; autre preuve de la nécessité de cet élément pour la combustion même d'une matière qui ne paraît être composée que de feu. Nous démontrons dans la suite que l'air est contenu dans l'eau sous une forme moyenne, entre l'état d'élasticité et celui de fixité ; le feu paraît être dans le phosphore à peu près dans ce même état moyen, car, de même que l'air se dégage de l'eau dès que l'on diminue la pression de l'atmosphère, le feu se dégage du phosphore lorsqu'on fait cesser la pression de l'eau où l'on est obligé de le tenir submergé pour pouvoir le garder et empêcher son feu de s'exalter. Le phosphore semble contenir cet élément sous une forme obscure et condensée, et il paraît être pour le feu obscur ce qu'est le miroir ardent pour le feu lumineux, c'est-à-dire un moyen de condensation.

Mais sans nous soutenir plus longtemps à la hauteur de ces considérations générales, auxquelles je pourrai revenir lorsqu'il sera nécessaire, suivons d'une manière plus directe et plus particulière l'examen du feu ; tâchons de saisir ses effets et de les présenter sous un point de vue plus fixe qu'on ne l'a fait jusqu'ici.

L'action du feu sur les différentes substances dépend beaucoup de la manière dont on l'applique, et le produit de son action sur une même substance paraîtra différent selon la

façon dont il est administré. J'ai pensé qu'on devait considérer le feu dans trois états différents, le premier relatif à sa vitesse, le second à son volume, et le troisième à sa masse: sous chacun de ces points de vue, cet élément si simple, si uniforme en apparence, paraîtra, pour ainsi dire, un élément différent. On augmente la vitesse du feu sans en augmenter le volume apparent, toutes les fois que dans un espace donné et rempli de matières combustibles on presse l'action et le développement du feu en augmentant la vitesse de l'air par des soufflets, des trompes, des ventilateurs, des tuyaux d'aspiration, etc., qui tous accélèrent plus ou moins la rapidité de l'air dirigé sur le feu: ce qui comprend, comme l'on voit, tous les instruments, tous les fourneaux à vent, depuis les grands fourneaux de forges jusqu'à la lampe des émailleurs.

On augmente l'action du feu par son volume toutes les fois qu'on accumule une grande quantité de matières combustibles et qu'on en fait rouler la chaleur et la flamme dans des fourneaux de réverbère: ce qui comprend, comme l'on sait, les fourneaux de nos manufactures de glaces, de cristal, de verre, de porcelaine, de poterie, et aussi ceux où l'on fond tous les métaux et les minéraux, à l'exception du fer; le feu agit ici par son volume et n'a que sa propre vitesse, puisqu'on n'en augmente pas la rapidité par des soufflets ou d'autres instruments qui portent l'air sur le feu. Il est vrai que la forme des *tisards*, c'est-à-dire des ouvertures principales par où ces fourneaux tirent l'air, contribue à l'attirer plus puissamment qu'il ne le serait en espace libre; mais cette augmentation de vitesse est très peu considérable en comparaison de la grande rapidité que lui donnent les soufflets: par ce dernier procédé on accélère l'action du feu qu'on aiguise par l'air autant qu'il est possible; par l'autre procédé on l'augmente en concentrant sa flamme en grand volume.

Il y a, comme l'on voit, plusieurs moyens d'augmenter l'action du feu, soit qu'on veuille le faire agir par sa vitesse ou par son volume; mais il n'y en a qu'un seul par lequel on puisse augmenter sa masse, c'est de le réunir au foyer d'un miroir ardent. Lorsqu'on reçoit sur un miroir réfringent ou réfléchif les rayons du soleil, ou même ceux d'un feu bien allumé, on les réunit dans un espace d'autant moindre que le miroir est plus grand et le foyer plus court. Par exemple, avec un miroir de quatre pieds de diamètre et d'un pouce de foyer, il est clair que la quantité de lumière ou de feu qui tombe sur le miroir de quatre pieds se trouvant réunie dans l'espace d'un pouce, serait deux mille trois cent quatre fois plus dense qu'elle ne l'était, si toute la matière incidente arrivait sans perte à ce foyer. Nous verrons ailleurs ce qui s'en perd effectivement, mais il nous suffit ici de faire sentir que quand même cette perte serait des deux tiers ou des trois quarts, la masse du feu concentré au foyer de ce miroir sera toujours six ou sept cents fois plus dense qu'elle ne l'était à la surface du miroir. Ici, comme dans tous les autres cas, la masse accroît par la contraction du volume, et le feu dont on augmente la densité a toutes les propriétés d'une masse de matière: car indépendamment de l'action de la chaleur par laquelle il pénètre les corps, il les pousse et les déplace comme le ferait un corps solide en mouvement qui en choquerait un autre. On pourra donc augmenter par ce moyen la densité ou la masse du feu, d'autant plus qu'on perfectionnera davantage la construction des miroirs ardents.

Or, chacune de ces trois manières d'administrer le feu et d'en augmenter ou la vitesse, ou le volume, ou la masse, produit sur les mêmes substances des effets souvent très différents; on calcine par l'un de ces moyens ce que l'on fond par l'autre; on volatilise par le dernier ce qui paraît réfractaire au premier: en sorte que la même matière donne des résultats si peu semblables qu'on ne peut compter sur rien, à moins qu'on ne la travaille en même temps ou successivement par ces trois moyens ou procédés que nous venons d'indiquer, ce qui est une route plus longue, mais la seule qui puisse nous conduire à la connaissance exacte de tous les rapports que les diverses substances peuvent avoir avec l'élément du feu. Et de la même manière que je divise en trois procédés généraux l'admi-

nistration de cet élément, je divise de même en trois classes toutes les matières que l'on peut soumettre à son action. Je mets à part pour un moment celles qui sont purement combustibles et qui proviennent immédiatement des animaux et des végétaux, et je divise toutes les matières minérales en trois classes relativement à l'action du feu : la première est celle des matières que cette action, longtemps continuée, rend plus légères, comme le fer (*); la seconde, celle des matières que cette même action du feu rend plus pesantes, comme le plomb; et la troisième classe est celle des matières sur lesquelles, comme sur l'or, cette action du feu ne paraît produire aucun effet sensible, puisqu'elle n'altère point leur pesanteur; toutes les matières existantes et possibles, c'est-à-dire toutes les substances simples et composées, seront nécessairement comprises dans l'une de ces trois classes. Ces expériences par les trois procédés, qui ne sont pas difficiles à faire et qui ne demandent que de l'exactitude et du temps, pourraient nous découvrir plusieurs choses utiles et seraient très nécessaires pour fonder sur des principes réels la théorie de la chimie : cette belle science, jusqu'à nos jours, n'a porté que sur une nomenclature précaire et sur des mots d'autant plus vagues qu'ils sont plus généraux. Le feu étant, pour ainsi dire, le seul instrument de cet art, et sa nature n'étant point connue non plus que ses rapports avec les autres corps, on ne sait ni ce qu'il y met ni ce qu'il en ôte; on travaille donc à l'aveugle, et l'on ne peut arriver qu'à des résultats obscurs que l'on rend encore plus obscurs en les érigeant en principes. Le phlogistique, le minéralisateur, l'acide, l'alcali, etc., ne sont que des termes créés par la méthode, dont les définitions sont adoptées par convention, et ne répondent à aucune idée claire et précise, ni même à aucun être réel. Tant que nous ne connaissons pas mieux la nature du feu, tant que nous ignorerons ce qu'il ôte ou donne aux matières qu'on soumet à son action, il ne sera pas possible de prononcer sur la nature de ces mêmes matières d'après les opérations de la chimie, puisque chaque matière à laquelle le feu ôte ou donne quelque chose n'est plus la substance simple que l'on voudrait connaître, mais une matière composée et mêlée, ou dénaturée et changée par l'addition ou la soustraction d'autres matières que le feu en enlève ou y fait entrer.

Prenons pour exemple de cette addition et de cette soustraction le plomb et le marbre; par la simple calcination l'on augmente le poids du plomb de près d'un quart, et l'on diminue celui du marbre de près de moitié; il y a donc un quart de matière inconnue que le feu donne au premier, et une moitié d'autre matière également inconnue qu'il enlève au second; tous les raisonnements de la chimie ne nous ont pas démontré jusqu'ici ce que c'est que cette matière donnée ou enlevée par le feu; et il est évident que lorsqu'on travaille sur le plomb et sur le marbre après leur calcination, ce ne sont plus ces matières simples que l'on traite, mais d'autres matières dénaturées et composées par l'action du feu. Ne serait-il donc pas nécessaire avant tout de procéder d'après les vues que je viens d'indiquer, de voir d'abord sous un même coup d'œil toutes les matières que le feu ne change ni n'altère, ensuite celles que le feu détruit ou diminue, et enfin celles qu'il augmente et compose en s'incorporant avec elles?

Mais examinons de plus près la nature du feu, considéré en lui-même. Puisque c'est une substance matérielle, il doit être sujet à la loi générale à laquelle toute matière est soumise, il est le moins pesant de tous les corps, mais cependant il pèse; et quoique ce que nous avons dit précédemment suffise pour le prouver évidemment, nous le démontrons encore par des expériences palpables, et que tout le monde sera en état de répéter aisément. On pourrait d'abord soupçonner par la pesanteur réciproque des astres que le

(*) Le fer, pas plus qu'aucune autre substance, n'est rendu « plus léger » par le feu; celui-ci ne rend non plus aucune substance plus pesante. Cette classification est donc aussi fautive qu'inutile.

feu en grande masse est pesant ainsi que toute autre matière, car les astres qui sont lumineux comme le soleil, dont toute la substance paraît être de feu, n'en exercent pas moins leur force d'attraction à l'égard des astres qui ne le sont pas; mais nous démontrerons que le feu même en très petit volume est réellement pesant, qu'il obéit comme toute autre matière à la loi générale de la pesanteur, et que par conséquent il doit avoir de même des rapports d'affinité avec les autres corps; en avoir plus ou moins avec telle ou telle substance, et n'en avoir que peu ou point du tout avec beaucoup d'autres. Toutes celles qu'il rendra plus pesantes, comme le plomb, seront celles avec lesquelles il aura le plus d'affinité, et en le supposant appliqué au même degré et pendant un temps égal, celles de ces matières qui gagneront le plus en pesanteur seront aussi celles avec lesquelles cette affinité sera la plus grande. Un des effets de cette affinité dans chaque matière est de retenir la substance même du feu et de se l'incorporer, et cette incorporation suppose que non seulement le feu perd sa chaleur et son élasticité, mais même tout son mouvement, puisqu'il se fixe dans ces corps et en devient partie constituante. Il y a donc lieu de croire qu'il en est du feu comme de l'air, qui se trouve sous une forme fixe et concrète dans presque tous les corps, et l'on peut espérer qu'à l'exemple du docteur Hales (a), qui a su dégager cet air fixé dans tous les corps et en évaluer la quantité, il viendra quelque jour un physicien habile qui trouvera les moyens de distraire le feu de toutes les matières où il se trouve sous une forme fixe; mais il faut auparavant faire la table de ces matières, en établissant par l'expérience les différents rapports dans lesquels le feu se combine avec toutes les substances qui lui sont analogues, et se fixe en plus ou moins grande quantité, selon que ces substances ont plus ou moins de force pour le retenir.

Car il est évident que toutes les matières dont la pesanteur augmente par l'action du feu sont douées d'une force attractive, telle que son effet est supérieur à celui de la force expansive dont les particules du feu sont animées; puisque celle-ci s'amortit et s'éteint, que son mouvement cesse, et que d'élastiques et fugitives qu'étaient ces particules ignées, elles deviennent fixes, solides et prennent une forme concrète. Ainsi les matières qui augmentent de poids par le feu comme l'étain, le plomb, les fleurs de zinc, etc., et toutes les autres qu'on pourra découvrir, sont des substances qui, par leur affinité avec le feu, l'attirent et se l'incorporent. Toutes les matières, au contraire, qui, comme le fer, le cuivre, etc., deviennent plus légères à mesure qu'on les calcine, sont des substances dont la force attractive, relativement aux particules ignées, est moindre que la force expansive du feu; et c'est ce qui fait que le feu, au lieu de se fixer dans ces matières, en enlève au contraire et en chasse les parties les moins liées qui ne peuvent résister à son impulsion. Enfin celles qui, comme l'or, le platine, l'argent, le grès, etc., ne perdent ni n'acquièrent par l'application du feu, et qu'il ne fait, pour ainsi dire, que traverser sans en rien enlever et sans y rien laisser, sont des substances qui, n'ayant aucune affinité avec le feu et ne pouvant se joindre avec lui, ne peuvent par conséquent ni le retenir ni l'accompagner en se laissant enlever. Il est évident que les matières des deux premières classes ont avec le feu un certain degré d'affinité, puisque celles de la seconde classe se chargent du feu qu'elles retiennent, et que le feu se charge de celles de la première classe et qu'il les emporte, au lieu que les matières de la troisième classe auxquelles il ne donne ni n'ôte rien, n'ont aucun rapport d'affinité ou d'attraction avec lui, et sont, pour ainsi dire, indifférentes à son action, qui ne peut ni les dénaturer ni même les altérer.

Cette division de toutes les matières en trois classes relatives à l'action du feu, n'exclut

(a) Le phosphore, qui n'est, pour ainsi dire, qu'une matière ignée, une substance qui conserve et condense le feu, serait le premier objet des expériences qu'il faudrait faire pour traiter le feu comme M. Hales a traité l'air, et le premier instrument qu'il faudrait employer pour ce nouvel art.

pas la division plus particulière et moins absolue de toutes les matières en deux autres classes, qu'on a jusqu'ici regardées comme relatives à leur propre nature, qui, dit-on, est toujours vitrescible ou calcaire. Notre nouvelle division n'est qu'un point de vue plus élevé, sous lequel il faut les considérer pour tâcher d'en déduire la connaissance même de l'agent qu'on emploie par les différents rapports que le feu peut avoir avec toutes les substances auxquelles on l'applique : faute de comparer ou de combiner ces rapports, ainsi que les moyens qu'on emploie pour appliquer le feu, je vois qu'on tombe tous les jours dans des contradictions apparentes, et même dans des erreurs très préjudiciables (a).

(a) Je vais en donner un exemple récent. Deux habiles chimistes (MM. Pott et d'Arcet) ont soumis un grand nombre de substances à l'action du feu ; le premier s'est servi d'un fourneau que je suis étonné que le second n'ait point entendu, puisque rien ne m'a paru si clair dans tout l'ouvrage de M. Pott, et qu'il ne faut qu'un coup d'œil sur la planche gravée de ce fourneau pour reconnaître que, par sa construction, il peut, quoique sans soufflets, faire à peu près autant d'effet que s'il en était garni : car, au moyen des longs tuyaux qui sont adaptés au fourneau par le haut et par le bas, l'air y arrive et circule avec une rapidité d'autant plus grande, que les tuyaux sont mieux proportionnés : ce sont des soufflets constants, et dont on peut augmenter l'effet à volonté. Cette construction est si bonne et si simple, que je ne puis concevoir que M. d'Arcet dise que ce fourneau est un problème pour lui... qu'il est persuadé que M. Pott a dû se servir de soufflets, etc., tandis qu'il est évident que son fourneau équivaut par sa construction à l'action des soufflets, et que par conséquent il n'avait pas besoin d'y avoir recours ; que d'ailleurs ce fourneau est encore exempt du vice que M. d'Arcet reproche aux soufflets, dont il a raison de dire que l'action alterne, sans cesse renaissante et expirante, jette du trouble et de l'inégalité sur celle du feu, ce qui ne peut arriver ici, puisque, pour la construction du fourneau, l'on voit évidemment que le renouvellement de l'air est constant, et que son action ne renaît ni n'expire, mais est continue et toujours uniforme. Ainsi M. Pott a employé l'un des moyens dont on se doit servir pour appliquer le feu, c'est-à-dire un moyen par lequel, comme par soufflets, on augmente la vitesse du feu, en le pressant incessamment par un air toujours renouvelé ; et toutes les fusions qu'il a faites par ce moyen et dont j'ai répété quelques-unes, comme celle du grès, du quartz, etc., sont très réelles, quoique M. d'Arcet les nie ; car pourquoi les nie-t-il ? c'est que de son côté, au lieu d'employer, comme M. Pott, le premier de nos procédés généraux, c'est-à-dire le feu par sa vitesse, accélérée autant qu'il est possible par le mouvement rapide de l'air, moyen par lequel il eût obtenu les mêmes résultats, il s'est servi du second procédé, et n'a employé que le feu en grand volume dans un fourneau sans soufflets et sans équivalent, dans lequel par conséquent le feu ne devait pas produire les mêmes effets, mais devait en donner d'autres, que par la même raison le premier procédé ne pouvait pas produire ; ainsi les contradictions entre les résultats de ces deux habiles chimistes ne sont qu'apparentes et fondées sur deux erreurs évidentes. La première consiste à croire que le feu le plus violent est celui qui est en plus grand volume ; et la seconde, que l'on doit obtenir du feu violent les mêmes résultats, de quelque manière qu'on l'applique : cependant ces deux idées sont fausses ; la considération des vérités contraires est encore une des premières pierres qu'il faudrait poser aux fondements de la chimie ; car ne serait-il pas très nécessaire avant tout, et pour éviter de pareilles contradictions à l'avenir, que les chimistes ne perdissent pas de vue qu'il y a trois moyens généraux et très différents l'un de l'autre d'appliquer le feu violent ? Le premier, comme je l'ai dit, par lequel on n'emploie qu'un petit volume de feu, mais que l'on agite, aiguise, exalte au plus haut degré par la vitesse de l'air, soit par des soufflets, soit par un fourneau semblable à celui de M. Pott, qui tire l'air avec rapidité : on voit, par l'effet de la lampe d'émailleur, qu'avec une quantité de feu presque infiniment petite, on fait de plus grands effets en petit que le fourneau de verrerie ne peut en faire en grand. Le second moyen est d'appliquer le feu, non pas en petite, mais en très grande quantité, comme on le fait dans les fourneaux de porcelaine et de verrerie, où le feu n'est fort que par son volume, où son action est tranquille, et n'est pas exaltée par un renouvellement très rapide de l'air. Le troisième moyen est d'appliquer le feu en très petit volume, mais en augmentant sa masse et son in-

On pourrait donc dire avec les naturalistes que tout est vitrescible dans la nature, à l'exception de ce qui est calcaire; que les quartz, les cristaux, les pierres précieuses, les cailloux, les grès, les granites, porphyres, agates, ardoises, gypses, argiles, les pierres ponceuses, les laves, les amiantes avec tous les métaux et autres minéraux, sont vitrifiables par le feu de nos fourneaux, ou par celui des miroirs ardents; tandis que les marbres, les albâtres, les pierres, les craies, les marnes et les autres substances qui proviennent du détrimement des coquilles et des madrépores ne peuvent se réduire en fusion par ces moyens. Cependant je suis persuadé que si l'on vient à bout d'augmenter encore la force des four-

tensité au point de le rendre plus fort que par le second moyen, et plus violent que par le premier; et ce moyen de concentrer le feu et d'en augmenter la masse par les miroirs ardents est encore le plus puissant de tous.

Or, chacun de ces trois moyens doit fournir un certain nombre de résultats différents; si par le premier moyen on fond et vitrifie telles et telles matières, il est très possible que par le second moyen on ne puisse vitrifier ces mêmes matières, et qu'au contraire on en puisse fondre d'autres, qui n'ont pu l'être par le premier moyen, et enfin il est tout aussi possible que par le troisième moyen on obtienne encore plusieurs résultats semblables ou différents de ceux qu'ont fournis les deux premiers moyens. Dès lors un chimiste qui, comme M. Pott, n'emploie que le premier moyen, doit se borner à donner les résultats fournis par ce moyen, faire, comme il l'a fait, l'énumération des matières qu'il a fondues, mais ne pas prononcer sur la non-fusibilité des autres, parce qu'elles peuvent l'être par le second ou le troisième moyen; enfin ne pas dire affirmativement et exclusivement, en parlant de son fourneau, *qu'en une heure de temps, ou deux au plus, il met en fonte tout ce qui est fusible dans la nature*. Et par la même raison, un autre chimiste qui, comme M. d'Arcet, ne s'est servi que du second moyen, tombe dans l'erreur, s'il se croit en contradiction avec celui qui ne s'est servi que du premier moyen, et cela parce qu'il n'a pu fondre plusieurs matières que l'autre a fait couler, et qu'au contraire il a mis en fusion d'autres matières que le premier n'avait pu fondre; car si l'un ou l'autre se fût avisé d'employer successivement les deux moyens, il aurait bien senti qu'il n'était point en contradiction avec lui-même, et que la différence des résultats ne provenait que de la différence des moyens employés. Que résulte-t-il donc de réel de tout ceci, sinon qu'il faut ajouter à la liste des matières fondues par M. Pott celles de M. d'Arcet, et se souvenir seulement que, pour fondre les premières, il faut le premier moyen, et le second pour fondre les autres? Il n'y par conséquent aucune contradiction entre les expériences de M. Pott et celles de M. d'Arcet, que je crois également bonnes; mais tous deux, après cette conciliation, auraient encore tort de conclure qu'ils ont fondu par ces deux moyens tout ce qui est fusible dans la nature, puisque l'on peut démontrer que par le troisième moyen, c'est-à-dire par les miroirs ardents, on fond et vitrifie, on volatilise et même on brûle quelques matières qui leur ont également paru fixes et réfractaires au feu de leurs fourneaux. Je ne m'arrêterai pas sur plusieurs choses de détail, qui cependant mériteraient animadversion, parce qu'il est toujours utile de ne pas laisser germer des idées erronées ou des faits mal vus, et dont on peut tirer de fausses conséquences. M. d'Arcet dit qu'il a remarqué constamment que la flamme fait plus d'effet que le feu de charbon: oui, sans doute, si ce feu n'est pas excité par le vent, mais toutes les fois que le charbon ardent sera vivifié par un air rapide, il y aura de la flamme qui sera plus active, et produira de bien plus grands effets que la flamme tranquille. De même lorsqu'il dit que les fourneaux donnent de la chaleur en raison de leur épaisseur, cela ne peut être vrai que dans le seul cas où les fourneaux étant supposés égaux, le feu qu'ils contiennent serait en même temps animé par deux courants d'air, égaux en volume et en rapidité; la violence du feu dépend presque en entier de cette rapidité du courant de l'air qui l'anime, je puis le démontrer par ma propre expérience: j'ai vu le grès que M. d'Arcet croit infusible, couler et se couvrir d'émail par le moyen de deux bons soufflets, mais sans le secours d'aucun fourneau et à feu ouvert. L'effet des fourneaux épais n'est pas d'augmenter la chaleur, mais de la conserver, et ils la conservent d'autant plus longtemps qu'ils sont plus épais.

neaux, et surtout la puissance des miroirs ardents, on arrivera au point de faire fondre ces matières calcaires qui paraissent être d'une nature différente de celle des autres; puisqu'il y a mille et mille raisons de croire qu'au fond leur substance est la même, et que le verre est la base commune de toutes les matières terrestres.

Par les expériences que j'ai pu faire moi-même pour comparer la force du feu selon qu'on emploie, ou sa vitesse ou son volume ou sa masse, j'ai trouvé que le feu des plus grands et des plus puissants fourneaux de verrerie, n'est qu'un feu faible en comparaison de celui des fourneaux à soufflets, et que le feu produit au foyer d'un bon miroir ardent est encore plus fort que celui des plus grands fourneaux de forge. J'ai tenu pendant trente-six heures dans l'endroit le plus chaud du fourneau de Rouelle en Bourgogne, où l'on fait des glaces aussi grandes et aussi belles qu'à Saint-Gobain en Picardie, et où le feu est aussi violent; j'ai tenu, dis-je, pendant trente-six heures à ce feu, de la mine de fer, sans qu'elle se soit fondue, ni agglutinée, ni même altérée en aucune manière; tandis qu'en moins de douze heures cette mine coule en fonte dans les fourneaux de ma forge: ainsi ce dernier feu est bien supérieur à l'autre. De même j'ai fondu ou volatilisé au miroir ardent plusieurs matières que, ni le feu des fourneaux de réverbère, ni celui des plus puissants soufflets n'avait pu faire fondre, et je me suis convaincu que ce dernier moyen est le plus puissant de tous; mais je renvoie à la partie expérimentale de mon ouvrage le détail de ces expériences importantes, dont je me contente d'indiquer ici le résultat général.

On croit vulgairement que la flamme est la partie la plus chaude du feu; cependant rien n'est plus mal fondé que cette opinion, car on peut démontrer le contraire par les expériences les plus aisées et les plus familières. Présentez à un feu de paille ou même à la flamme d'un fagot qu'on vient d'allumer, un linge pour le sécher ou le chauffer, il vous faudra le double et le triple du temps pour lui donner le degré de sécheresse ou de chaleur que vous lui donnerez en l'exposant à un brasier sans flamme, ou même à un poêle bien chaud. La flamme a été très bien caractérisée par Newton, lorsqu'il l'a définie une fumée brûlante (*flamma est fumus candens*) (*), et cette fumée ou vapeur qui brûle n'a jamais la même quantité, la même intensité de chaleur que le corps combustible duquel elle s'échappe; seulement en s'élevant et s'étendant au loin elle a la propriété de communiquer le feu, et de le porter plus loin que ne s'étend la chaleur du brasier, qui seule ne suffirait pas pour le communiquer même de près.

Cette communication du feu mérite une attention particulière. J'ai vu, après y avoir réfléchi, que pour la bien entendre il fallait s'aider non seulement des faits qui paraissent y avoir rapport, mais encore de quelques expériences nouvelles dont le succès ne me paraît laisser aucun doute sur la manière dont se fait cette opération de la nature. Qu'on reçoive dans un moule deux ou trois milliers de fer au sortir du fourneau, ce métal perd en peu de temps son incandescence, et cesse d'être rouge après une heure ou deux, suivant l'épaisseur plus ou moins grande du lingot. Si dans ce moment qu'il cesse de nous paraître rouge on le tire du moule, les parties inférieures seront encore rouges, mais perdront cette couleur en peu de temps. Or, tant que le rouge subsiste on pourra enflammer, allumer les matières combustibles qu'on appliquera sur ce lingot; mais dès qu'il a perdu cet état d'incandescence, il y a des matières en grand nombre qu'il ne peut plus enflammer; et cependant la chaleur qu'il répand est peut-être cent fois plus grande que celle d'un feu de paille qui néanmoins communiquerait l'inflammation à toutes ces matières; cela

(*) La flamme est formée en partie de gaz et en partie de molécules solides en combustion. La portion la plus extérieure, la plus claire, mais la moins chaude de la flamme, est formée de gaz, tandis que la partie interne, plus chaude, est formée de molécules solides rougies par la combustion. La composition de la flamme explique très facilement la communication du feu par son intermédiaire dont parle ensuite Buffon.

m'a fait penser que la flamme étant nécessaire à la communication du feu, il y avait de la flamme dans toute incandescence : la couleur rouge semble en effet nous l'indiquer ; mais par l'habitude où l'on est de ne regarder comme flamme que cette matière légère qu'agite et qu'emporte l'air, on n'a pas pensé qu'il pouvait y avoir de la flamme assez dense pour ne pas obéir comme la flamme commune à l'impulsion de l'air ; et c'est ce que j'ai voulu vérifier par quelques expériences, en approchant par degrés de ligne ou de demi-ligne, des matières combustibles près de la surface du métal en incandescence et dans l'état qui suit l'incandescence (a).

Je suis donc convaincu que les matières incombustibles et même les plus fixes, telles que l'or et l'argent, sont, dans l'état d'incandescence, environnées d'une flamme dense qui ne s'étend qu'à une très petite distance et qui, pour ainsi dire, est attachée à leur surface, et je conçois aisément que, quand la flamme devient dense à un certain degré elle cesse d'obéir à la fluctuation de l'air. Cette couleur blanche ou rouge, qui sort de tous les corps en incandescence et vient frapper nos yeux, est l'évaporation de cette flamme dense qui environne le corps en se renouvelant incessamment à sa surface ; et la lumière du soleil même n'est-elle pas l'évaporation de cette flamme dense dont brille sa surface avec si grand éclat ? Cette lumière ne produit-elle pas, lorsqu'on la condense, les mêmes effets que la flamme la plus vive ? ne communique-t-elle pas le feu avec autant de promptitude et d'énergie ? ne résiste-t-elle pas comme notre flamme dense à l'impulsion de l'air ? ne suit-elle pas toujours une route directe que le mouvement de l'air ne peut ni contrarier ni changer, puisqu'en soufflant, comme je l'ai éprouvé, avec un fort soufflet sur le cône lumineux d'un miroir ardent, on ne diminue point du tout l'action de la lumière dont il est composé, et qu'on doit la regarder comme une vraie flamme plus pure et plus dense que toutes les flammes de nos matières combustibles ?

C'est donc par la lumière que le feu se communique, et la chaleur seule ne peut produire le même effet que quand elle devient assez forte pour être lumineuse. Les métaux, les cailloux, les grès, les briques, les pierres calcaires, quel que puisse être leur degré différent de chaleur, ne pourront enflammer d'autres corps que quand ils seront devenus lumineux. L'eau elle-même, cet élément destructeur du feu, et par lequel seul nous pouvons empêcher la communication, le communique néanmoins lorsque dans un vaisseau bien fermé, tel que celui de la marmite de *Papin* (b), on la pénètre d'une assez grande quantité de feu pour la rendre lumineuse, et capable de fondre le plomb et l'étain, tandis que quand elle n'est que bouillante, loin de propager et de communiquer le feu, elle l'éteint sur-le-champ. Il est vrai que la chaleur seule suffit pour préparer et disposer les corps combustibles à l'inflammation, et les autres à l'incandescence ; la chaleur chasse des corps toutes les parties humides, c'est-à-dire l'eau qui de toutes les matières est celle qui s'oppose le plus à l'action du feu ; et ce qui est remarquable, c'est que cette même chaleur qui dilate tous les corps ne laisse pas de les durcir en les séchant ; je l'ai reconnu cent fois, en examinant les pierres de mes grands fourneaux, surtout les pierres calcaires, elles prennent une augmentation de dureté proportionnée au temps qu'elles ont éprouvé la chaleur ; celles, par exemple, des parois extérieures du fourneau, et qui ont reçu sans interruption, pendant cinq ou six mois de suite, quatre-vingts ou quatre-vingt-cinq degrés de chaleur constante, deviennent si dures qu'on a de la peine à les entamer avec les instruments ordinaires du tailleur de pierre ; on dirait qu'elles ont changé de qualité, quoique néanmoins elles la conservent à tous autres égards, car ces mêmes pierres n'en

(a) Voyez le détail de ces expériences dans la partie expérimentale de cet ouvrage.

(b) Dans le *Digesteur* de Papin, la chaleur de l'eau est portée au point de fondre le plomb et l'étain qu'on y a suspendus avec du fil de fer ou de laiton. *Musschenbrœk, Essai de physique*, p. 434, cité par M. de Mairan, *Dissertation sur la glace*, p. 192.

font pas moins de la chaux comme les autres lorsqu'on leur applique le degré de feu nécessaire à cette opération.

Ces pierres devenues dures par la longue chaleur qu'elles ont éprouvée, deviennent en même temps spécifiquement plus pesantes (a); de là, j'ai cru devoir tirer une induction qui prouve et même confirme pleinement que la chaleur, quoique en apparence toujours fugitive, et jamais stable dans les corps qu'elle pénètre, et dont elle semble constamment s'efforcer de sortir, y dépose néanmoins d'une manière très stable beaucoup de parties qui s'y fixent et remplacent en quantité, même plus grande, les parties aqueuses et autres qu'elle en a chassées. Mais ce qui paraît contraire ou du moins très difficile à concilier ici, c'est que cette même pierre calcaire qui devient spécifiquement plus pesante par l'action d'une chaleur modérée, longtemps continuée, devient tout à coup plus légère de près d'une moitié de son poids dès qu'on la soumet au grand feu nécessaire à sa calcination (*), et qu'elle perd en même temps non seulement toute la dureté qu'elle avait acquise par l'action de la simple chaleur, mais même sa dureté naturelle, c'est-à-dire la cohérence de ses parties constituantes; effet singulier dont je renvoie l'explication à l'article suivant où je traiterai de l'air, de l'eau et de la terre; parce qu'il me paraît tenir encore plus à la nature de ces trois éléments qu'à celle de l'élément du feu.

Mais c'est ici le lieu de parler de la calcination prise généralement, elle est pour les corps fixes et incombustibles ce qu'est la combustion pour les matières volatiles et inflammables; la calcination a besoin, comme la combustion, du secours de l'air; elle s'opère d'autant plus vite qu'on lui fournit une plus grande quantité d'air, sans cela le feu le plus violent ne peut rien calciner rien enflammer que les matières qui contiennent en elles-mêmes, et qui fournissent à mesure qu'elles brûlent ou se calcinent tout l'air nécessaire à la combustion ou à la calcination des substances avec lesquelles on les mêle. Cette nécessité du concours de l'air dans la calcination comme dans la combustion, indique qu'il y a plus de choses communes entre elles qu'on ne l'a soupçonné (**). L'application du feu est le principe de toutes deux, celle de l'air en est la cause seconde et presque aussi nécessaire que la première; mais ces deux causes se combinent inégalement, selon qu'elles agissent en plus ou moins de temps, avec plus ou moins de force sur des substances différentes; il faut pour en raisonner juste se rappeler les effets de la calcination, et les comparer entre eux et avec ceux de la combustion.

La combustion s'opère promptement et quelquefois se fait en un instant; la calcination est toujours plus lente, et quelquefois si longue qu'on la croit impossible: à mesure que les matières sont plus inflammables et qu'on leur fournit plus d'air, la combustion s'en fait avec plus de rapidité; et par la raison inverse, à mesure que les matières sont plus incombustibles la calcination s'en fait avec plus de lenteur. Et lorsque les parties constituantes d'une substance telle que l'or, sont non seulement incombustibles, mais paraissent si fixes qu'on ne peut les volatiliser, la calcination ne produit aucun effet, quelque violente qu'elle puisse être. On doit donc considérer la calcination et la combustion comme des effets du même ordre, dont les extrêmes nous sont désignés par le phosphore qui est le plus inflammable de tous les corps, et par l'or qui de tous est le plus fixe et le moins combustible; toutes les substances comprises entre ces deux extrêmes seront plus ou moins sujettes aux effets de la combustion ou de la calcination, selon qu'elles s'approcheront plus ou moins de ces deux extrêmes; de sorte que dans les points milieux, il se trouvera

(a) Voyez sur cela les expériences dont je rends compte dans la partie expérimentale de cet ouvrage.

(*) Dans la calcination, les matières calcaires subissent une diminution de poids résultant de la perte de leur eau.

(**) Elles consistent réellement l'une et l'autre en un phénomène d'oxydation.

des substances qui éprouveront au feu combustion et calcination en degré presque égal : d'où nous pouvons conclure, sans craindre de nous tromper, que toute calcination est toujours accompagnée d'un peu de combustion, et que de même toute combustion est accompagnée d'un peu de calcination. Les cendres et autres résidus des matières les plus combustibles ne démontrent-ils pas que le feu a calciné toutes les parties qu'il n'a pas brûlées, et que par conséquent un peu de calcination se trouve ici avec beaucoup de combustion ? La petite flamme qui s'élève de la plupart des matières qu'on calcine, ne démontre-t-elle pas de même qu'il s'y fait un peu de combustion ? Ainsi nous ne devons pas séparer ces deux effets si nous voulons bien saisir les résultats de l'action du feu sur les différentes substances auxquelles on l'applique.

Mais, dira-t-on, la combustion détruit les corps ou du moins en diminue toujours le volume ou la masse en raison de la quantité de matière qu'elle enlève ou consume ; la calcination fait souvent le contraire, et augmente la pesanteur d'un grand nombre de matières ; doit-on dès lors considérer ces deux effets, dont les résultats sont si contraires, comme des effets du même ordre ? L'objection paraît fondée et mérite réponse, d'autant que c'est ici le point le plus difficile de la question. Je crois néanmoins pouvoir y satisfaire pleinement. Considérons pour cela une matière dans laquelle nous supposons moitié de parties fixes et moitié de parties volatiles ou combustibles ; il arrivera, par l'application du feu, que toutes ces parties volatiles ou combustibles seront enlevées ou brûlées, et par conséquent séparées de la masse totale ; dès lors cette masse ou quantité de matière se trouvera diminuée de moitié, comme nous le voyons dans les pierres calcaires qui perdent au feu près de la moitié de leur poids. Mais si l'on continue à appliquer le feu pendant un très long temps à cette moitié toute composée de parties fixes, n'est-il pas facile de concevoir que toute combustion, toute volatilisation étant cessées, cette matière, au lieu de continuer à perdre de sa masse, doit au contraire en acquérir aux dépens de l'air et du feu dont on ne cesse de la pénétrer : et celles qui, comme le plomb, ne perdent rien, mais gagnent par l'application du feu, sont des matières déjà calcinées, préparées par la nature au degré où la combustion a cessé, et susceptibles par conséquent d'augmenter de pesanteur dès les premiers instants de l'application du feu ? Nous avons vu que la lumière s'amortit et s'éteint à la surface de tous les corps qui ne la réfléchissent pas ; nous avons vu que leur par sa longue résidence, se fixe en partie dans les matières qu'elle pénètre ; nous savons que l'air presque aussi nécessaire à la calcination qu'à la combustion, et toujours d'autant plus nécessaire à la calcination que les matières ont plus de fixité, se fixe lui-même dans l'intérieur des corps et en devient partie constituante ; dès lors n'est-il pas très naturel de penser que cette augmentation de pesanteur ne vient que de l'addition des particules de lumière, de chaleur et d'air qui se sont enfin fixées et unies à une matière, contre laquelle elles ont fait tant d'efforts sans pouvoir ni l'enlever ni la brûler (*) ? Cela est si vrai, que quand on leur présente ensuite une substance combustible avec laquelle elles ont bien plus d'analogie ou plutôt de conformité de nature, elles s'en saisissent avidement, quittent la matière fixe à laquelle elles n'étaient, pour ainsi dire, attachées que par force, reprennent par conséquent leur mouvement naturel, leur élasticité, leur volatilité, et partent toutes avec la matière combustible à laquelle elles viennent de se joindre. Dès lors le métal ou la matière calcinée, à laquelle vous avez rendu ces parties volatiles qu'elle avait perdues par sa combustion, reprend sa première forme, et sa pesanteur se trouve diminuée de toute la quantité des particules de feu et d'air qui s'étaient fixées, et qui viennent d'être enlevées par cette nouvelle combustion. Tout cela s'opère par la seule loi des affinités ; et

(*) Ni la lumière, ni la chaleur ne se fixent dans les corps en combustion, puisqu'elles ne sont que des mouvements, mais l'oxygène de l'air se combine avec ces corps, d'où leur augmentation de poids.

après ce qui vient d'être dit, il me semble qu'il n'y a plus de difficulté à concevoir comment la chaux d'un métal se réduit, que d'entendre comment il se précipite en dissolution : la cause est la même et les effets sont pareils. Un métal, dissous par un acide, se précipite lorsqu'on présente à cet acide une autre substance avec laquelle il a plus d'affinité qu'avec le métal, l'acide le quitte alors et le laisse tomber ; de même ce métal calciné, c'est-à-dire chargé de parties d'air, de chaleur et de feu qui, s'étant fixées, le tiennent sous la forme d'une chaux se précipitera, ou si l'on veut se réduira lorsqu'on présentera à ce feu et à cet air fixés des matières combustibles avec lesquelles ils ont bien plus d'affinité qu'avec le métal qui reprendra sa première forme dès qu'il sera débarrassé de cet air et de ce feu superflus (*), et qu'il aura repris, aux dépens des matières combustibles qu'on lui présente, les parties volatiles qu'il avait perdues.

Cette explication me paraît si simple et si claire, que je ne vois pas ce qu'on peut y opposer. L'obscurité de la chimie vient en grande partie de ce qu'on en a peu généralisé les principes, et qu'on ne les a pas réunis à ceux de la haute physique. Les chimistes ont adopté les affinités sans les comprendre, c'est-à-dire sans entendre le rapport de la cause à l'effet, qui, néanmoins, n'est autre que celui de l'attraction universelle ; ils ont créé leur phlogistique sans savoir ce que c'est, et cependant c'est de l'air et du feu fixes ; ils ont formé, à mesure qu'ils en ont eu besoin, des êtres idéaux (**), des *minéralisateurs*, des *terres mercurielles*, des noms, des termes d'autant plus vagues que l'acception en est plus générale. J'ose dire que M. Macquer (a) et M. de Morveau (b) sont les premiers de nos chimistes qui aient commencé à parler français (c). Cette science va donc naître, puisqu'on commence à la parler ; et on la parlera d'autant mieux, on l'entendra d'autant plus aisément, qu'on en bannira le plus de mots techniques, qu'on renoncera de meilleure foi à tous ces petits principes secondaires tirés de la méthode, qu'on s'occupera davantage de les déduire des principes généraux de la mécanique rationnelle, qu'on cherchera avec plus de soin à les ramener aux lois de la nature, et qu'on sacrifiera plus volontiers la commodité d'expliquer d'une manière précaire et selon l'art les phénomènes de la composition ou de la décomposition des substances à la difficulté de les présenter pour tels qu'ils sont, c'est-à-dire pour des effets particuliers dépendant d'effets plus généraux qui sont les seules vraies causes, les seuls principes réels auxquels on doit s'attacher si l'on veut avancer la science de la philosophie naturelle.

Je crois avoir démontré (d) que toutes les petites lois des affinités chimiques, qui paraissent si variables, si différentes entre elles, ne sont cependant pas autres que la loi générale de l'attraction commune à toute la matière ; que cette grande loi, toujours constante, toujours la même, ne paraît varier que par son expression, qui ne peut pas être la même lorsque la figure des corps entre comme élément dans leur distance. Avec cette nouvelle clef, on pourra scruter les secrets les plus profonds de la nature, on pourra parvenir à connaître la figure des parties primitives des différentes substances, assigner

(a) *Dictionnaire de chimie*. Paris, 1766.

(b) *Digressions académiques*. Dijon, 1772.

(c) Dans le moment même qu'on imprime ces feuilles paraît l'ouvrage de M. Baumé, qui a pour titre : *Chimie expérimentale et raisonnée*. L'auteur non seulement y parle une langue intelligible, mais il s'y montre partout aussi bon physicien que grand chimiste, et j'ai eu la satisfaction de voir que quelques-unes de ses idées générales s'accordent avec les miennes.

(d) Voyez, dans cet ouvrage, l'article qui a pour titre : *De la nature, seconde vue*.

(*) La vérité est que l'oxygène combiné avec la matière qui a subi la combustion peut être enlevé par un autre corps ayant plus d'affinité pour ce gaz.

(**) Expression très juste et pensée très élevée.

les lois et les degrés de leurs affinités, déterminer les formes qu'elles prendront en se réunissant, etc. (*) Je crois de même avoir fait entendre comment l'impulsion dépend de l'attraction, et que, quoiqu'on puisse la considérer comme une force différente, elle n'est néanmoins qu'un effet particulier de cette force unique et générale. J'ai présenté la communication du mouvement comme impossible autrement que par le ressort; d'où j'ai conclu que tous les corps de la nature sont plus ou moins élastiques, et qu'il n'y en a aucun qui soit parfaitement dur, c'est-à-dire entièrement privé de ressort, puisque tous sont susceptibles de recevoir du mouvement. J'ai tâché de faire connaître comment cette force unique pouvait changer de direction, et d'attractive devenir tout à coup répulsive. Et de ces grands principes, qui tous sont fondés sur la mécanique rationnelle, j'ai essayé de déduire les principales opérations de la nature, telle que la production de la lumière, de la chaleur, du feu et de leur action sur les différentes substances : ce dernier objet, qui nous intéresse le plus, est un champ vaste, dont le défrichement suppose plus d'un siècle, et dont je n'ai pu cultiver qu'un espace médiocre, en remettant à des mains plus habiles ou plus laborieuses les instruments dont je me suis servi. Ces instruments sont les trois moyens d'employer le feu par sa vitesse, par son volume et par sa masse, en l'appliquant concurremment aux trois classes des substances, qui toutes, ou perdent ou gagnent, ou ne perdent ni ne gagnent par l'application du feu. Les expériences que j'ai faites sur le refroidissement des corps, sur la pesanteur réelle du feu, sur la nature de la flamme, sur le progrès de la chaleur, sur sa communication, sa déperdition, sa concentration, sur sa violente action sans flamme, etc., sont encore autant d'instruments qui épargneront beaucoup de travail à ceux qui voudront s'en servir, et produiront une très ample moisson de connaissances utiles.

SECONDE PARTIE

DE L'AIR, DE L'EAU ET DE LA TERRE

Nous avons vu que l'air est l'adminicule nécessaire et le premier aliment du feu (**), qui ne peut ni subsister, ni se propager, ni s'augmenter, qu'autant qu'il se l'assimile, le consomme ou l'emporte; tandis que de toutes les substances matérielles, l'air est au contraire celle qui paraît exister le plus indépendamment et subsister le plus aisément, le plus constamment, sans le secours ou la présence du feu; car, quoiqu'il ait habituellement la même chaleur à peu près que les autres matières à la surface de la terre, il pourrait s'en passer, et il lui en faut infiniment moins qu'à toute autre pour entretenir sa fluidité, puisque les froids les plus excessifs, soit naturels, soit artificiels, ne lui font rien perdre de sa nature; que les condensations les plus fortes ne sont pas capables de

(*) On voit de quel admirable génie de synthèse Buffon était doué. Ses efforts sont constamment dirigés vers la simplification des théories et la réduction des forces.

(**) Buffon revient ici sur le rôle joué par l'air dans les phénomènes caloriques. Il avait parfaitement saisi la nécessité de son intervention dans ces phénomènes, et il est le premier qui ait réuni la calcination, la combustion et la chaleur animale dans la même classe de phénomènes. Mais on ne connaissait à son époque ni la composition de l'air lui-même, ni celle de la plupart des corps avec lesquels son oxygène se combine pour produire de la chaleur, et le Mémoire de Buffon se ressent de son ignorance au point de n'avoir qu'un intérêt purement historique.

rompre son ressort; que le feu actif, ou plutôt actuellement en exercice sur les matières combustibles, est le seul agent qui puisse altérer sa nature en la raréfiant, c'est-à-dire en affaiblissant, en étendant son ressort jusqu'au point de le rendre sans effet et de détruire ainsi son élasticité. Dans cet état de trop grande expansion et d'affaiblissement extrême de son ressort, et dans toutes les nuances qui précèdent cet état, l'air est capable de reprendre son élasticité, à mesure que les vapeurs des matières combustibles qui l'avaient affaiblie s'évaporeront et s'en sépareront. Mais si le ressort a été totalement affaibli et si prodigieusement étendu qu'il ne puisse plus se resserrer ni se restituer, ayant perdu toute sa puissance élastique, l'air, de volatil qu'il était auparavant, devient une substance fixe qui s'incorpore avec les autres substances, et fait dès lors partie constituante de toutes celles auxquelles il s'unit par le contact ou dans lesquelles il pénètre à l'aide de la chaleur. Sous cette nouvelle forme, il ne peut plus abandonner le feu que pour s'unir comme matière fixe à d'autres matières fixes; et, s'il en reste quelques parties inséparables du feu, elles font dès lors portion de cet élément, elles lui servent de base et se déposent avec lui dans les substances qu'ils échauffent et pénètrent ensemble. Cet effet, qui se manifeste dans toutes les calcinations, est d'autant plus sûr et d'autant plus sensible, que la chaleur est appliquée plus longtemps; la combustion ne demande que peu de temps pour se faire même complètement, au lieu que toute calcination suppose beaucoup de temps; il faut pour l'accélérer amener à la surface, c'est-à-dire présenter successivement à l'air les matières que l'on veut calciner, il faut les fondre ou les diviser en parties impalpables pour qu'elles offrent à cet air plus de superficie; il faut même se servir de soufflets, moins pour augmenter l'ardeur du feu que pour établir un courant d'air sur la surface des matières si l'on veut presser leur calcination; et pour la compléter avec tous ces moyens, il faut souvent beaucoup de temps (a), d'où l'on doit conclure qu'il faut aussi une assez longue résidence de l'air devenu fixe dans les substances terrestres pour qu'il s'établisse à demeure sous cette nouvelle forme.

Mais il n'est pas nécessaire que le feu soit violent pour faire perdre à l'air son élasticité; le plus petit feu et même une chaleur très médiocre, dès qu'elle est immédiatement et constamment appliquée sur une petite quantité d'air, suffisent pour en détruire le ressort; et pour que cet air sans ressort se fixe ensuite dans les corps il ne faut qu'un peu plus ou un peu moins de temps, selon le plus ou moins d'affinité qu'il peut avoir sous cette nouvelle forme avec les matières auxquelles il s'unit. La chaleur du corps des animaux et même des végétaux est encore assez puissante pour produire cet effet: les degrés de chaleur sont différents dans les différents genres d'animaux, et à commencer par les oiseaux, qui sont les plus chauds de tous, on passe successivement aux quadrupèdes, à l'homme, aux cétacés, qui le sont moins, aux reptiles, aux poissons, aux insectes, qui le sont beaucoup moins; et enfin aux végétaux, dont la chaleur est si petite, qu'elle a paru nulle aux observateurs (b); quoiqu'elle soit très réelle et qu'elle surpasse

(a) Je ne sais si l'on ne calcinerait pas l'or, non pas en le tenant, comme Boyle ou Kunkel, pendant un très long temps dans un fourneau de verrerie, où la vitesse de l'air n'est pas grande, mais en le mettant près de la tuyère d'un bon fourneau à vent, et le tenant en fusion dans un vaisseau ouvert, où l'on plongerait une petite spatule, qu'on ajusterait de manière qu'elle tournerait incessamment et remuerait continuellement l'or en fusion; car il n'y a pas de comparaison entre la force de ces feux, parce que l'air est ici bien plus accéléré que dans les fourneaux de verrerie.

(b) « Dans toutes les expériences que j'ai tentées (dit le docteur Martine), je n'ai pu découvrir qu'aucun des végétaux acquit en vertu du principe de vie un degré de chaleur supérieur à celui du milieu environnant, et qui pût être distingué; au contraire, tous les animaux, quelque peu que leur vie soit animée, ont un degré de chaleur plus considérable que celui de l'air ou de l'eau où ils vivent. » *Essais sur les thermomètres*, art. 37,

en hiver celle de l'atmosphère, j'ai observé sur un grand nombre de gros arbres coupés dans un temps froid que leur intérieur était très sensiblement chaud, et que cette chaleur durait pendant plusieurs minutes après leur abatage (*): ce n'est pas le mouvement violent de la cognée ou le frottement brusque et réitéré de la scie qui produisent seuls cette chaleur: car en fendant ensuite ce bois avec des coins, j'ai vu qu'il était chaud à deux ou trois pieds de distance de l'endroit où l'on avait placé les coins, et que par conséquent il avait un degré de chaleur assez sensible dans tout son intérieur. Cette chaleur n'est que très médiocre tant que l'arbre est jeune et qu'il se porte bien; mais dès qu'il commence à vieillir, le cœur s'échauffe par la fermentation de la sève, qui n'y circule plus avec la même liberté; cette partie du centre prend en s'échauffant une teinte rouge qui est le premier indice du dépérissement de l'arbre et de la désorganisation du bois; j'en ai manié des morceaux dans cet état qui étaient aussi chauds que si on les eût fait chauffer au feu (**). Si les observateurs n'ont pas trouvé qu'il y eût aucune différence entre la température de l'air et la chaleur des végétaux, c'est qu'ils ont fait leurs observations en mauvaise saison, et qu'ils n'ont pas fait attention qu'en été la chaleur de l'air est aussi grande et plus grande que celle de l'intérieur d'un arbre, tandis qu'en hiver c'est tout le contraire: ils ne se sont pas souvenus que les racines ont constamment au moins le degré de chaleur de la terre qui les environne, et que cette chaleur de l'intérieur de la terre est pendant tout l'hiver considérablement plus grande que celle de l'air et de la surface de la terre refroidie par l'air; ils ne se sont pas rappelés que les rayons du soleil tombant trop vivement sur les feuilles et sur les autres parties délicates des végétaux, non seulement les échauffent, mais les brûlent, qu'ils échauffent de même à un très grand degré l'écorce et le bois dont ils pénètrent la surface, dans laquelle ils s'amortissent et se fixent; ils n'ont pas pensé que le mouvement seul de la sève, déjà chaude, est une cause nécessaire de chaleur, et que ce mouvement venant à augmenter par l'action du soleil ou d'une autre chaleur extérieure, celle des végétaux doit être d'autant plus grande que le mouvement de leur sève est plus accéléré, etc. Je n'insiste si longtemps sur ce point qu'à cause de son importance, l'uniformité du plan de la nature serait violée si ayant accordée à tous les animaux un degré de chaleur supérieur à celui des matières brutes, elle l'avait refusé aux végétaux qui, comme les animaux, ont leur espèce de vie (**).

Mais ici l'air contribue encore à la chaleur animale et vitale, comme nous avons vu plus haut qu'il contribuait à l'action du feu dans la combustion et la calcination des matières combustibles et calcinables (****). Les animaux qui ont des poumons, et qui par conséquent respirent l'air, ont toujours plus de chaleur que ceux qui en sont privés; et plus la

édition in-12. Paris, 1751. — « On ne découvre au toucher aucun degré de chaleur dans les plantes, soit dans leurs larmes, soit dans le cœur de leur tiges. » Bacon, *Nov. Organ.*, 11, 12.

(*) Les végétaux possèdent, en effet, une chaleur propre qui est, comme celle des animaux, due aux oxydations et autres combinaisons chimiques qui se produisent dans leurs éléments anatomiques.

(**) Il faut distinguer la chaleur qui se dégage du bois mort et pourrissant de celle des végétaux vivants. La première est due aux phénomènes chimiques qui se produisent dans la putréfaction; la seconde est la conséquence de la respiration. Toutes les deux cependant ont cela de commun qu'elles sont produites par des oxydations et autres combinaisons chimiques; la nature seule des produits est différente.

(***) Pensée d'une très grande justesse.

(****) Buffon avait bien vu que l'air est nécessaire à la calcination, à la combustion et à l'entretien de la chaleur animale, mais il ignore absolument la façon dont il agit; de là, dans tout ce passage, qui est fort remarquable et qui dénote une puissance considérable d'induction, des obscurités profondes.

surface intérieure des poumons est étendue et ramifiée en un plus grand nombre de cellules ou de bronches, plus en un mot elle présente de superficie à l'air que l'animal tire par l'inspiration, plus aussi son sang devient chaud et plus il communique de chaleur à toutes les parties du corps qu'il abreuve ou nourrit, et cette proportion a lieu dans tous les animaux connus. Les oiseaux ont, relativement au volume de leur corps, les poumons considérablement plus étendus que l'homme ou les quadrupèdes; les reptiles, même ceux qui ont de la voix, comme les grenouilles, n'ont au lieu de poumons qu'une simple vessie; les insectes qui n'ont que peu ou point de sang ne pompent l'air que par quelques trachées, etc. Aussi en prenant le degré de la température de la terre pour terme de comparaison, j'ai vu que cette chaleur étant supposée de 40 degrés, celle des oiseaux était de près de 33 degrés, celle de quelques quadrupèdes de plus de $31\frac{1}{2}$ degrés, celle de l'homme de $30\frac{1}{2}$ ou 31 (a), tandis que celle des grenouilles n'est que de 45 ou 46, celle des poissons

(a) « A mon thermomètre (dit le docteur Martine) où le terme de la congélation est » marqué 32, j'ai trouvé que ma peau, partout où elle était bien couverte, élevait le mercure au degré 96 ou 97..... que l'urine, nouvellement rendue et reçue dans un vase de la même température qu'elle, est à peine d'un degré plus chaude que la peau, et nous pouvons supposer qu'elle est à peu près au degré des viscères voisins... Dans les quadrupèdes ordinaires, tels que les chiens, les chats, les brebis, les bœufs, les cochons, etc., la chaleur de la peau élève le thermomètre 4 ou 5 degrés plus haut que dans l'homme, et le porte aux degrés 100, 101, 102; et dans quelques-uns au degré 103, ou même un peu plus haut... La chaleur des cétacés est égale à celle des quadrupèdes... J'ai trouvé que la chaleur de la peau du veau marin était proche du degré 102, et celle de la cavité de l'abdomen environ un degré plus haut... Les oiseaux sont les plus chauds de tous les animaux, et surpassent de 3 ou 4 degrés les quadrupèdes, suivant l'expérience que j'en ai faite moi-même sur les canards, les oies, les poules, les pigeons, les perdrix, les hironnelles; la boule du thermomètre placée entre leurs cuisses, le mercure s'élevait aux degrés 103, 104, 105, 106, 107.» Le même observateur a reconnu que les chenilles n'avaient que très peu de chaleur, environ 2 ou 3 degrés au-dessus de l'air dans lequel elles vivent. « Ainsi, dit-il, la classe des animaux froids est formée par toute la famille des insectes, hormis les abeilles, qui font une exception singulière... — (Nota. Je ne sais pas s'il faut faire ici une exception pour les abeilles, comme l'ont fait la plupart de nos observateurs, qui prétendent que ces mouches ont autant de chaleur que les animaux qui respirent, parce que leur ruche est aussi chaude que le corps de ces animaux : il me semble que cette chaleur de l'intérieur de la ruche n'est point du tout la chaleur de chaque abeille; mais la somme totale de la chaleur qui s'évapore des corps de neuf ou dix mille individus réunis dans cet espace où leur mouvement continuel doit l'augmenter encore, et en divisant cette somme générale de chaleur par la quantité particulière de chaleur que s'évapore de chaque individu, on trouverait peut-être que l'abeille n'a pas plus de chaleur qu'une autre mouche.) — « J'ai » trouvé, par des expériences fréquentes, que la chaleur d'un essaim d'abeilles élevait le » thermomètre qui en était entouré, au degré 97, chaleur qui ne le cède point à la nôtre. La » chaleur des autres animaux d'une vie faible excède peu la chaleur du milieu environnant; » à peine distingue-t-on quelques différences dans les moules et dans les huitres, très peu » dans les carrelets, les merlans, les merlus et autres poissons à ouïes, qui m'ont tous paru » avoir à peine un degré de plus que l'eau de mer dans laquelle ils vivaient, et qui était » lors de mon observation au degré 41. Enfin, il n'y en a guère plus dans les poissons de » rivière, et quelques truites que j'ai examinées étaient au degré 62, pendant que l'eau de » la rivière était au degré 61... Suivant le résultat de plusieurs expériences, j'ai trouvé que » les limaçons étaient de 2 degrés plus chauds que l'air. Les grenouilles et les tortues de » de terre m'ont paru avoir quelque chose de plus, et environ 5 degrés de plus que l'air » qu'elles respiraient... J'ai aussi examiné la chaleur d'une carpe et celle d'une anguille, » et j'ai trouvé qu'elles excédaient à peine la chaleur de l'eau où ces poissons vivaient, » et qui était au degré 54. » *Essais sur les thermomètres*, art. 38, 39, 40, 41, 44, 45, 46 et 47.

et des insectes de 11 à 12, c'est-à-dire la moindre de toutes, et à très peu près la même que celle des végétaux. Ainsi le degré de chaleur dans l'homme et dans les animaux dépend de la force et de l'étendue des poumons (*) : ce sont les soufflets de la machine animale, ils en entretiennent et augmentent le feu selon qu'ils sont plus ou moins puissants, et que leur mouvement est plus ou moins prompt. La seule difficulté est de concevoir comment ces espèces de soufflets (dont la construction est aussi supérieure à celle de nos soufflets d'usage que la nature est au-dessus de nos arts), peuvent porter l'air sur le feu qui nous anime (**): feu dont le foyer paraît assez indéterminé, feu qu'on n'a pas même voulu qualifier de ce nom parce qu'il est sans flamme, sans fumée apparente, et que sa chaleur n'est que très médiocre et assez uniforme. Cependant si l'on considère que la chaleur et le feu sont des effets et même des éléments du même ordre; si l'on se rappelle que la chaleur raréfie l'air, et qu'en étendant son ressort elle peut l'affaiblir au point de le rendre sans effet, on pourra penser que cet air tiré par nos poumons s'y raréfiant beaucoup doit perdre son ressort dans les bronches et dans les petites vésicules, où il ne peut pénétrer qu'en petit volume, et en bulles dont le ressort, déjà très étendu, sera bientôt détruit par la chaleur du sang artériel et veineux : car ces vaisseaux du sang ne sont séparés des vésicules pulmonaires qui reçoivent l'air que par des cloisons si minces, qu'elles laissent aisément passer cet air dans le sang, où il ne peut manquer de produire le même effet que sur le feu commun, parce que le degré de chaleur de ce sang est plus que suffisant pour détruire en entier l'élasticité des particules d'air, les fixer et les entraîner sous cette nouvelle forme dans toutes les voies de la circulation. Le feu du corps animal ne diffère du feu commun que du moins au plus, le degré de chaleur est moindre : dès lors il n'y a point de flamme, parce que les vapeurs qui s'élèvent et qui représentent la fumée de ce feu n'ont pas assez de chaleur pour s'enflammer ou devenir ardentes, et qu'étant d'ailleurs mêlées de beaucoup de parties humides qu'elles enlèvent avec elles, ces vapeurs ou cette fumée ne peuvent ni s'allumer ni brûler (a) : tous les autres effets sont

(a) J'ai fait une grande expérience au sujet de l'inflammation de la fumée. J'ai rempli de charbon sec et conservé à couvert depuis plus de six mois deux de mes fourneaux, qui ont également 14 pieds de hauteur, et qui ne diffèrent dans leur construction que par les proportions des dimensions en largeur, le premier contenant juste un tiers de plus que le second. J'ai rempli l'un avec 1,200 livres de ce charbon, et l'autre avec 800 livres, et j'ai adapté au plus grand un tuyau d'aspiration, construit avec un châssis de fer, garni de tôle, qui avait 13 pouces en carré sur 10 pieds de hauteur; je lui avais donné 13 pouces sur les quatre côtés, pour qu'il remplît exactement l'ouverture supérieure du fourneau, qui était carrée, et qui avait 13 pouces $\frac{1}{2}$ de toutes faces; avant de remplir ces fourneaux, on avait préparé dans le bas une petite cavité en forme de voûte, soutenue par des bois secs, sous lesquels on mit le feu au moment qu'on commença de charger de charbon; ce feu, qui d'abord était vif, se ralentit à mesure qu'on chargeait, cependant il subsista toujours sans s'éteindre, et lorsque les fourneaux furent remplis en entier, j'en examinai le progrès et le produit, sans le remuer et sans y rien ajouter; pendant les six premières heures, la fumée qui avait commencé à s'élever au moment qu'on avait commencé de charger, était très humide, ce que je reconnaissais aisément par les gouttes d'eau qui paraissaient sur les parties extérieures du tuyau d'aspiration, et ce tuyau n'était encore au bout de six heures que médiocrement chaud, car je pouvais le toucher aisément. On laissa le feu, le tuyau et les fourneaux pendant toute la nuit dans cet état; la fumée, continuant toujours, devint si abondante, si épaisse et si noire que le lendemain, en arrivant à mes forges, je crus qu'il y

(*) Pour parler plus exactement, il faut dire que le degré de chaleur dépend de l'activité de la respiration.

(**) Les poumons ne portent pas l'air « sur le feu qui nous anime »; ils servent à l'introduction dans le sang de l'oxygène qui produit « le feu », ou mieux la chaleur animale.

absolument les mêmes; la respiration d'un petit animal absorbe autant d'air que la lumière d'une chandelle; dans des vaisseaux fermés, de capacités égales, l'animal meurt en même temps que la chandelle s'éteint; rien ne peut démontrer plus évidemment que le feu de l'animal et celui de la chandelle ou de toute autre matière combustible allumée, sont des feux non seulement du même ordre, mais d'une seule et même nature, auxquels le secours de l'air est également nécessaire, et qui tous deux se l'approprient de la même manière, l'absorbent comme aliment, l'entraînent dans leur route ou le déposent sous une forme fixe dans les substances qu'ils pénètrent (*).

avait un incendie. L'air était calme, et comme le vent ne dissipait pas la fumée, elle enveloppait les bâtiments et les dérobaît à ma vue; elle durait déjà depuis vingt-six heures. J'allai à mes fourneaux, je trouvai que le feu qui n'était allumé qu'à la partie du bas, n'avait pas augmenté, qu'il se soutenait au même degré, mais la fumée qui avait donné de l'humidité dans les six premières heures, était devenue plus sèche, et paraissait néanmoins tout aussi noire. Le tuyau d'aspiration ne pompait pas davantage, il était seulement un peu plus chaud, et la fumée ne formait plus de gouttes sur sa surface extérieure; la cavité des fourneaux, qui avait 14 pieds de hauteur, se trouva vide au bout des vingt-six heures, d'environ 3 pieds; je les fis remplir, l'un avec 50, et l'autre avec 75 livres de charbon, et je fis remettre tout de suite le tuyau d'aspiration qu'on avait été obligé d'enlever pour charger. Cette augmentation d'aliment n'augmenta pas le feu ni même la fumée, elle ne changea rien à l'état précédent; j'observai le tout pendant huit heures de suite, m'attendant à tout instant à voir paraître la flamme, et ne concevant pas pourquoi cette fumée d'un charbon si sec, et si sèche elle-même qu'elle ne déposait pas la moindre humidité, ne s'enflammait pas d'elle-même, après trente-quatre heures de feu toujours subsistant au bas des fourneaux. Je les abandonnai donc une seconde fois dans cet état, et donnai ordre de n'y pas toucher. Le jour suivant, douze heures après les trente-quatre, je trouvai le même brouillard épais, la même fumée noire couvrant mes bâtiments; et ayant visité mes fourneaux, je vis que le feu d'en bas était toujours le même, la fumée la même et sans aucune humidité, et que la cavité des fourneaux était vide de 3 pieds 2 pouces dans le plus petit, et de 2 pieds 9 pouces seulement dans le plus grand, auquel était adapté le tuyau d'aspiration; je le remplis avec 66 livres de charbon, et l'autre avec 54, et je résolus d'attendre aussi longtemps qu'il serait nécessaire pour savoir si cette fumée ne viendrait pas enfin à s'enflammer; je passai neuf heures à l'examiner de temps à autre; elle était très sèche, très suffocante, très sensiblement chaude, mais toujours noire et sans flamme au bout de cinquante-cinq heures. Dans cet état, je la laissai pour la troisième fois. Le jour suivant, treize heures après les cinquante-cinq, je la retrouvai encore de même, le charbon de mes fourneaux baissé de même; et comme je réfléchissais sur cette consommation de charbon sans flamme, qui était d'environ moitié de la consommation qui s'en fait dans le même temps et dans les mêmes fourneaux, lorsqu'il y a de la flamme, je commençai à croire que je pourrais bien user beaucoup de charbon, sans avoir de flamme, puisque depuis trois jours on avait chargé trois fois les fourneaux (car j'oubliais de dire que ce jour même on venait de remplir la cavité vide du grand fourneau, avec 80 livres de charbon, et celle du petit avec 60 livres); je les laissai néanmoins fumer encore plus de cinq heures. Après avoir perdu l'espérance de voir cette fumée s'enflammer d'elle-même, je la vis tout d'un coup prendre feu, et faire une espèce d'explosion dans l'instant même qu'on lui présenta la flamme légère d'une poignée de paille; le tourbillon entier de la fumée s'enflamma jusqu'à 8 à 10 pieds de distance et autant de hauteur; la flamme pénétra la masse du charbon, et descendit dans le même moment jusqu'au bas du fourneau, et continua de brûler à la manière ordinaire; le charbon se consommait une fois plus vite, quoique le feu d'en bas ne parût guère plus animé; mais je suis convaincu que mes fourneaux auraient éternellement fumé, si l'on n'eût pas allumé la fumée; et rien ne me prouva mieux que la flamme n'est que de la fumée qui brûle, et que la communication du feu ne peut se faire que par la flamme.

(*) L'oxygène de l'air se fixe, dans les animaux supérieurs, sur les globules sanguins en s'y combinant avec l'hémoglobine pour former de l'oxyhémoglobine; la circulation entraîne

Les végétaux et la plupart des insectes n'ont, au lieu de poumons, que des tuyaux aspiratoires, des espèces de trachées par lesquelles ils ne laissent pas de pomper tout l'air qui leur est nécessaire : on le voit passer en bulles très sensibles dans la sève de la vigne ; il est non seulement pompé par les racines, mais souvent même par les feuilles ; il fait partie, et partie très essentielle, de la nourriture du végétal qui dès lors se l'assimile, le fixe et le conserve. Le petit degré de la chaleur végétale, joint à celui de la chaleur du soleil, suffit pour détruire le ressort de l'air contenu dans la sève, surtout lorsque cet air qui n'a pu être admis dans le corps de la plante et arriver à la sève qu'après avoir passé par des tuyaux très serrés, se trouve divisé en particules presque infiniment petites que le moindre degré de chaleur suffit pour rendre fixes. L'expérience confirme pleinement tout ce que je viens d'avancer : les matières animales et végétales contiennent toutes une très grande quantité de cet air fixe, et c'est en quoi consiste l'un des principes de leur inflammabilité ; toutes les matières combustibles contiennent beaucoup d'air, tous les animaux et les végétaux, toutes leurs parties, tous leurs détriments, toutes les matières qui en proviennent, toutes les mêmes substances où ces détriments se trouvent mélangés, contiennent plus ou moins d'air fixe, et la plupart renferment aussi une certaine quantité d'air élastique. On ne peut douter de ces faits, dont la certitude est acquise par les belles expériences du docteur Hales, et dont les chimistes ne me paraissent pas avoir senti toute la valeur, car ils auraient reconnu depuis longtemps que l'air fixe doit jouer en grande partie le rôle de leur phlogistique, ils n'auraient pas adopté ce terme nouveau qui ne répond à aucune idée précise, et ils n'en auraient pas fait la base de toutes leurs explications des phénomènes chimiques, ils ne l'auraient pas donné pour un être identique et toujours le même, puisqu'il est composé d'air et de feu, tantôt dans un état fixe et tantôt dans celui de la plus grande volatilité. Et ceux d'entre eux qui ont regardé le phlogistique comme le produit du feu élémentaire ou de la lumière se sont moins éloignés de la vérité, parce que le feu ou la lumière produisent, par le secours de l'air, tous les effets du phlogistique.

Les minéraux qui, comme les soufres et les pyrites contiennent dans leur substance une quantité plus ou moins grande des détriments ultérieurs des animaux et des végétaux, renferment dès lors des parties combustibles qui, comme toutes les autres, contiennent plus ou moins d'air fixe, mais toujours beaucoup moins que les substances purement animales ou végétales : on peut également leur enlever cet air fixe par la combustion ; on peut aussi le dégager par le moyen de l'effervescence, et dans les matières animales et végétales on le dégage par la simple fermentation, qui, comme la combustion, a toujours besoin d'air pour s'opérer. Ceci s'accorde si parfaitement avec l'expérience, que je ne crois pas devoir insister sur la preuve des faits. Je me contenterai d'observer que les soufres et les pyrites ne sont pas les seuls minéraux qu'on doive regarder comme combustibles, qu'il y en a beaucoup d'autres dont je ne ferai point ici l'énumération, parce qu'il suffit de dire que leur degré de combustibilité dépend ordinairement de la quantité de soufre qu'ils contiennent. Tous les minéraux combustibles tirent donc originairement cette propriété ou du mélange des parties animales et végétales qui sont incorporées avec eux, ou des particules de lumière, de chaleur et d'air qui, par le laps de temps, se sont fixées dans leur intérieur. (*) Rien selon moi, n'est combustible que ce qui a été formé par une

les globules, devenus riches en oxyhémoglobine, dans toutes les parties de l'organisme. Au contact des éléments anatomiques, les globules perdent l'excès d'oxygène qu'ils contiennent ; celui-ci se combine avec les principes chimiques constituant des tissus en déterminant une production de chaleur.

(*) Buffon suppose qu'un corps n'est combustible que parce qu'il contient des éléments combustibles distincts de sa propre substance, ou parce qu'il contient « des particules de lumière, de chaleur et d'air ». Il montre par là qu'il ignorait complètement en quoi consiste

chaleur douce, c'est-à-dire par ces mêmes éléments combinés dans toutes les substances que le soleil (a) éclaire et vivifie, ou dans celles que la chaleur intérieure de la terre foment et réunit.

C'est cette chaleur intérieure du globe de la terre que l'on doit regarder comme le vrai feu élémentaire, et il faut le distinguer de celui du soleil qui ne nous parvient qu'avec la lumière; tandis que l'autre, quoique bien plus considérable, n'est ordinairement que sous la forme d'une chaleur obscure, et que ce n'est que dans quelques circonstances, comme celles de l'électricité, qu'il prend de la lumière. Nous avons déjà dit que cette chaleur, observée pendant un grand nombre d'années de suite, est trois ou quatre cents fois plus grande en hiver, et vingt-neuf fois plus grande en été dans notre climat que la chaleur qui nous vient du soleil pendant le même temps : c'est une vérité qui peut paraître singulière, mais qui n'en est pas moins évidemment démontrée (b) (*). Comme nous en avons parlé disertement, nous nous contenterons de remarquer ici que cette chaleur constante, et toujours subsistante, entre comme élément dans toutes les combinaisons des autres éléments, et qu'elle est plus que suffisante pour produire sur l'air les mêmes effets que le feu actuel ou la chaleur animale; que par conséquent cette chaleur intérieure de la terre détruira l'élasticité de l'air, et le fixera toutes les fois qu'étant divisé en parties très petites, il se trouvera saisi par cette chaleur dans le sein de la terre; que sous cette nouvelle forme il entrera comme partie fixe dans un grand nombre de substances, lesquelles contiendront dès lors des particules d'air fixe et de chaleur fixe qui sont les premiers principes de la combustibilité. Mais ils se trouveront en plus ou moins grande quantité dans les différentes substances, selon le degré d'affinité qu'ils auront avec elles; et ce degré dépendra beaucoup de la quantité que ces substances contiendront de parties animales et végétales qui paraissent être la base de toute matière combustible : si elle y sont abondamment répandues ou faiblement incorporées, on pourra toujours les dégager de ces substances par

(a) Voici une observation qui semble démontrer que la lumière a plus d'affinité avec les substances combustibles qu'avec toutes les autres matières. On sait que la puissance réfractive des corps transparents est proportionnelle à leur densité; le verre, plus dense que l'eau, a proportionnellement une plus grande force réfringente, et en augmentant la densité du verre et de l'eau, l'on augmente à mesure leur force de réfraction. Cette proportion s'observe dans toutes les matières transparentes, et qui sont en même temps incombustibles. Mais les matières inflammables, telles que l'esprit-de-vin, les huiles transparentes, l'ambre, etc., ont une puissance réfringente plus grande que les autres; en sorte que l'attraction que ces matières exercent sur la lumière, et qui provient de leur masse ou densité, est considérablement augmentée par l'affinité particulière qu'elles ont avec la lumière. Si cela n'était pas, leur force réfringente serait, comme celle de toutes les autres matières, proportionnelle à leur densité; mais les matières inflammables attirent plus puissamment la lumière, et ce n'est que par cette raison qu'elles ont plus de puissance réfractive que les autres. Le diamant même ne fait pas une exception à cette loi; on doit le mettre au nombre des matières combustibles, on le brûle au miroir ardent; il a avec la lumière autant d'affinité que les matières inflammables, car sa puissance réfringente est plus grande qu'elle ne devrait l'être à proportion de sa densité. Il a en même temps la propriété de s'imbiber de la lumière et de la conserver assez longtemps; les phénomènes de sa réfraction doivent tenir en partie à ces propriétés.

(b) Voyez le Mémoire de M. de Mairan, dans ceux de l'Académie royale des sciences, année 1765, p. 143.

la combustion. Il avait bien compris que l'air est nécessaire à la combustion; il avait aussi saisi l'analogie qui existe entre la calcination, la combustion et la chaleur animale, mais il n'était pas allé plus loin.

(*) C'est tout le contraire qui est démontré. La chaleur intérieure du globe n'agit presque pas à la surface du globe, tandis que celle-ci est échauffée par la chaleur du soleil.

le moyen de la combustion. La plupart des minéraux métalliques et même des métaux contiennent une assez grande quantité de parties combustibles; le zinc, l'antimoine, le fer, le cuivre, etc., brûlent et produisent une flamme évidente et très vive tant que dure la combustion de ces parties inflammables qu'ils contiennent (*). Après quoi, si on continue le feu, la combustion finie, commence la calcination, pendant laquelle il rentre dans ces matières de nouvelles parties d'air et de chaleur qui s'y fixent, et qu'on ne peut en dégager qu'en leur présentant quelque matière combustible avec laquelle ces parties d'air et de chaleur fixes ont plus d'affinité qu'avec celles du minéral, auxquelles en effet elles ne sont unies que par force, c'est-à-dire par l'effort de la calcination. Il me semble que la conversion des substances métalliques en chaux et leur réduction pourront maintenant être très clairement entendues sans qu'il soit besoin de recourir à des principes secondaires ou à des hypothèses arbitraires pour leur explication (**). La réduction, comme je l'ai déjà insinué, n'est dans le réel qu'une seconde combustion par laquelle on dégage les parties d'air et de chaleur fixes que la calcination avait forcées d'entrer dans le métal et de s'unir à sa substance fixe, à laquelle ont rend en même temps les parties volatiles et combustibles que la première action du feu lui avait enlevées.

Après avoir présenté le grand rôle que l'air fixe joue dans les opérations les plus secrètes de la nature, considérons-le pendant quelques instants lorsque, sous la forme élastique, il réside dans les corps : ses effets sont alors aussi variables que les degrés de son élasticité; son action, quoique toujours la même, semble donner des produits différents dans les substances différentes. Pour en ramener la considération à un point de vue général, nous le comparerons avec l'eau et la terre, comme nous l'avons déjà comparé avec le feu; les résultats de cette comparaison entre les quatre éléments s'appliqueront ensuite aisément à toutes les substances de quelque nature qu'elles puissent être, puisque toutes ne sont composées que de ces quatre principes réels.

Le plus grand froid connu ne peut détruire le ressort de l'air, et la moindre chaleur suffit pour cet effet, surtout lorsque ce fluide est divisé en parties très petites. Mais il faut observer qu'entre son état de fixité et celui de sa pleine élasticité, il y a toutes les nuances des états moyens, et que c'est presque toujours dans quelques-uns de ces états moyens qu'il réside dans la terre et dans l'eau, ainsi que dans toutes les substances qui en sont composées : par exemple, on ne pourra pas douter que l'eau, qui nous paraît une substance si simple, ne contienne une certaine quantité d'air qui n'est ni fixe ni élastique (***), mais entre la fixité et l'élasticité, si l'on fait attention aux différents phénomènes qu'elle nous présente dans sa congélation, dans son ébullition, dans sa résistance à toute compression, etc., car la physique expérimentale nous démontre que l'eau est incompressible : au lieu de s'affaisser et de rentrer en elle-même lorsqu'on la force par la presse, elle passe à travers les vaisseaux les plus solides et les plus épais (****). Or, si l'air qu'elle contient en assez grande quantité y était dans son état de pleine élasticité, l'eau serait compressible en raison de cette quantité d'air élastique qu'elle contient et qui se comprimerait : donc l'air contenu dans l'eau n'y est pas simplement mêlé et n'y conserve pas sa forme élastique, mais y est plus intimement uni dans un état où son ressort ne s'exerce plus d'une manière sensible; et néanmoins ce ressort n'y est pas entièrement détruit, car,

(*) Ces corps brûlent parce qu'ils s'oxydent; ils ne contiennent pas des parties combustibles; ils sont eux-mêmes combustibles, c'est-à-dire oxydables.

(**) La « conversion des substances métalliques en chaux » est une oxydation de ces substances.

(***) L'eau pure ne contient pas d'air; elle n'est pas non plus aussi simple que le pensaient Buffon et ses contemporains; elle est formée par la combinaison de deux corps : l'hydrogène et l'oxygène.

(****) L'eau est peu compressible, mais elle n'est pas totalement incompressible.

si l'on expose l'eau à la congélation, on voit cet air sortir de son intérieur et se réunir à sa surface en bulles élastiques (*). Ceci seul suffirait pour prouver que l'air n'est pas contenu dans l'eau sous sa forme ordinaire, puisque, étant spécifiquement huit cent cinquante fois plus léger, il serait forcé d'en sortir par la seule nécessité de la prépondérance de l'eau; il est donc évident que l'air contenu dans l'eau n'y est pas dans son état ordinaire, c'est-à-dire de pleine élasticité, et en même temps il est démontré que cet état dans lequel il réside dans l'eau n'est pas celui de sa plus grande fixité, où son ressort absolument détruit ne peut se rétablir que par la combustion, puisque la chaleur ou le froid peuvent également le rétablir; il suffit de faire chauffer ou geler de l'eau pour que l'air qu'elle contient reprenne son élasticité et s'élève en bulles sensibles à sa surface, il s'en dégage de même lorsque l'eau cesse d'être pressée par le poids de l'atmosphère sous le récipient de la machine pneumatique; il n'est donc pas contenu dans l'eau sous une forme fixe, mais seulement dans un état moyen où il peut aisément reprendre son ressort; il n'est pas simplement mêlé dans l'eau, puisqu'il ne peut y résider sous sa forme élastique, mais aussi il ne lui est pas intimement uni sous sa forme fixe, puisqu'il s'en sépare plus aisément que de toute autre matière.

On pourra m'objecter avec raison que le froid et le chaud n'ont jamais opéré de la même façon; que si l'une de ces causes rend à l'air son élasticité, l'autre doit la détruire, et j'avoue que, pour l'ordinaire, le froid et le chaud produisent des effets différents; mais, dans la substance particulière que nous considérons, ces deux causes, quoique opposées, donnent le même effet : on pourra le concevoir aisément en faisant attention à la chose même et au rapport de ses circonstances. L'on sait que l'eau, soit gelée, soit bouillie, reprend l'air qu'elle avait perdu dès qu'elle se liquéfie ou qu'elle se refroidit; le degré d'affinité de l'air avec l'eau dépend donc en grande partie de celui de sa température; ce degré, dans son état de liquidité, est à peu près le même que celui de la chaleur générale à la surface de la terre; l'air, avec lequel elle a beaucoup d'affinité, la pénètre aussitôt qu'elle est divisée en parties très ténues, et le degré de la chaleur élémentaire et générale suffit pour affaiblir le ressort de ces petites parties, au point de le rendre sans effet tant que l'eau conserve cette température; mais si le froid vient à la pénétrer, ou, pour parler plus précisément, si ce degré de chaleur nécessaire à cet état de l'air vient à diminuer, alors son ressort, qui n'est pas entièrement détruit, se rétablira par le froid, et l'on verra les bulles élastiques s'élever à la surface de l'eau prête à se congeler. Si, au contraire, l'on augmente le degré de la température de l'eau par une chaleur extérieure, on en divise trop les parties intégrantes, on les rend volatiles, et l'air, qui ne leur était que faiblement uni, s'élève et s'échappe avec elles; car il faut se rappeler que, quoique l'eau prise en masse soit incompressible et sans aucun ressort, elle est très élastique dès qu'elle est divisée ou réduite en petites parties; et en ceci elle paraît être d'une nature contraire à celle de l'air, qui n'est compressible qu'en masse et qui perd son ressort dès qu'il est trop divisé. Néanmoins l'air et l'eau ont beaucoup plus de rapports entre eux que de propriétés opposées, et comme je suis très persuadé que toute la matière est convertible, et que les quatre éléments peuvent se transformer, je serais porté à croire que l'eau peut se changer en air lorsqu'elle est assez raréfiée pour se changer en vapeurs, car le ressort de la vapeur de l'eau est aussi et même plus puissant que le ressort de l'air; on voit le prodigieux effet de cette puissance dans les pompes à feu, on voit la terrible explosion qu'elle produit lorsqu'on laisse tomber du métal fondu sur quelques gouttes d'eau; et si l'on ne veut pas convenir avec moi que l'eau puisse dans cet état de vapeurs se transformer en air, on ne pourra du moins nier qu'elle n'en ait alors les principales propriétés.

(*) L'air qui se dégage, quand on fait congeler de l'eau, est de l'air tenu en dissolution dans l'eau, à l'état d'air, quoi qu'en dise Buffon.

L'expérience m'a même appris que la vapeur de l'eau peut entretenir et augmenter le feu, comme le fait l'air ordinaire (*), et cet air, que nous pourrions regarder comme pur, est toujours mêlé avec une très grande quantité d'eau; mais il faut remarquer comme chose importante que la proportion du mélange n'est pas, à beaucoup près, la même dans ces deux éléments. L'on peut dire en général qu'il y a beaucoup moins d'air dans l'eau que d'eau dans l'air; seulement, il faut considérer qu'il y a deux unités très différentes, auxquelles on pourrait rapporter les termes de cette proportion : ces deux unités sont le volume et la masse. Si on estime la quantité d'air contenue dans l'eau par le volume, elle paraîtra nulle, puisque le volume de l'eau n'en est point du tout augmenté; et de même l'air plus ou moins humide ne nous paraît pas changer de volume, cela n'arrive que quand il est plus ou moins chaud : ainsi, ce n'est point au volume qu'il faut rapporter cette proportion, c'est à la masse seule, c'est-à-dire à la quantité réelle de matière dans l'un et dans l'autre de ces deux éléments, qu'on doit comparer celle de leur mélange, et l'on verra que l'air est beaucoup plus *aqueux* que l'eau n'est *aérienne* peut-être dans la proportion de la masse, c'est-à-dire huit cent cinquante fois davantage. Quoi qu'il en soit de cette estimation, qui est peut-être ou trop forte ou trop faible, nous pouvons en tirer l'induction que l'eau doit se changer plus aisément en air que l'air ne peut se transformer en eau. Les parties de l'air, quoique susceptibles d'être extrêmement divisées, paraissent être plus grosses que celles de l'eau, puisque celle-ci passe à travers plusieurs filtres que l'air ne peut pénétrer; puisque, quand elle est raréfiée par la chaleur, son volume, quoique fort augmenté, n'est qu'égal ou un peu plus grand que celui des parties de l'air à la surface de la terre, car les vapeurs de l'eau ne s'élèvent dans l'air qu'à une certaine hauteur; enfin, puisque l'air semble s'imbiber d'eau comme une éponge, la contenir en grande quantité, et que le contenant est nécessairement plus grand que le contenu. Au reste, l'air, qui s'imbibe si volontiers de l'eau, semble la rendre de même lorsqu'on lui présente des sels ou d'autres substances avec lesquelles l'eau a encore plus d'affinité qu'avec lui. L'effet que les chimistes appellent *défaillance*, et même celui des *efflorescences*, démontrent non seulement qu'il y a une très grande quantité d'eau contenue dans l'air, mais encore que cette eau n'y est attachée que par une simple affinité, qui cède aisément à une affinité plus grande, et qui même cesse d'agir sans être combattue ou balancée par aucune autre affinité, mais par la seule raréfaction de l'air, puisqu'il se dégage de l'eau dès qu'elle cesse d'être pressée par le poids de l'atmosphère, sous le récipient de la machine pneumatique.

Dans l'ordre de la conversion des éléments, il me semble que l'eau est pour l'air ce que l'air est pour le feu, et que toutes les transformations de la nature dépendent de celles-ci. L'air, comme aliment du feu, s'assimile avec lui et se transforme en ce premier élément; l'eau, raréfiée par la chaleur, se transforme en une espèce d'air capable d'alimenter le feu comme l'air ordinaire; ainsi le feu a un double fonds de subsistance assurée; s'il consomme beaucoup d'air, il peut aussi en produire beaucoup par la raréfaction de l'eau, et réparer ainsi dans la masse de l'atmosphère toute la quantité qu'il en détruit, tandis qu'ultérieurement il se convertit lui-même en matière fixe dans les substances terrestres qu'il pénètre par sa chaleur ou par sa lumière.

Et de même que, d'une part, l'eau se convertit en air ou en vapeurs aussi volatils que l'air par sa raréfaction, elle se convertit en une substance solide par une espèce de condensation différente des condensations ordinaires. Tout fluide se raréfie par la chaleur et se condense par le froid; l'eau suit elle-même cette loi commune, et se condense à mesure qu'elle refroidit; qu'on en remplisse un tube de verre jusqu'aux trois quarts, on la verra descendre à mesure que le froid augmente, et se condenser comme font tous les autres

(*) Pour cela, il faut qu'il y ait de l'air contenu dans l'eau ou bien que l'eau se décompose et que son oxygène soit mis en liberté.

fluides ; mais, quelque temps avant l'instant de la congélation, on la verra remonter au-dessus du point des trois quarts de la hauteur du tube, et s'y renfler encore considérablement en se convertissant en glace. Mais si le tube est bien bouché et parfaitement en repos, l'eau continuera de baisser et ne se gèlera pas, quoique le degré de froid soit de 6, 8 ou 10 degrés au-dessous du terme de la glace, et l'eau ne gèlera que quand on ouvrira le tube ou qu'on le remuera. Il semble donc que la congélation nous présente d'une manière inverse les mêmes phénomènes que l'inflammation. Quelque intense, quelque grande que soit la chaleur renfermée dans un vaisseau bien clos, elle ne produira l'inflammation que quand elle touchera quelque matière enflammée ; et de même, à quelque degré qu'un fluide soit refroidi, il ne gèlera pas sans toucher quelque substance déjà gelée ; et c'est ce qui arrive lorsqu'on remue ou débouche le tube : les particules de l'eau qui sont gelées dans l'air extérieur ou dans l'air contenu dans le tube viennent, lorsqu'on le débouche ou le remue, frapper la surface de l'eau et lui communiquent leur glace. Dans l'inflammation, l'air, d'abord très raréfié par la chaleur, perd de son volume et se fixe tout à coup ; dans la congélation, l'eau, d'abord condensée par le froid, reprend plus de volume et se fixe de même. Car la glace est une substance solide, plus légère que l'eau, et qui conserverait sa solidité si le froid était toujours le même. Et je suis porté à croire qu'on viendrait à bout de fixer le mercure à un moindre degré de froid en le sublimant en vapeurs dans un air très froid. Je suis de même très porté à croire que l'eau, qui ne doit sa liquidité qu'à la chaleur et qui la perd avec elle, deviendrait une substance d'autant plus solide et d'autant moins fusible qu'elle éprouverait plus fort et plus longtemps la rigueur du froid. On n'a pas fait assez d'expériences sur ce sujet important.

Mais sans nous arrêter à cette idée, c'est-à-dire sans admettre ni sans exclure la possibilité de la conversion de la glace en matière infusible ou terre fixe et solide, passons à des vues plus étendues sur les moyens que la nature emploie pour la transformation de l'eau. Le plus puissant de tous et le plus évident est le filtre animal ; le corps des animaux à coquille en se nourrissant des particules de l'eau en travaille en même temps la substance au point de la dénaturer ; la coquille est certainement une substance terrestre, une vraie pierre, dont toutes les pierres que les chimistes appellent *calcaires* et plusieurs autres matières tirent leur origine ; cette coquille paraît à la vérité faire partie constitutive de l'animal qu'elle couvre, puisqu'elle se perpétue par la génération (*), et qu'on la voit dans les petits coquillages qui viennent de naître, comme dans ceux qui ont pris tout leur accroissement ; mais ce n'en est pas moins une substance terrestre, formée par la sécrétion ou l'exsudation du corps de l'animal (**); on la voit s'agrandir, s'épaissir par anneaux et par couches à mesure qu'il prend de la croissance ; et souvent cette matière pierreuse excède cinquante ou soixante fois la masse ou matière réelle du corps de l'animal qui la produit. Qu'on se représente pour un instant le nombre des espèces de ces animaux à coquille, ou pour les tous comprendre, de ces animaux à transsudation pierreuse, elles sont peut-être en plus grand nombre dans la mer, que ne l'est sur la terre le nombre des espèces d'insectes ; qu'on se représente ensuite leur prompt accroissement, leur prodigieuse multiplication, le peu de durée de leur vie, dont nous supposerons néanmoins le terme moyen à dix ans (a), qu'ensuite on considère qu'il faut multiplier par cinquante ou soixante

(a) La plus longue vie des escargots ou gros limaçons terrestres s'étend jusqu'à quatorze ans ; on peut présumer que les gros coquillages de mer vivent plus longtemps, mais aussi

(*) La coquille « ne se perpétue pas par la génération » ; les jeunes mollusques naissent nus, sans coquille ; ils ne commencent à en sécréter une que quand ils ont atteint un certain âge.

(**) L'animal puise la substance constituante de sa coquille, c'est-à-dire le carbonate de chaux, dans l'eau, où cette substance est tenue en dissolution sous la forme de bicarbonate.

le nombre presque immense de tous les individus de ce genre pour se faire une idée de toute la matière pierreuse produite en dix ans ; qu'enfin on considère que ce bloc déjà si gros de matière pierreuse doit être augmenté d'autant de pareils blocs qu'il y a de fois dix dans tous les siècles qui se sont écoulés depuis le commencement du monde, et l'on se familiarisera avec cette idée ou plutôt cette vérité, d'abord repoussante, que toutes nos collines, tous nos rochers de pierre calcaire, de marbre, de craie, etc., ne viennent originairement que de la dépouille de ces petits animaux (*). On n'en pourra douter à l'inspection des matières même, qui toutes contiennent encore des coquilles ou des détriments de coquilles très aisément reconnaissables.

Les pierres calcaires ne sont donc en très grande partie que de l'eau et de l'air contenus dans l'eau transformés par le filtre animal ; les sels, les bitumes, les huiles, les graisses de la mer n'entrent que peu ou pour rien dans la composition de la coquille ; aussi la pierre calcaire ne contient-elle aucune de ces matières ; cette pierre n'est que de l'eau transformée (**), jointe à quelque petite portion de terre vitrifiable et à une très grande quantité d'air fixe qui s'en dégage par la calcination. Cette opération produit les mêmes effets sur les coquilles qu'on prend dans la mer que sur les pierres qu'on tire des carrières, elles forment également de la chaux, dans laquelle on ne remarque d'autre différence que celle d'un peu plus ou d'un peu moins de qualité ; la chaux faite avec des écailles d'huître ou d'autres coquilles est plus faible que la chaux faite avec du marbre ou de la pierre dure ; mais le procédé de la nature est le même, les résultats de son opération les mêmes : les coquilles et les pierres perdent également près de moitié de leur poids par l'action du feu dans la calcination ; l'eau qui a conservé sa nature en sort la première, après quoi l'air fixe se dégage et ensuite l'eau fixe dont ces substances pierreuses sont composées reprend sa première nature et s'élève en vapeurs poussées et raréfiées par le feu, et il ne reste que les parties les plus fixes de cet air et de cette eau qui peut-être sont si fort unies entre elles, et à la petite quantité de terre fixe de la pierre que le feu ne peut les séparer. La masse se trouve donc réduite de près de moitié, et se réduirait peut-être encore plus si l'on donnait un feu plus violent. Et ce qui me semble prouver évidemment que cette matière chassée hors de la pierre par le feu n'est autre chose que de l'air et de l'eau, c'est la rapidité, l'avidité avec laquelle cette pierre calcinée reprend l'eau qu'on lui donne (***), et la force avec laquelle elle la tire de l'atmosphère lorsqu'on la lui refuse. La chaux, par son extinction ou dans l'air ou dans l'eau, reprend en grande partie la masse qu'elle avait perdue par la calcination ; l'eau avec l'air qu'elle contient vient remplacer l'eau et l'air qu'elle contenait précédemment, la pierre reprend dès lors sa première nature ; car en mêlant sa chaux avec des détriments d'autres pierres, on fait un mortier qui se durcit et devient avec le temps une substance solide et pierreuse comme celle dont on l'a composé.

Après cette exposition, je ne crois pas qu'on puisse douter de la transformation de l'eau en terre ou en pierre (****) par l'intermède des coquilles. Voilà donc d'une part toutes les

les petits et les très petits, tels que ceux qui forment le corail, et tous les madrépores, vivent beaucoup moins de temps ; et c'est par cette raison que j'ai pris le terme moyen de dix ans.

(*) Cela est très exact.

(**) Ce n'est pas « de l'eau transformée », c'est du carbonate de chaux puisé par l'animal dans l'eau où il était tenu en dissolution.

(***) Par la calcination, le calcaire est privé de l'eau qui entrait dans sa constitution moléculaire.

(****) Nous avons dit déjà que l'eau ne se transforme pas en « terre ou en pierre », mais qu'elle peut être privée du carbonate de chaux, c'est-à-dire « de la pierre » que, dans la nature, elle tient presque toujours en dissolution.

matières calcaires dont on doit rapporter l'origine aux animaux, et d'autre part toutes les matières combustibles qui ne proviennent que des substances animales ou végétales ; elles occupent ensemble un assez grand espace à la surface de la terre, et l'on peut juger par leur volume immense combien la nature vivante a travaillé pour la nature morte, car ici le brut n'est que le mort.

Mais les matières calcaires et les substances combustibles, quelque grand qu'en soit le nombre, quelque immense que nous en paraisse le volume, ne font qu'une très petite portion du globe de la terre, dont le fond principal et la majeure et très majeure quantité consiste en une matière de la nature du verre, matière qu'on doit regarder comme l'élément terrestre, à l'exclusion de toutes les autres substances auxquelles elle sert de base comme terre, lorsqu'elles se forment par le moyen ou par le détriment des animaux, des végétaux et par la transformation des autres éléments. Non seulement cette matière première, qui est la vraie terre élémentaire, sert de base à toutes les autres substances, et en constitue les parties fixes, mais elle est en même temps le terme ultérieur auquel on peut les ramener et les réduire toutes. Avant de présenter les moyens que la nature et l'art peuvent employer pour opérer cette espèce de réduction de toute substance en verre, c'est-à-dire en terre élémentaire, il est bon de rechercher si les moyens que nous avons indiqués sont les seuls par lesquels l'eau puisse se transformer en substance solide ; il me semble que le filtre animal la convertissant en pierre, le filtre végétal peut également la transformer lorsque toutes les circonstances se trouvent être les mêmes ; la chaleur propre des animaux à coquille étant un peu plus grande que celle des végétaux, et les organes de la vie plus puissants que ceux de la végétation, le végétal ne pourra produire qu'une petite quantité de pierres qu'on trouve assez souvent dans son fruit ; mais il peut convertir, et convertit réellement en sa substance une grande quantité d'air et une quantité encore plus grande d'eau ; la terre fixe qu'il s'approprie, et qui sert de base à ces deux éléments, est en si petite quantité, qu'on peut assurer, sans craindre de se tromper, qu'elle ne fait pas la centième partie de sa masse : dès lors le végétal n'est presque entièrement composé que d'air et d'eau transformés en bois, substance solide qui se réduit ensuite en terre par la combustion ou la putréfaction (*). On doit dire la même chose des animaux : ils fixent

(*) Ce passage est un de ceux dans lesquels Buffon expose le plus clairement ses idées sur le phénomène que l'on a désigné plus récemment sous le nom de circulation de la matière. D'après sa manière de voir, les végétaux prennent dans le milieu ambiant de l'air et de l'eau qu'ils transforment en bois, puis le bois, sous l'influence de la combustion ou de la putréfaction, se transforme en terre. Celle-ci n'est donc, en réalité, qu'un produit de transformation de l'air et de la terre. Il est inutile de faire remarquer la fausseté de cette théorie. La seule chose qu'il faille en retenir, c'est l'effort fait par Buffon pour expliquer le fait le plus intéressant peut-être qu'il soit donné à la science d'étudier. Diderot exprimait la même préoccupation dans son *Entretien entre Diderot et d'Alembert*, etc. « Je voudrais bien, fait-il dire à d'Alembert, que vous me disiez quelle différence vous mettez entre l'homme et la statue, entre le marbre et la chair » ; et Diderot de répondre : « Assez peu. On fait du marbre avec de la chair et de la chair avec du marbre... Je prends la statue que vous voyez et je la mets dans un mortier, et... lorsque le bloc de marbre est réduit en une poudre impalpable, je mêle cette poudre à l'humus ou terre végétale ; je les pétris bien ensemble ; j'arrose le mélange ; je le laisse putréfier un an, deux ans, un siècle, le temps ne me fait rien. Lorsque le tout s'est transformé en une matière homogène, ou humus, savez-vous ce que je fais ? J'y sème des pois, des fèves, des choux. Les plantes se nourrissent de la terre et je me nourris des plantes. » D'Alembert réplique : « Vrai ou faux, j'aime ce passage du marbre à l'humus, de l'humus au règne végétal et du règne végétal au règne animal, à la chair. »

Il était réservé à la science moderne de résoudre le grave problème soulevé par le naturaliste et par le philosophe du XVIII^e siècle, ou du moins d'indiquer les termes principaux de

et transforment non seulement l'air et l'eau, mais le feu en plus grande quantité que les végétaux; il me paraît donc que les fonctions des corps organisés sont l'un des plus puissants moyens que la nature emploie pour la conversion des éléments. On peut regarder chaque animal ou chaque végétal comme un petit centre particulier de chaleur ou de feu qui s'approprie l'air et l'eau qui l'environnent, se les assimile pour végéter ou pour se nourrir et vivre des productions de la terre, qui ne sont elles-mêmes que de l'air et de l'eau précédemment fixés; il s'approprie en même temps une petite quantité de terre, et recevant les impressions de la lumière et celles de la chaleur du soleil et du globe terrestre, il tourne en sa substance tous ces différents éléments, les travaille, les combine, les réunit, les oppose, jusqu'à ce qu'ils aient subi la forme nécessaire à son développement, c'est-à-dire à l'entretien de la vie et de l'accroissement de l'organisation, dont le moule, une fois donné, modèle toute la matière qu'il admet, et de brute qu'elle était la rend organisée.

L'eau qui s'unit si volontiers avec l'air, et qui entre en si grande quantité dans les corps organisés, s'unit aussi de préférence avec quelques matières solides, telles que les sels, et c'est souvent par leur moyen qu'elle entre dans la composition des minéraux. Le sel, au premier coup d'œil, ne paraît être qu'une terre dissoluble dans l'eau et d'une saveur piquante; mais les chimistes, en recherchant sa nature, ont très bien reconnu qu'elle consiste principalement dans la réunion de ce qu'ils nomment le *principe terreux* et le *principe aqueux* (*); l'expérience de l'acide nitreux, qui ne laisse après sa combustion qu'un peu de terre et d'eau, leur a même fait penser que ce sel et peut-être tous les autres sels n'étaient absolument composés que de ces deux éléments: néanmoins, il me paraît qu'on peut démontrer aisément que l'air et le feu entrent dans leur composition, puisque le nitre produit une grande quantité d'air dans la combustion, et que cet air fixe suppose du feu fixe qui s'en dégage en même temps; que d'ailleurs toutes les explications qu'on donne de la dissolution ne peuvent se soutenir à moins qu'elles n'admettent deux forces opposées, l'une attractive et l'autre expansive, et par conséquent la présence des éléments de l'air et du feu, qui sont seuls doués de cette seconde force; qu'enfin ce serait contre toute analogie que le sel ne se trouverait composé que de deux éléments de la terre et de l'eau, tandis que toutes les autres substances sont composées des quatre éléments. Ainsi l'on ne doit pas prendre à la rigueur ce que les grands chimistes, MM. Stahl et Macquer, ont dit à ce sujet; les expériences de M. Hales démontrent que le vitriol et le sel marin contiennent beaucoup plus et jusqu'à concurrence du huitième de son poids, et le sel de tartre encore plus. On peut donc assurer que l'air entre comme principe dans la composition de tous les sels, et que comme il ne peut se fixer dans aucune substance qu'à l'aide de la chaleur ou du feu qui se fixent en même temps, il doit être compté au nombre de leurs parties constitutives. Mais cela n'empêche pas que le sel ne doive aussi être regardé comme la substance moyenne entre la terre et l'eau: ces deux éléments entrent en proportion différente dans les différents sels ou substances salines dont la variété et le nombre sont si grands qu'on ne peut en faire l'énumération, mais qui, présentées généralement sous les dénominations

sa solution. On sait aujourd'hui que les végétaux verts décomposent, sous l'influence de la lumière solaire, l'acide carbonique de l'atmosphère et combinent son carbone avec l'eau puisée dans le sol et l'azote des azotates minéraux qu'elle tient en dissolution, pour former toutes les substances qui entrent dans la constitution des végétaux. Celles-ci sont ensuite mangées par les animaux qui leur font subir de nouvelles transformations; puis, quand le végétal et l'animal se décomposent après leur mort, les principes complexes qui entraient dans la constitution de leurs cellules et de leurs tissus retournent à l'état d'acide carbonique, d'eau et d'azotates minéraux sous laquelle ils avait été primitivement absorbés par les végétaux. (Pour plus de détails, voyez mon Introduction.)

(*) Il me paraît inutile de mettre en relief les erreurs qui foisonnent dans toute la fin de ce mémoire.

d'acides et d'alcalis, nous montrent qu'en général il y a plus de terre et moins d'eau dans ces derniers sels, et au contraire plus d'eau et moins de terre dans les premiers.

Néanmoins l'eau, quoique intimement mêlée dans les sels, n'y est ni fixée ni réunie par une force assez grande pour la transformer en matière solide comme dans la pierre calcaire; elle réside dans le sel ou dans son acide sous sa forme primitive, et l'acide le mieux concentré, le plus dépouillé d'eau, qu'on pourrait regarder ici comme de la terre liquide, ne doit cette liquidité qu'à la quantité de l'air et du feu qu'il contient; toute liquidité et même toute fluidité suppose la présence d'une certaine quantité de feu; et quand on attribuerait celle des acides à un reste d'eau qu'on ne peut en séparer, quand même on pourrait les réduire tous sous une forme concrète, il n'en serait pas moins vrai que leurs saveurs, ainsi que les odeurs et les couleurs, ont toutes également pour principe celui de la force expansive, c'est-à-dire la lumière et les émanations de la chaleur et du feu, car il n'y a que ces principes actifs qui puissent agir sur nos sens et les affecter d'une manière différente et diversifiée selon les vapeurs ou particules des différentes substances qu'ils nous apportent et nous présentent : c'est donc à ces principes qu'on doit rapporter non seulement la liquidité des acides, mais aussi leur saveur. Une expérience que j'ai eu occasion de faire un grand nombre de fois m'a pleinement convaincu que l'alcali est produit par le feu; la chaux faite à la manière ordinaire et mise sur la langue, même avant d'être éteinte par l'air ou par l'eau, a une saveur qui indique déjà la présence d'une certaine quantité d'alcali. Si l'on continue le feu, cette chaux, qui a subi une plus longue calcination, devient plus piquante sur la langue, et celle que l'on tire des fourneaux de forges où la calcination dure cinq ou six mois de suite, l'est encore davantage. Or, ce sel n'était pas contenu dans la pierre avant sa calcination; il augmente en force ou en quantité à mesure que le feu est appliqué plus violemment et plus longtemps à la pierre, il est donc le produit immédiat du feu et de l'air qui se sont incorporés dans sa substance pendant la calcination, et qui par ce moyen sont devenus parties fixes de cette pierre de laquelle ils ont chassé la plus grande partie des molécules d'eau, liquides et solides; qu'elle contenait auparavant. Cela seul me paraît suffisant pour prononcer que le feu est le principe de la formation de l'alcali minéral, et l'on doit en conclure, par analogie, que les autres alcalis doivent également leur formation à la chaleur constante de l'animal et du végétal dont on les tire.

A l'égard des acides, la démonstration de leur formation par le feu et l'air fixes, quoique moins immédiate que celle des alcalis, ne m'en paraît pas moins certaine : nous avons prouvé que le nitre et le phosphore tirent leur origine des matières végétales et animales, que le vitriol tire la sienne des pyrites, des soufres et des autres matières combustibles; on sait d'ailleurs que ces acides, soit vitrioliques, ou nitreux, ou phosphoriques, contiennent toujours une quantité d'alcali : on doit donc rapporter leur formation et leur saveur au même principe, et, réduisant tous les acides à un seul acide et tous les alcalis à un seul alcali, ramener tous les sels à une origine commune, et ne regarder leurs différentes saveurs et leurs propriétés particulières et diverses que comme le produit varié des différentes quantités de terre, d'eau, et surtout d'air et de feu fixes qui sont entrées dans leur composition. Ceux qui contiendront le plus de ces principes actifs d'air et de feu seront ceux qui auront le plus de puissance et le plus de saveur. J'entends par puissance la force dont les sels nous paraissent animés pour dissoudre les autres substances : on sait que la dissolution suppose la fluidité, qu'elle ne s'opère jamais entre deux matières sèches ou solides, et que par conséquent elle suppose aussi dans le dissolvant le principe de la fluidité, c'est-à-dire le feu; la puissance du dissolvant sera donc d'autant plus grande, que d'une part il contiendra ce principe actif en plus grande quantité, et que d'autre part ses parties aqueuses et terreuses auront plus d'affinité avec les parties de même espèce contenues dans les substances à dissoudre : et comme les degrés d'affinité dépendent absolument

de la figure des parties intégrantes des corps, ils doivent, comme ces figures, varier à l'infini; on ne doit donc pas être surpris de l'action plus ou moins grande ou nulle de certains sels sur certaines substances, ni des effets contraires d'autres sels sur d'autres substances. Leur principe actif est le même, leur puissance pour dissoudre la même, mais elle demeure sans exercice lorsque la substance qu'on lui présente repousse celle du dissolvant, ou n'a aucun degré d'affinité avec lui, tandis qu'au contraire elle le saisit avidement toutes les fois qu'il se trouve assez de force d'affinité pour vaincre celle de la cohérence, c'est-à-dire, toutes les fois que les principes actifs contenus dans le dissolvant sous la forme de l'air et de feu, se trouvent plus puissamment attirés par la substance à dissoudre qu'ils ne le sont par la terre et l'eau qu'il contient : car dès lors ces principes actifs s'en séparent, se développent et pénètrent la substance, qu'ils divisent et décomposent au point de la rendre susceptible, par cette division, d'obéir en liberté à toutes les forces attractives de la terre et de l'eau contenues dans le dissolvant, et de s'unir avec elles assez intimement pour ne pouvoir en être séparées que par d'autres substances qui auraient avec ce même dissolvant un degré encore plus grand d'affinité. Newton est le premier qui ait donné les affinités pour causes des précipitations chimiques; Stahl, adoptant cette idée, l'a transmise à tous les chimistes, et il me paraît qu'elle est aujourd'hui universellement reçue comme une vérité dont on ne peut douter. Mais ni Newton ni Stahl ne se sont élevés au point de voir que toutes ces affinités, en apparence si différentes entre elles, ne sont au fond que les effets particuliers de la force générale de l'attraction universelle; et, faute de cette vue, leur théorie ne pouvait être ni lumineuse ni complète, parce qu'ils étaient forcés de supposer autant de petites lois d'affinités différentes qu'il y avait de phénomènes différents, au lieu qu'il n'y a réellement qu'une seule loi d'affinité, loi qui est exactement la même que celle de l'attraction universelle, et par conséquent l'explication de tous les phénomènes doit être déduite de cette seule et même cause.

Les sels concourent donc à plusieurs opérations de la nature par la puissance qu'ils ont de dissoudre les autres substances : car, quoiqu'on dise vulgairement que l'eau dissout le sel, il est aisé de sentir que c'est une erreur d'expression fondée sur ce qu'on appelle communément le liquide, le *dissolvant*, et le solide, le *corps à dissoudre*; mais dans le réel lorsqu'il y a dissolution, les deux corps sont actifs et peuvent être également appelés *dissolvants* : seulement regardant le sel comme le dissolvant, le corps dissous peut être indifféremment ou liquide ou solide; et pourvu que les parties du sel soient assez divisées pour toucher immédiatement celles des autres substances, elles agiront et produiront tous les effets de la dissolution. On voit par là combien l'action propre des sels et l'action de l'élément de l'eau qui les contient doivent influencer sur la composition des matières minérales. La nature peut produire par ce moyen tout ce que nos arts produisent par le moyen du feu; il ne faut que du temps pour que les sels et l'eau opèrent sur les substances les plus compactes et les plus dures la division la plus complète et l'atténuation la plus grande de leurs parties, ce qui les rend alors susceptibles de toutes les combinaisons possibles, et capables de s'unir avec toutes les substances analogues et de se séparer de toutes les autres. Mais ce temps, qui n'est rien pour la nature et qui ne lui manque pas, est de toutes les choses nécessaires celle qui nous manque le plus; c'est faute de temps que nous ne pouvons imiter ses procédés ni suivre sa marche; le plus grand de nos arts serait donc l'art d'abrégier le temps, c'est-à-dire de faire en un jour ce qu'elle fait en un siècle : quelque vaine que paraisse cette prétention, il ne faut pas y renoncer; nous n'avons à la vérité ni les grandes forces ni le temps encore plus grand de la nature, mais nous avons au-dessus d'elle la liberté de les employer comme il nous plait; notre volonté est une force qui commande à toutes les autres forces lorsque nous la dirigeons avec intelligence. Ne sommes-nous pas venus à bout de créer à notre usage l'élément du feu, qu'elle nous avait caché? Ne l'avons-nous pas tiré des rayons qu'elle ne nous envoyait que pour nous éclairer?

N'avons-nous pas, par ce même élément, trouvé le moyen d'abrégé le temps en divisant les corps par une fusion aussi prompte que leur division serait lente par tout autre moyen? etc.

Mais cela ne doit pas nous faire perdre de vue que la nature ne puisse faire et ne fasse réellement, par le moyen de l'eau, tout ce que nous faisons par celui du feu. Pour le voir clairement, il faut considérer que la décomposition de toute substance ne pouvant se faire que par la division, plus cette division sera grande, et plus la décomposition sera complète; le feu semble diviser autant qu'il est possible les matières qu'il met en fusion; cependant on peut douter si celles que l'eau et les acides tiennent en dissolution ne sont pas encore plus divisées, et les vapeurs que la chaleur élève ne contiennent-elles pas des matières encore plus atténuées? Il se fait donc dans l'intérieur de la terre, au moyen de la chaleur qu'elle renferme et de l'eau qui s'y insinue, une infinité de sublimations, de distillations, de cristallisations, d'agréations, de disjonctions de toute espèce. Toutes les substances peuvent être avec le temps composées et décomposées par ces moyens; l'eau peut les diviser et en atténuer les parties autant et plus que le feu lorsqu'il les fond, et ces parties atténuées, divisées à ce point, se joindront, se réuniront de la même manière que celles du métal fondu se réunissent en se refroidissant. Pour nous faire mieux entendre, arrêtons-nous un instant sur la cristallisation: cet effet, dont les sels nous ont donné l'idée, ne s'opère jamais que quand une substance, étant dégagée de toute autre substance, se trouve très divisée et soutenue par un fluide qui, n'ayant avec elle que peu ou point d'affinité, lui permet de se réunir et de former, en vertu de sa force d'attraction, des masses d'une figure à peu près semblable à la figure de ses parties primitives; cette opération, qui suppose toutes les circonstances que je viens d'énoncer, peut se faire par l'intermède du feu aussi bien que par celui de l'eau, et se fait très souvent par le concours des deux, parce que tout cela ne suppose ou n'exige qu'une division assez grande de la matière, pour que ses parties primitives puissent, pour ainsi dire, se trier et former, en se réunissant, des corps figurés comme elles: or, le feu peut tout aussi bien, et mieux qu'aucun autre dissolvant, amener plusieurs substances à cet état, et l'observation nous le démontre dans les régules, dans les amiantes, les basaltes et autres productions du feu dont les figures sont régulières, et qui toutes doivent être regardées comme de vraies cristallisations.

Et ce degré de grande division, nécessaire à la cristallisation, n'est pas encore celui de la plus grande division possible ni réelle, puisque dans cet état les petites parties de la matière sont encore assez grosses pour constituer une masse qui, comme toutes les autres masses, n'obéit qu'à la seule force attractive, et dont les volumes, ne se touchant que par des points, ne peuvent acquérir la force répulsive, qu'une beaucoup plus grande division ne manquerait pas d'opérer par un contact plus immédiat, et c'est aussi ce que l'on voit arriver dans les effervescences, où tout d'un coup la chaleur et la lumière sont produites par le mélange de deux liqueurs froides. Ce degré de division de la matière est ici fort au-dessus du degré nécessaire à la cristallisation, et l'opération s'en fait aussi rapidement que l'autre s'exécute avec lenteur.

La lumière, la chaleur, le feu, l'air, l'eau, les sels, sont les degrés par lesquels nous venons de descendre du haut de l'échelle de la nature à sa base, qui est la terre fixe; et ce sont en même temps les seuls principes que l'on doit admettre et combiner pour l'explication de tous les phénomènes. Ces principes sont réels, indépendants de toute hypothèse et de toute méthode; leur conversion, leur transformation est tout aussi réelle, puisqu'elle est démontrée par l'expérience. Il en est de même de l'élément de la terre: il peut se convertir en se volatilissant, et prendre la forme des autres éléments, comme ceux-ci prennent la sienne en se fixant. Mais de la même manière que les parties primitives du feu, de l'air ou de l'eau ne formeront jamais seules des corps ou des masses qu'on puisse regarder comme du feu, de l'air ou de l'eau purs, de même il me paraît très inutile de chercher dans les matières terrestres une substance de terre pure: la fixité, l'homogénéité, l'éclat

transparent du diamant a ébloui les yeux de nos chimistes lorsqu'ils ont donné cette pierre pour la terre élémentaire et pure ; on pourrait dire avec autant et aussi peu de fondement que c'est au contraire de l'eau pure, dont toutes les parties se sont fixées pour composer une substance solide diaphane comme elle. Ces idées n'auraient pas été mises en avant, si l'on eût pensé que l'élément terreux n'a pas plus le privilège de la simplicité absolue que les autres éléments ; que même, comme il est le plus fixe de tous, et par conséquent le plus constamment passif, il reçoit comme base toutes les impressions des autres ; il les attire, les admet dans son sein, s'unit, s'incorpore avec eux, les suit et se laisse entraîner par leur mouvement, et par conséquent il n'est ni plus simple ni moins convertible que les autres. Ce ne sont jamais que les grandes masses qu'il faut considérer lorsqu'on veut définir la nature : les quatre éléments ont été bien saisis par les philosophes, même les plus anciens ; le soleil, l'atmosphère, la mer et la terre sont les grandes masses sur lesquelles ils les ont établis ; s'il existait un astre de phlogistique, une atmosphère d'alcali, un océan d'acide et des montagnes de diamant, on pourrait alors les regarder comme les principes généraux et réels de tous les corps, mais ce ne sont, au contraire, que des substances particulières, produites comme toutes les autres, par la combinaison des véritables éléments.

Dans la grande masse de matière solide qui nous représente l'élément de la terre, la couche superficielle est la terre la moins pure ; toutes les matières déposées par la mer en forme de sédiments, toutes les pierres produites par les animaux à coquille, toutes les substances composées par la combinaison des détriments du règne animal et végétal ; toutes celles qui ont été altérées par le feu des volcans ou sublimées par la chaleur intérieure du globe, sont des substances mixtes et transformées ; et quoiqu'elles composent de très grandes masses, elles ne nous représentent pas assez purement l'élément de la terre : ce sont les matières vitrifiables, dont la masse est mille et cent mille fois plus considérable que celle de toutes ces autres substances, qui doivent être regardées comme le vrai fond de cet élément ; ce sont en même temps celles qui sont composées de la terre la plus fixe, celles qui sont les plus anciennes, et cependant les moins altérées : c'est de ce fond commun dont toutes ces autres substances ont tiré la base de leur solidité ; car toute matière fixe, décomposée autant qu'elle peut l'être, se réduit ultérieurement en verre par la seule action du feu ; elle reprend sa première nature lorsqu'on la dégage des matières fluides ou volatiles qui s'y étaient unies, et ce verre ou matière vitrée qui compose la masse de notre globe représente d'autant mieux l'élément de la terre, qu'il n'a ni couleur, ni odeur, ni saveur, ni liquidité, ni fluidité, qualités qui toutes proviennent des autres éléments ou leur appartiennent.

Si le verre n'est pas précisément l'élément de la terre, il en est au moins la substance la plus ancienne ; les métaux sont plus récents et moins nobles ; la plupart des autres minéraux se forment sous nos yeux ; la nature ne produit plus de verre que dans les foyers particuliers de ses volcans, tandis que tous les jours elle forme d'autres substances par la combinaison du verre avec les autres éléments. Si nous voulons nous former une idée juste de ses procédés dans la formation des minéraux, il faut d'abord remonter à l'origine de la formation du globe, qui nous démontre qu'il a été fondu, liquéfié par le feu ; considérer ensuite que de ce degré immense de chaleur il a passé successivement au degré de sa chaleur actuelle ; que, dans les premiers moments où sa surface a commencé de prendre de la consistance, il a dû s'y former des inégalités, telles que nous en voyons sur la surface des matières fondues et refroidies ; que les plus hautes montagnes, toutes composées de matières vitrifiables, existent et datent de ce moment, qui est aussi celui de la séparation des grandes masses de l'air, de l'eau et de la terre : qu'ensuite, pendant le long espace de temps que suppose le refroidissement ou, si l'on veut, la diminution de la chaleur du globe au point de la température actuelle, il s'est fait dans ces mêmes mon-

tagnes, qui étaient les parties les plus exposées à l'action des causes extérieures, une infinité de fusions, de sublimations, d'agréations et de transformations de toute espèce par le feu de la terre, combiné avec la chaleur du soleil, et toutes les autres causes que cette grande chaleur rendait plus actives qu'elles ne le sont aujourd'hui ; que, par conséquent, on doit rapporter à cette date la formation des métaux et des minéraux que nous trouvons en grandes masses et en filons épais et continus. Le feu violent de la terre embrasée, après avoir élevé et réduit en vapeurs tout ce qui était volatil, après avoir chassé de son intérieur les matières qui composent l'atmosphère et les mers, a dû sublimer en même temps toutes les parties les moins fixes de la terre, les élever et les déposer dans tous les espaces vides, dans toutes les fentes qui se formaient à la surface à mesure qu'elle se refroidissait. Voilà l'origine et la gradation du gisement et de la formation des matières vitrifiables, qui toutes forment le noyau des plus grandes montagnes et renferment dans leurs fentes toutes les mines des métaux et des autres matières que le feu a pu diviser, fondre et sublimer. Après ce premier établissement encore subsistant des matières vitrifiables et des minéraux en grande masse qu'on ne peut attribuer qu'à l'action du feu, l'eau, qui jusqu'alors ne formait avec l'air qu'un vaste volume de vapeurs, commença de prendre son état actuel dès que la superficie du globe fut assez refroidie pour ne la plus repousser et dissiper en vapeurs ; elle se rassembla donc et couvrit la plus grande partie de la surface terrestre, sur laquelle se trouvant agitée par un mouvement continuel de flux et de reflux, par l'action des vents, par celle de la chaleur, elle commença d'agir sur les ouvrages du feu, elle altéra peu à peu la superficie des matières vitrifiables, elle en transporta les débris, les déposa en forme de sédiments ; elle put nourrir les animaux à coquilles, elle ramassa leurs dépouilles, produisit les pierres calcaires, en forma des collines et des montagnes, qui, se desséchant ensuite, reçurent dans leurs fentes toutes les matières minérales qu'elle pouvait dissoudre ou charrier.

Pour établir une théorie générale sur la formation des minéraux, il faut donc commencer par distinguer avec la plus grande attention : 1° ceux qui ont été produits par le feu primitif de la terre, lorsqu'elle était encore brûlante de chaleur ; 2° ceux qui ont été formés du détriment des premiers par le moyen de l'eau, et 3° ceux qui, dans les volcans ou dans d'autres incendies postérieurs au feu primitif, ont une seconde fois subi l'épreuve d'une violente chaleur. Ces trois objets sont très distincts et comprennent tout le règne minéral ; en ne le perdant pas de vue et y rapportant chaque substance minérale, on ne pourra guère se tromper sur son origine et même sur les degrés de sa formation. Toutes les mines que l'on trouve en masses ou gros filons dans nos hautes montagnes doivent se rapporter à la sublimation du feu primitif ; toutes celles, au contraire, que l'on trouve en petites ramifications, en filets, en végétations, n'ont été formées que du détriment des premières, entraîné par la stillation des eaux. On le voit évidemment en comparant, par exemple, la matière des mines de fer de Suède avec celle de nos mines de fer en grains ; celles-ci sont l'ouvrage immédiat de l'eau, et nous les voyons se former sous nos yeux, elles ne sont point attirables par l'aimant, elles ne contiennent point de soufre, et ne se trouvent que dispersées dans les terres ; les autres sont toutes plus ou moins sulfureuses, toutes attirables par l'aimant, ce qui seul suppose qu'elles ont subi l'action du feu ; elles sont disposées en grandes masses dures et solides, leur substance est mêlée d'une grande quantité d'asbeste, autre indice de l'action du feu. Il en est de même des autres métaux ; leur ancien fond vient du feu, et toutes leurs grandes masses ont été réunies par son action, mais toutes leurs cristallisations, végétations, granulations, etc., sont dues à des causes secondaires où l'eau a la plus grande part. Je borne ici mes réflexions sur la conversion des éléments, parce que ce serait anticiper sur celles qu'exige en particulier chaque substance minérale, et qu'elles seront mieux placées dans les articles de l'histoire naturelle des minéraux.

RÉFLEXIONS SUR LA LOI DE L'ATTRACTION

Le mouvement des planètes dans leurs orbites est un mouvement composé de deux forces : la première est une force de projection, dont l'effet s'exercerait dans la tangente de l'orbite si l'effet continu de la seconde cessait un instant ; cette seconde force tend vers le soleil, et par son effet précipiterait les planètes vers le soleil, si la première force venait à son tour à cesser un seul instant.

La première de ces forces peut être regardée comme une impulsion, dont l'effet est uniforme et constant, et qui a été communiquée aux planètes dès la formation du système planétaire ; la seconde peut être considérée comme une attraction vers le soleil, et se doit mesurer comme toutes les qualités qui partent d'un centre, par la raison inverse du carré de la distance, comme en effet on mesure les quantités de lumière, d'odeur, etc., et toutes les autres quantités ou qualités qui se propagent en ligne droite, et se rapportent à un centre. Or, il est certain que l'attraction se propage, en ligne droite, puisqu'il n'y a rien de plus droit qu'un fil à plomb, et que, tombant perpendiculairement à la surface de la terre, il tend directement au centre de la force, et ne s'éloigne que très peu de la direction du rayon centre. Donc on peut dire que la loi de l'attraction doit être la raison inverse du carré de la distance, uniquement parce qu'elle part d'un centre ou qu'elle y tend, ce qui revient au même.

Mais, comme ce raisonnement préliminaire, quelque bien fondé que je le croie, pourrait être contredit par les gens qui font peu de cas de la force des analogies, et qui ne sont accoutumés à se rendre qu'à des démonstrations mathématiques, Newton a cru qu'il valait beaucoup mieux établir la loi de l'attraction par les phénomènes mêmes que par toute autre voie, et il a, en effet, démontré géométriquement que, si plusieurs corps se meuvent dans des cercles concentriques, et que les carrés des temps de leurs révolutions soient comme les cubes de leurs distances à leur centre commun, les forces centripètes de ces corps sont réciproquement comme les carrés des distances, pourvu que les apsides de ces orbites soient immobiles. Ainsi, les forces par lesquelles les planètes tendent aux centres ou aux foyers de leurs orbites suivent en effet la loi du carré de la distance, et je ne crois pas que personne doute de la loi de Képler, et qu'on puisse nier que cela ne soit ainsi pour Mercure, pour Vénus, pour la terre, pour Mars, pour Jupiter et pour Saturne, surtout en les considérant à part et comme ne pouvant se troubler les uns et les autres, et en ne faisant attention qu'à leur mouvement autour du soleil.

Toutes les fois donc qu'on ne considérera qu'une planète ou qu'un satellite se mouvant dans son orbite autour du soleil ou d'une autre planète, ou qu'on n'aura que deux corps tous deux en mouvement, ou dont l'un est en repos et l'autre en mouvement, on pourra assurer que la loi de l'attraction suit exactement la raison inverse du carré de la distance, puisque par toutes les observations la loi de Képler se trouve vraie, tant pour les planètes principales que pour les satellites de Jupiter et de Saturne. Cependant on pourrait dès ici faire une objection tirée des mouvements de la lune, qui sont irréguliers au point que M. Halley l'appelle *sidus contumax*, et principalement du mouvement de ses apsides, qui

ne sont pas immobiles comme le demande la supposition géométrique, sur laquelle est fondé le résultat qu'on a trouvé de la raison inverse du carré de la distance pour la mesure de la force d'attraction dans les planètes.

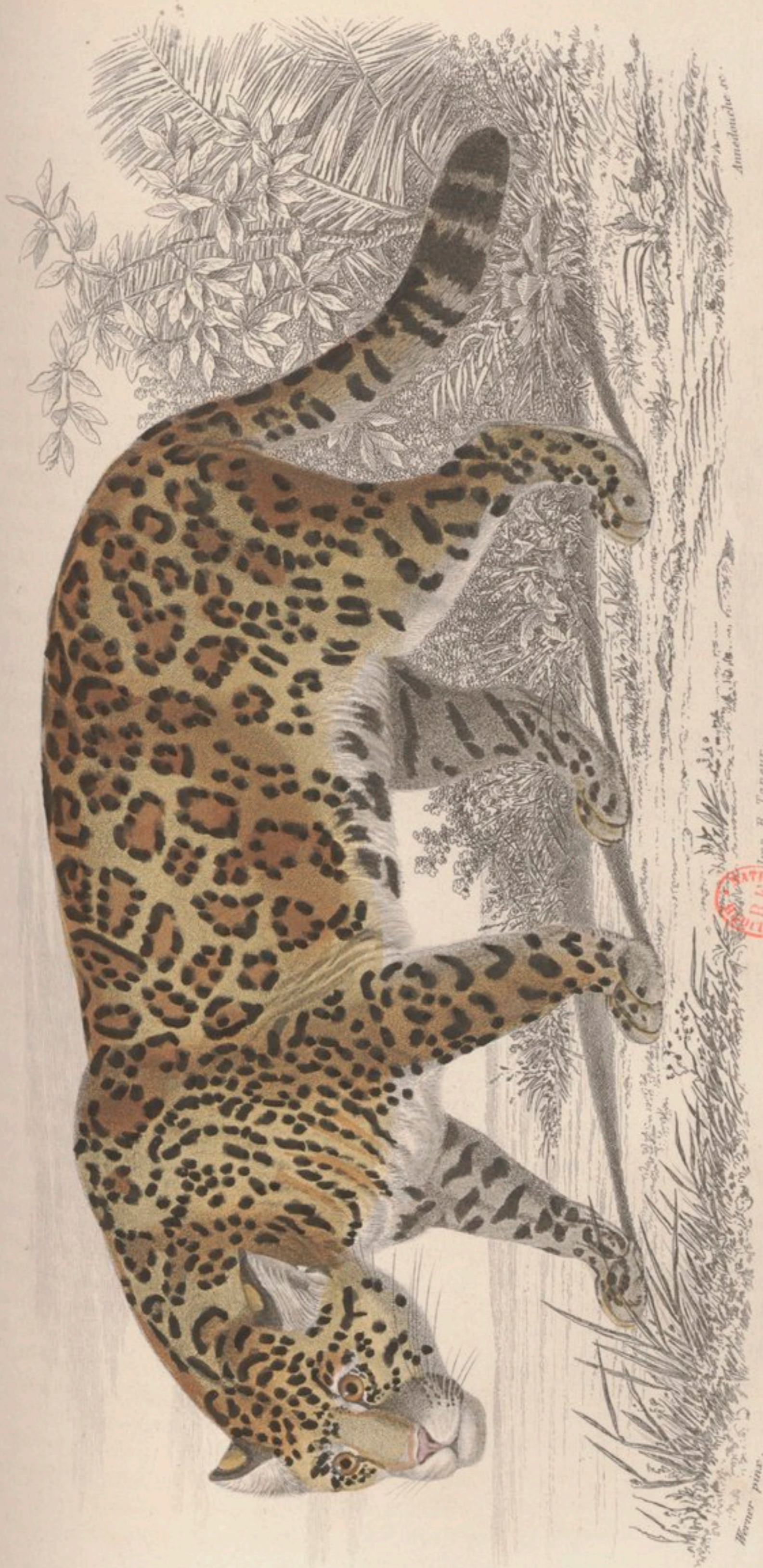
A cela il y a plusieurs manières de répondre : d'abord on pourrait dire que la loi s'observant généralement dans toutes les autres planètes avec exactitude, un seul phénomène où cette même exactitude ne se trouve pas ne doit pas détruire cette loi ; on peut le regarder comme une exception dont on doit rechercher la raison particulière. En second lieu, on pourrait répondre, comme l'a fait M. Cotes, que, quand même on accorderait que la loi d'attraction n'est pas exactement, dans ce cas, en raison inverse du carré de la distance, et que cette raison est un peu plus grande, cette différence peut s'estimer par le calcul, et qu'on trouvera qu'elle est presque insensible, puisque la raison de la force centripète de la lune, qui de toutes est celle qui doit être la plus troublée, approche soixante fois plus près de la raison du carré que la raison du cube de la distance : « Responderi potest, etiamsi concedamus hunc motum tardissimum exinde profectum quod vis centripetæ proportio aberret aliquantulum a duplicatâ, aberrationem illam per computum mathematicum inveniri posse, et planè insensibilem esse ; ista enim ratio vis centripetæ lunaris, quæ omnium maximè turbari debet, paululum quidem duplicatam superabit ; ad hanc verò sexaginta ferè vicibus propius accedet quàm ad triplicatam. Sed verior erit responsio, etc. » *Editoris præf. in edit 2 Newton.* Auctores Roger Cotes.

Et, en troisième lieu, on doit répondre plus positivement que ce mouvement des apsides ne vient point de ce que la loi d'attraction est un peu plus grande que dans la raison inverse du carré de la distance, mais de ce qu'en effet le soleil agit sur la lune par une force d'attraction qui doit troubler son mouvement et produire celui des apsides, et que par conséquent cela seul pourrait bien être la cause qui empêche la lune de suivre exactement la règle de Képler. Newton a calculé dans cette vue les effets de cette force perturbatrice, et il a tiré de sa théorie les équations et les autres mouvements de la lune avec une telle précision, qu'ils répondent très exactement et à quelques secondes près aux observations faites par les meilleurs astronomes ; mais, pour ne parler que du mouvement des apsides, il fait sentir dès la XLV^e proposition du premier livre que la progression de l'apogée de la lune vient de l'action du soleil ; en sorte que jusqu'ici tout s'accorde, et sa théorie se trouve aussi vraie et aussi exacte dans tous les cas les plus compliqués comme dans ceux qui le sont moins.

Cependant un de nos grands géomètres a prétendu (a) que la quantité absolue du mouvement de l'apogée ne pouvait pas se tirer de la théorie de la gravitation, telle qu'elle est établie par Newton, parce qu'en employant les lois de cette théorie, on trouve que ce mouvement ne devrait s'achever qu'en dix-huit ans, au lieu qu'il s'achève en neuf ans. Malgré l'autorité de cet habile mathématicien et les raisons qu'il a données pour soutenir son opinion, j'ai toujours été convaincu, comme je le suis encore aujourd'hui, que la théorie de Newton s'accorde avec les observations ; je n'entreprendrai pas ici de faire l'examen qui serait nécessaire pour prouver qu'il n'est pas tombé dans l'erreur qu'on lui reproche, je trouve qu'il est plus court d'assurer la loi de l'attraction telle qu'elle est, et de faire voir que la loi que M. Clairaut a voulu substituer à celle de Newton n'est qu'une supposition qui implique contradiction.

Car admettons pour un instant ce que M. Clairaut prétend avoir démontré, que, par la théorie de l'attraction mutuelle, le mouvement des apsides devrait se faire en dix-huit ans, au lieu de se faire en neuf ans, et souvenons-nous en même temps qu'à l'exception de ce phénomène, tous les autres, quelque compliqués qu'ils soient, s'accordent dans cette même théorie très exactement avec les observations : à en juger d'abord par les proba-

(a) M. Clairaut. Voyez les *Mémoires de l'Académie des sciences*, année 1745.



Amédée Leche sc.

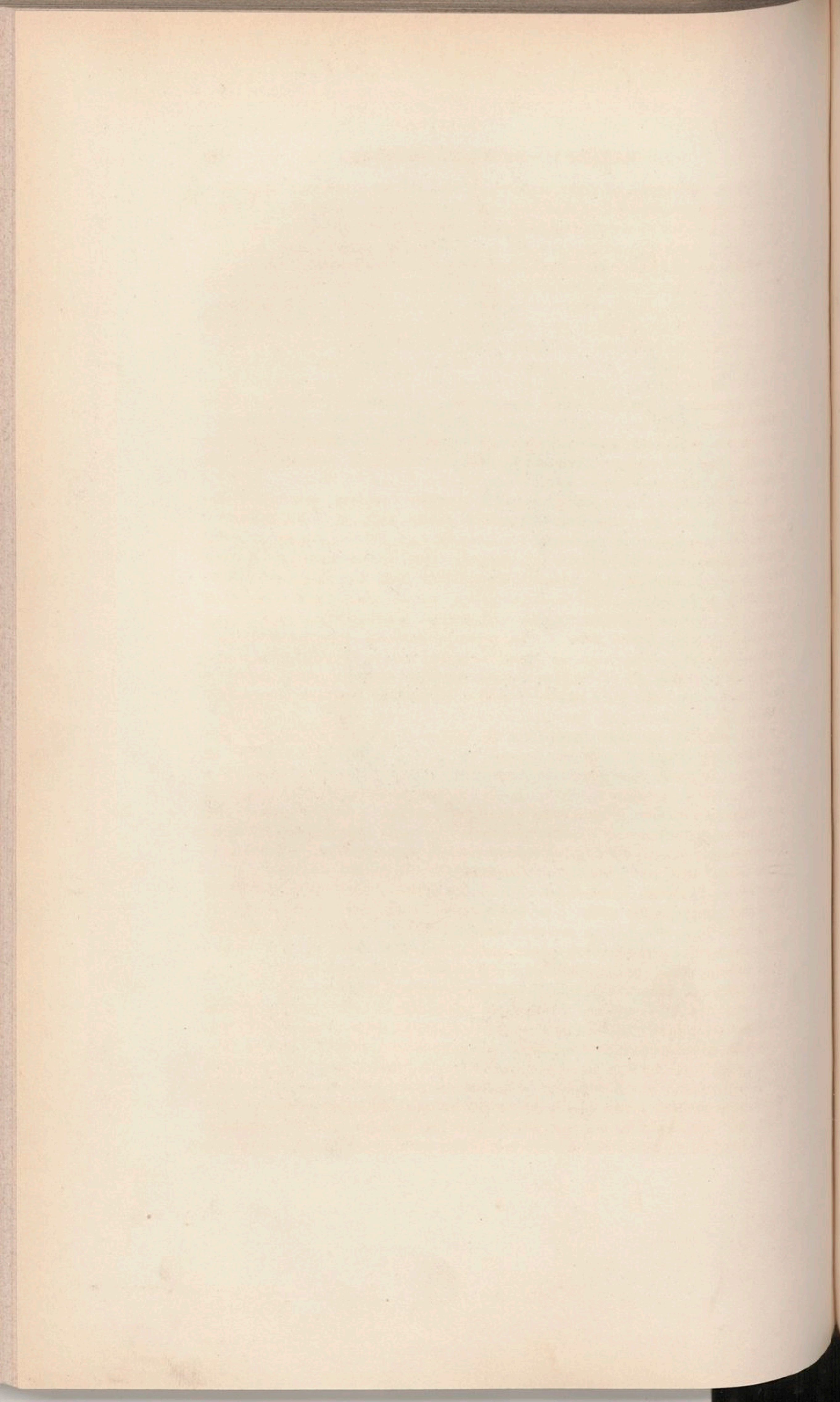
Imp. R. Taneur.



Hervey pinx.

JAGUAR.

A. Le Vasseur, Editeur



bilités, cette théorie doit subsister puisqu'il y a un nombre très considérable de choses où elle s'accorde parfaitement avec la nature, qu'il n'y a qu'un seul cas où elle en diffère, et qu'il est fort aisé de se tromper dans l'énumération des cause d'un seul phénomène particulier. Il me paraît donc que la première idée qui doit se présenter est qu'il faut chercher la raison particulière de ce phénomène singulier, et il me semble qu'on pourrait en imaginer quelqu'une; par exemple, si la force magnétique de la terre pouvait, comme le dit Newton, entrer dans le calcul, on trouverait peut-être qu'elle influe sur le mouvement de la lune, et qu'elle pourrait produire cette accélération dans le mouvement de l'apogée, et c'est dans ce cas où en effet il faudrait employer deux termes pour exprimer la mesure des forces qui produisent le mouvement de la lune. Le premier terme de l'expression serait toujours celui de la loi de l'attraction universelle, c'est-à-dire la raison inverse et exacte du carré de la distance, et le second terme représenterait la mesure de la force magnétique.

Cette supposition est sans doute mieux fondée que celle de M. Clairaut, qui me paraît plus hypothétique, et sujette d'ailleurs à des difficultés invincibles: exprimer la loi d'attraction par deux ou plusieurs termes, ajouter à la raison inverse du carré de la distance une fraction du carré-carré, au lieu de $\frac{1}{xx}$ mettre $\frac{1}{xx} + \frac{1}{mxx^4}$ me paraît n'être autre chose que d'ajuster une expression de telle façon qu'elle corresponde à tous les cas; ce n'est plus une loi physique que cette expression représente, car en se permettant une fois de mettre un second, un troisième, un quatrième terme, etc., on pourrait trouver une expression qui, dans toutes les lois d'attraction, représenterait les cas dont-il s'agit, en l'ajustant en même temps aux mouvements de l'apogée de la lune et aux autres phénomènes; et par conséquent cette supposition, si elle était admise, non seulement anéantirait la loi de l'attraction en raison inverse du carré de la distance, mais même donnerait entrée à toutes les lois possibles et imaginables: une loi en physique n'est loi que parce que sa mesure est simple, et que l'échelle qui la représente est non seulement toujours la même, mais encore qu'elle est unique, et qu'elle ne peut être représentée par une autre échelle; or, toutes les fois que l'échelle d'une loi ne sera pas représentée par un seul terme, cette simplicité et cette unité d'échelle, qui fait l'essence de la loi, ne subsiste plus, et par conséquent il n'y a plus aucune loi physique.

Comme ce dernier raisonnement pourrait paraître n'être que de la métaphysique, et qu'il y a peu de gens qui la sachent apprécier, je vais tâcher de le rendre sensible en m'expliquant davantage. Je dis donc que toutes les fois qu'on voudra établir une loi sur l'augmentation ou la diminution d'une qualité ou d'une quantité physique, on est strictement assujéti à n'employer qu'un terme pour expliquer cette loi: ce terme est la représentation de la mesure qui doit varier, comme en effet la quantité à mesurer varie; en sorte que si la quantité, n'étant d'abord qu'un pouce, devient ensuite une aune, une toise, une lieue, etc., le terme qui l'exprime devient successivement toutes ces choses, ou plutôt les représente dans le même ordre de grandeur, et il en est de même de toutes les autres raisons dans lesquelles une quantité peut varier.

De quelque façon que nous puissions donc supposer qu'une qualité physique puisse varier, comme cette qualité est une, sa variation sera simple et toujours exprimable par un seul terme qui en sera la mesure; et dès qu'on voudra employer deux termes, on détruira l'unité de la qualité physique, parce que ces deux termes représenteront deux variations différentes dans la même qualité, c'est-à-dire deux qualités au lieu d'une: deux termes sont en effet deux mesures, toutes deux variables et inégalement variables, et dès lors elles ne peuvent être appliquées à un sujet simple, à une seule qualité; et si on admet deux termes pour représenter l'effet de la force centrale d'un astre, il est nécessaire d'avouer qu'au lieu d'une force il y en a deux, dont l'une sera relative au premier terme, et l'autre relative au second terme, d'où l'on voit évidemment qu'il faut, dans le cas présent, que

M. Clairaut admette nécessairement un autre force différente de l'attraction, s'il emploie deux termes pour représenter l'effet total de la force centrale d'une planète.

Je ne sais comment on peut imaginer qu'une loi physique, telle qu'est celle de l'attraction, puisse être exprimée par deux termes par rapport aux distances, car s'il y avait, par exemple, une masse M dont la vertu attractive fut exprimée par $\frac{aa}{xx} + \frac{b}{x^4}$, n'en résulterait-il pas le même effet que si cette masse était composée de deux matières différentes, comme, par exemple, de $\frac{1}{2} M$, dont la loi d'attraction fût exprimée par $\frac{2aa}{xx}$ et de $\frac{1}{2} M$, dont l'attraction fût $\frac{2b}{x^4}$? cela me paraît absurde.

Mais indépendamment de ces impossibilités qu'implique la supposition de M. Clairaut, qui détruit aussi l'unité de loi sur laquelle est fondée la vérité et la belle simplicité du système du monde, cette supposition souffre bien d'autres difficultés que M. Clairaut devait, ce me semble, se proposer avant que de l'admettre, et commencer au moins par examiner d'abord toutes les causes qui pourraient produire le même effet. Je sens que si j'eusse résolu, comme M. Clairaut, le problème des trois corps, et que j'eusse trouvé que la théorie de la gravitation ne donne en effet que la moitié du mouvement de l'apogée, je n'en aurais pas tiré la conclusion qu'il en tire contre la loi de l'attraction; aussi est-ce cette conclusion que je contredis, et à laquelle je ne crois pas qu'on soit obligé de souscrire, quand même M. Clairaut aurait pu démontrer l'insuffisance de toutes les autres causes particulières.

Newton dit, tome III, page 547 : « In his computationibus attractionem magneticam » terræ non consideravi, cujus itaque quantitas perparva est et ignoratur; si quando » verò hæc attractio investigari poterit, et mensura graduum in meridiano, ac longitudi- » nes pendulorum isochronorum in diversis parallelis, legesque motuum maris et parallaxis » lunæ cum diametris apparentibus solis et lunæ ex phænomenis accuratiùs determi- » natae fuerint, licebit calculum hunc omnem accuratiùs repetere. » Ce passage ne prouve-t-il pas clairement que Newton n'a pas prétendu avoir fait l'énumération de toutes les causes particulières, et n'indiquerait-il pas en effet que si on trouve quelques différences avec sa théorie et les observations, cela peut venir de la force magnétique de la terre ou de quelque autre cause secondaire, et par conséquent si le mouvement des apsides ne s'accorde pas aussi exactement avec sa théorie que le reste, faudra-t-il pour cela ruiner sa théorie par le fondement, en changeant la loi générale de la gravitation? ou plutôt ne faudra-t-il pas attribuer à d'autres causes cette différence qui ne se trouve que dans ce seul phénomène? M. Clairaut a proposé une difficulté contre le système de Newton, mais ce n'est tout au plus qu'une difficulté qui ne doit ni ne peut devenir un principe, il faut chercher à la résoudre et non pas en faire une théorie dont toutes les conséquences ne sont appuyées que sur un calcul; car, comme je l'ai dit, on peut tout représenter avec un calcul, et on ne réalise rien; et si on se permet de mettre un ou plusieurs termes à la suite de l'expression d'une loi physique, comme l'est celle de l'attraction, on ne nous donne plus que de l'arbitraire au lieu de nous représenter la réalité.

Au reste, il me suffit d'avoir établi les raisons qui me font rejeter la supposition de M. Clairaut; celles que j'ai de croire que, bien loin qu'il ait pu donner atteinte à la loi de l'attraction et renverser l'astronomie physique, elle me paraît au contraire demeurer dans toute sa vigueur et avoir des forces pour aller encore bien loin, et cela sans que je prétende avoir dit, à beaucoup près, tout ce qu'on peut dire sur cette matière, à laquelle je désirerais qu'on donnât sans prévention toute l'attention qu'il faut pour la bien juger.

ADDITION

Je me suis borné à démontrer que la loi de l'attraction, par rapport à la distance, ne peut être exprimée que par un terme, et non pas deux ou plusieurs termes; que par conséquent l'expression que M. Clairaut a voulu substituer à la loi du carré des distances n'est qu'une supposition qui renferme une contradiction, c'est là le seul point auquel je me suis attaché; mais comme il paraît par sa réponse qu'il ne m'a pas assez entendu (a), je vais tâcher de rendre mes raisons plus intelligibles en les traduisant en calcul: ce sera la seule réplique que je ferai à sa réponse.

LA LOI DE L'ATTRACTION, PAR RAPPORT A LA DISTANCE,
NE PEUT PAS ÊTRE EXPRIMÉE PAR DEUX TERMES.

Première démonstration.

Supposons que $\frac{1}{x^2} + \frac{1}{x^4}$ représente l'effet de cette force par rapport à la distance x , ou ce qui revient au même, supposons que $\frac{1}{x^2} + \frac{1}{x^4}$, qui représente la force accélératrice, soit égale à une quantité donnée A pour une certaine distance; en résolvant cette équation, la racine x sera ou imaginaire, ou bien elle aura deux valeurs différentes: donc, à différentes distances, l'attraction serait la même, ce qui est absurde: donc la loi de l'attraction, par rapport à la distance, ne peut pas être exprimée par deux termes. *Ce qu'il fallait démontrer.*

Deuxième démonstration.

La même expression $\frac{1}{x^2} + \frac{1}{x^4}$, si x devient très grand pourra se réduire à $\frac{1}{x^2}$; et si x devient très petit, elle se réduira à $\frac{1}{x^4}$, de sorte que si $\frac{1}{x^2} + \frac{1}{x^4} = \frac{1}{x^n}$, l'exposant n doit être un nombre compris entre 2 et 4; cependant ce même exposant n doit nécessairement renfermer x puisque la quantité d'attraction doit, de façon ou d'autre, être mesurée par la distance; cette expression prendra donc alors une forme comme $\frac{1}{x^2} + \frac{1}{x^4} = \frac{1}{xx}$, ou $= \frac{1}{x+r}$; donc, une quantité qui doit être nécessairement un nombre compris entre 2 et 4 pourrait cependant devenir infinie, ce qui est absurde: donc, l'attraction ne peut pas être exprimée par deux termes. *Ce qu'il fallait démontrer.*

On voit que les démonstrations seraient les mêmes contre toutes les expressions possibles qui seraient composées de plusieurs termes: donc, la loi d'attraction ne peut être exprimée que par un seul terme.

SECONDE ADDITION

Je ne voulais rien ajouter à ce que j'ai dit au sujet de la loi d'attraction, ni faire aucune réponse au nouvel écrit de M. Clairaut (b); mais comme je crois qu'il est utile pour les sciences d'établir d'une manière certaine la proposition que j'ai avancée, savoir que la loi

(a) Voyez les *Mémoires de l'Académie des sciences*, année 1745, p. 493, 529, 531, 577 et 580.

(b) Voyez les *Mémoires de l'Académie des sciences*, année 1745, p. 577 et 578.

de l'attraction, et même toute autre loi physique, ne peut jamais être exprimée que par un seul terme, et qu'une nouvelle vérité de cette espèce peut prévenir un grand nombre d'erreurs et de fausses applications dans les sciences physico-mathématiques, j'ai cherché plusieurs moyens de la démontrer.

On a vu dans mon Mémoire les raisons métaphysiques par lesquelles j'établis que la mesure d'une qualité physique et générale dans la nature est toujours simple; que la loi qui représente cette mesure ne peut donc jamais être composée; qu'elle n'est réellement que l'expression de l'effet simple d'une qualité simple; que l'on ne peut donc exprimer cette loi par deux termes, parce qu'une qualité qui est une ne peut jamais avoir deux mesures. Ensuite, dans l'*Addition à ce Mémoire*, j'ai prouvé démonstrativement cette même vérité par la réduction à l'absurde et par le calcul; ma démonstration est vraie, car il est certain en général que si l'on exprime la loi de l'attraction par une fonction de la distance, et que cette fonction soit composée de deux ou plusieurs termes, comme $\frac{1}{xm} + \frac{1}{xn} + \frac{1}{xr}$, etc., et que l'on égale cette fonction à une quantité constante A pour une certaine distance, il est certain, dis-je, qu'en résolvant cette équation la racine x aura des valeurs imaginaires dans tous les cas, et aussi des valeurs réelles différentes dans presque tous les cas, et que ce n'est que dans quelques cas, comme dans celui de $\frac{1}{x^2} + \frac{1}{x^4} = A$, où il y aura deux racines réelles égales, dont l'une sera positive et l'autre négative; cette exception particulière ne détruit donc pas la vérité de ma démonstration, qui est pour une fonction quelconque : car si en général l'expression de la loi d'attraction est $\frac{1}{xx} + mx^n$, l'exposant n ne peut pas être négatif et plus grand que 2, puisque alors la pesanteur deviendrait infinie dans le point de contact; l'exposant n est donc nécessairement positif, et le coefficient m doit être négatif pour faire avancer l'apogée de la lune : par conséquent, le cas particulier $\frac{1}{xx} + \frac{1}{x^4}$ ne peut jamais représenter la loi de la pesanteur; et si on se permet une fois d'exprimer cette loi par une fonction de deux termes, pourquoi le second de ces termes serait-il nécessairement positif? Il y a, comme l'on voit, beaucoup de raisons pour que cela ne soit pas, et aucune raison pour que cela soit.

Dès le temps que M. Clairaut proposa pour la première fois de changer la loi de l'attraction et d'y ajouter un terme, j'avais senti l'absurdité qui résultait de cette supposition, et l'avais fait mes efforts pour la faire sentir aux autres; mais j'ai depuis trouvé une nouvelle manière de la démontrer qui ne laissera, à ce que j'espère, aucun doute sur ce sujet important. Voici mon raisonnement, que j'ai abrégé autant qu'il m'a été possible :

Si la loi de l'attraction, ou telle autre loi physique que l'on voudra, pouvait être exprimée par deux ou plusieurs termes, le premier terme étant, par exemple, $\frac{1}{xx}$, il serait nécessaire que le second terme eût un coefficient indéterminé, et qu'il fût, par exemple, $\frac{1}{mx^4}$; et de même, si cette loi était exprimée par trois termes, il y aurait deux coefficients indéterminés, l'un au second et l'autre au troisième terme, etc.; dès lors cette loi d'attraction qui serait exprimée par deux termes, $\frac{1}{xx} + \frac{1}{mx^4}$, renfermerait donc une quantité m , qui entrerait nécessairement dans la mesure de la force.

Or, je demande ce que c'est que ce coefficient m : il est clair qu'il ne dépend ni de la masse ni de la distance; que ni l'une ni l'autre ne peuvent jamais donner sa valeur : comment peut-on donc supposer qu'il y ait en effet une telle quantité physique? Existe-t-il dans la nature un coefficient comme un 4, un 5, un 6, etc., et n'y a-t-il pas de l'absurdité à supposer qu'un nombre puisse exister réellement ou qu'un coefficient puisse être une qualité essentielle à la matière? Il faudrait pour cela qu'il y eût dans la nature des phénomènes purement numériques et du même genre que ce coefficient m ; sans cela il est impossible d'en déterminer la valeur, puisqu'une quantité quelconque ne peut jamais être mesurée que par une autre quantité du même genre; il faut donc que M. Clairaut commence par nous prouver que les nombres sont des êtres réels actuellement existants dans la nature, ou que les coefficients sont des qualités physiques, s'il veut que nous

conventions avec lui que la loi d'attraction ou toute autre loi physique puisse être exprimée par deux ou plusieurs termes.

Si l'on veut une démonstration plus particulière, je crois qu'on en peut donner une qui sera à la portée de tout le monde, c'est que la loi de la raison inverse du carré de la distance convient également à une sphère et à toutes les particules de matière dont cette sphère est composée. Le globe de la terre exerce son attraction dans la raison inverse du carré de la distance, et toutes les particules de matière dont ce globe est composé exercent aussi leur attraction dans cette même raison, comme Newton l'a démontré; mais si l'on exprime cette loi de l'attraction d'une sphère par deux termes, la loi de l'attraction des particules qui composent cette sphère ne sera point la même que celle de la sphère : par conséquent cette loi, composée de deux termes, ne sera pas générale, ou plutôt ne sera jamais la loi de la nature.

Les raisons métaphysiques, mathématiques et physiques, s'accordent donc toutes à prouver que la loi de l'attraction ne peut être exprimée que par un seul terme, et jamais par deux ou plusieurs termes : c'est la proposition que j'ai avancée et que j'avais à démontrer.

PARTIE EXPÉRIMENTALE

Depuis vingt-cinq ans que j'ai jeté sur le papier mes idées sur la théorie de la terre et sur la nature des matières minérales dont le globe est principalement composé, j'ai eu la satisfaction de voir cette théorie confirmée par le témoignage unanime des navigateurs, et par de nouvelles observations que j'ai eu soin de recueillir; il m'est aussi venu dans ce long espace de temps quelques pensées neuves dont j'ai cherché à constater la valeur et la réalité par des expériences; de nouveaux faits acquis par ces expériences, des rapports plus ou moins éloignés, tirés de ces mêmes faits, des réflexions en conséquence, le tout lié à mon système général et dirigé par une vue constante vers les grands objets de la nature, voilà ce que je crois devoir présenter aujourd'hui à mes lecteurs, surtout à ceux qui, m'ayant honoré de leur suffrage, aiment assez l'histoire naturelle pour chercher avec moi les moyens de l'étendre et de l'approfondir.

Je commencerai par la partie expérimentale de mon travail, parce que c'est sur les résultats de mes expériences que j'ai fondé tous mes raisonnements, et que les idées mêmes les plus conjecturales et qui pourraient paraître trop hasardées, ne laissent pas d'y tenir par des rapports qui seront plus ou moins sensibles à des yeux plus ou moins attentifs, plus ou moins exercés, mais qui n'échapperont pas à l'esprit de ceux qui savent évaluer la force des inductions et apprécier la valeur des analogies.

Et comme il s'est écoulé bien des années depuis que j'ai commencé de publier mon ouvrage sur l'histoire naturelle, et que le nombre des volumes s'est beaucoup augmenté, j'ai cru que, pour ne pas rendre mon livre trop à charge au public, je devais m'interdire la liberté d'en donner une nouvelle édition corrigée et augmentée : aussi dans le grand nombre de réimpressions qui se sont faites de cet ouvrage il n'y a pas eu un seul mot de changé. Pour ne pas rendre aujourd'hui toutes ces éditions superflues, j'ai pris le parti de mettre en deux ou trois volumes de supplément les corrections, additions, développements et explications que j'ai jugées nécessaires à l'intelligence des sujets que j'ai traités. Ces suppléments contiendront beaucoup de choses nouvelles et d'autres plus anciennes dont quelques-unes ont été imprimées soit dans les Mémoires de l'Académie des sciences, soit ailleurs; je les ai divisés par parties relatives aux différents objets de l'histoire de la nature, et j'en ai formé plusieurs Mémoires qui peuvent être lus indépendamment les uns des autres, mais que j'ai seulement rapprochés selon l'ordre des matières.

PREMIER MÉMOIRE

EXPÉRIENCES SUR LE PROGRÈS DE LA CHALEUR DANS LES CORPS.

J'ai fait dix boulets de fer forgé et battu :

	Pouces.
Le premier d'un demi-pouce de diamètre.....	$\frac{1}{16}$
Le second d'un pouce.....	1
Le troisième d'un pouce et demi.....	$1\frac{1}{16}$
Le quatrième de deux pouces.....	2
Le cinquième de deux pouces et demi.....	$2\frac{1}{16}$
Le sixième de trois pouces.....	3
Le septième de trois pouces et demi.....	$3\frac{1}{16}$
Le huitième de quatre pouces.....	4
Le neuvième de quatre pouces et demi.....	$4\frac{1}{16}$
Le dixième de cinq pouces.....	5

Ce fer venait de la forge de Chameçon, près Châtillon-sur-Seine, et comme tous les boulets ont été faits du fer de cette même forge, leurs poids se sont trouvés à très peu près proportionnels aux volumes.

- Le boulet d'un demi-pouce pesait 190 grains, ou 2 gros 46 grains.
 Le boulet d'un pouce pesait 1,522 grains, ou 2 onces 5 gros 10 grains.
 Le boulet d'un pouce et demi pesait 5,136 grains, ou 8 onces 7 gros 24 grains.
 Le boulet de deux pouces pesait 12,173 grains, ou 1 livre 5 onces 1 gros 5 grains.
 Le boulet de deux pouces et demi pesait 23,781 grains, ou 2 livres 9 onces 2 gros 21 grains.
 Le boulet de trois pouces pesait 41,085 grains, ou 4 livres 7 onces 2 gros 45 grains.
 Le boulet de trois pouces et demi pesait 65,254 grains, ou 7 livres 1 once 2 gros 22 grains.
 Le boulet de quatre pouces pesait 97,388 grains, ou 10 livres 9 onces 44 grains.
 Le boulet de quatre pouces et demi pesait 138,179 grains, ou 14 livres 15 onces 7 gros 11 grains.
 Le boulet de cinq pouces pesait 190,211 grains, ou 20 livres 10 onces 1 gros 59 grains.

Tous ces poids ont été pris juste avec de très bonnes balances, en faisant limer peu à peu ceux des boulets qui se sont trouvés un peu trop forts.

Avant de rapporter les expériences, j'observerai :

1° Que pendant tout le temps qu'on les a faites le thermomètre exposé à l'air libre était à la congélation ou à quelques degrés au-dessous (a), mais qu'on a laissé refroidir les boulets dans une cave où le thermomètre était à peu près à dix degrés au-dessus de la congélation, c'est-à-dire au degré de la température des caves de l'Observatoire, et c'est ce degré que je prends ici pour celui de la température actuelle de la terre.

2° J'ai cherché à saisir deux instants dans le refroidissement : le premier où les boulets cessaient de brûler, c'est-à-dire le moment où on pouvait les toucher et les tenir avec la main, pendant une seconde, sans se brûler; le second temps de ce refroidissement était celui où les boulets se sont trouvés refroidis jusqu'au point de la température actuelle. c'est-à-dire à dix degrés au-dessus de la congélation. Et, pour connaître le moment de ce refroidissement jusqu'à la température actuelle, on s'est servi d'autres boulets de comparaison de même matière et de mêmes diamètres qui n'avaient pas été chauffés, et que

(a) Division de Réaumur.

l'on touchait en même temps que ceux qui avaient été chauffés. Par cet attouchement immédiat et simultané de la main ou des deux mains sur les deux boulets, on pouvait juger assez bien du moment où ces boulets étaient également froids; cette manière simple est non seulement plus aisée que le thermomètre qu'il eût été difficile d'appliquer ici, mais elle est encore plus précise, parce qu'il ne s'agit que de juger de l'égalité et non pas de la proportion de la chaleur, et que nos sens sont meilleurs juges que les instruments de tout ce qui est absolument égal ou parfaitement semblable. Au reste, il est plus aisé de reconnaître l'instant où les boulets cessent de brûler que celui où ils se sont refroidis à la température actuelle, parce qu'une sensation vive est toujours plus précise qu'une sensation tempérée, attendu que la première nous affecte d'une manière plus forte.

3^o Comme le plus ou le moins de poli ou de brut sur le même corps fait beaucoup à la sensation du toucher, et qu'un corps poli semble être plus froid s'il est froid, et plus chaud s'il est chaud, qu'un corps brut de même matière, quoiqu'ils le soient tous deux également, j'ai eu soin que les boulets froids fussent bruts et semblables à ceux qui avaient été chauffés, dont la surface était semée de petites éminences produites par l'action du feu.

EXPÉRIENCES.

- I. — Le boulet d'un demi-pouce a été chauffé à blanc en 2 minutes.
Il s'est refroidi au point de le tenir dans la main en 12 minutes.
Refroidi au point de la température actuelle en 39 minutes.
- II. — Le boulet d'un pouce a été chauffé à blanc en 5 minutes $\frac{1}{2}$.
Il s'est refroidi au point de le tenir dans la main en 35 minutes $\frac{1}{2}$.
Refroidi au point de la température actuelle en 1 heure 33 minutes.
- III. — Le boulet d'un pouce et demi a été chauffé à blanc en 9 minutes.
Il s'est refroidi au point de le tenir dans la main en 58 minutes.
Refroidi au point de la température actuelle en 2 heures 25 minutes.
- IV. — Le boulet de 2 pouces a été chauffé à blanc en 13 minutes.
Il s'est refroidi au point de le tenir dans la main en 1 heure 20 minutes.
Refroidi au point de la température actuelle en 3 heures 16 minutes.
- V. — Le boulet de 2 pouces et demi a été chauffé à blanc en 16 minutes.
Il s'est refroidi au point de le tenir dans la main en 1 heure 42 minutes.
Refroidi au point de la température actuelle en 4 heures 30 minutes.
- VI. — Le boulet de 3 pouces a été chauffé à blanc en 19 minutes $\frac{1}{2}$.
Il s'est refroidi au point de le tenir dans la main en 2 heures 7 minutes.
Refroidi au point de la température actuelle en 5 heures 8 minutes.
- VII. — Le boulet de 3 pouces et demi a été chauffé à blanc en 23 minutes $\frac{1}{2}$.
Il s'est refroidi au point de le tenir dans la main en 2 heures 36 minutes.
Refroidi au point de la température actuelle en 5 heures 56 minutes.
- VIII. — Le boulet de 4 pouces a été chauffé à blanc en 27 minutes $\frac{1}{2}$.
Il s'est refroidi au point de le tenir dans la main en 3 heures 2 minutes.
Refroidi au point de la température actuelle en 6 heures 55 minutes.
- IX. — Le boulet de 4 pouces et demi a été chauffé à blanc en 31 minutes.
Il s'est refroidi au point de le tenir dans la main en 3 heures 25 minutes.
Refroidi au point de la température actuelle en 7 heures 46 minutes.
- X. — Le boulet de 5 pouces a été chauffé à blanc en 34 minutes.
Il s'est refroidi au point de le tenir dans la main en 3 heures 52 minutes.
Refroidi au point de la température actuelle en 8 heures 42 minutes.

La différence la plus constante que l'on puisse prendre entre chacun des termes qui expriment le temps du refroidissement, depuis l'instant où l'on tire les boulets du feu jusqu'à celui où on peut les toucher sans se brûler, se trouve être de vingt-quatre minutes : car, en supposant chaque terme augmenté de vingt-quatre, on aura :

12', 36', 60', 84', 108', 132', 156', 180', 204', 228',

et la suite des temps réels de ces refroidissements trouvés par les expériences précédentes est :

12', 35', $\frac{1}{2}$, 58', 80', 102', 127', 156', 182', 205', 232',

ce qui approche de la première autant que l'expérience peut approcher du calcul.

De même la différence la plus constante que l'on puisse prendre entre chacun des termes du refroidissement jusqu'à la température actuelle, se trouve être de cinquante-quatre minutes : car, en supposant chaque terme augmenté de cinquante-quatre, on aura :

39', 93', 147', 201', 255', 309', 363', 417', 471', 525',

et la suite des temps réels de ce refroidissement, trouvés par les expériences précédentes, est :

39', 93', 145', 196', 248', 308', 356', 415', 466', 522',

ce qui approche aussi beaucoup de la première suite supposée.

J'ai fait une seconde et un troisième fois les mêmes expériences sur les mêmes boulets; mais j'ai vu que je ne pouvais compter que sur les premières, parce que je me suis aperçu qu'à chaque fois qu'on chauffait les boulets, ils perdaient considérablement de leur poids; car

Le boulet d'un demi-pouce après avoir été chauffé trois fois avait perdu environ la dix-huitième partie de son poids.

Le boulet d'un pouce après avoir été chauffé trois fois avait perdu environ la seizième partie de son poids.

Le boulet d'un pouce et demi après avoir été chauffé trois fois avait perdu la quinzième partie de son poids.

Le boulet de deux pouces après avoir été chauffé trois fois avait perdu à peu près la quatorzième partie de son poids.

Le boulet de deux pouces et demi après avoir été chauffé trois fois avait perdu à peu près la treizième partie de son poids.

Le boulet de trois pouces après avoir été chauffé trois fois avait perdu à peu près la treizième partie de son poids.

Le boulet de trois pouces et demi après avoir été chauffé trois fois avait perdu encore un peu plus de la treizième partie de son poids.

Le boulet de quatre pouces après avoir été chauffé trois fois avait perdu la douzième partie et demie de son poids.

Le boulet de quatre pouces et demi après avoir été chauffé trois fois avait perdu un peu plus de la douzième partie et demie de son poids.

Le boulet de cinq pouces après avoir été chauffé trois fois avait perdu à très peu près la douzième partie de son poids, car il pesait, avant d'avoir été chauffé, vingt livres dix onces un gros cinquante-neuf grains (a).

(a) Je n'ai pas eu occasion de faire les mêmes expériences sur des boulets de fonte de fer; mais M. de Montbeillard, lieutenant-colonel du régiment Royal-Artillerie, m'a communiqué la note suivante qui y supplée parfaitement. On a pesé plusieurs boulets avant de les chauffer, qui se sont trouvés du poids de vingt-sept livres et plus. Après l'opération, ils ont été réduits à vingt-quatre livres et un quart et vingt-quatre livres et demie. On a vérifié, sur une grande quantité de boulets, que plus on les a chauffés et plus ils ont augmenté de vo-

On voit que cette perte sur chacun des boulets est extrêmement considérable, et qu'elle paraît aller en augmentant à mesure que les boulets sont plus gros, ce qui vient, à ce que je présume, de ce que l'on est obligé d'appliquer le feu violent d'autant plus longtemps que les corps sont plus grands; mais en tout cette perte de poids, non seulement est occasionnée par le détachement des parties de la surface qui se réduisent en scories, et qui tombent dans le feu, mais encore par une espèce de desséchement ou de calcination intérieure qui diminue la pesanteur des parties constituantes du fer; en sorte qu'il paraît que le feu violent rend le fer spécifiquement plus léger à chaque fois qu'on le chauffe. Au reste, j'ai trouvé par des expériences ultérieures que cette diminution de pesanteur varie beaucoup selon la différente qualité du fer.

Ayant donc fait faire six nouveaux boulets depuis un demi-pouce jusqu'à trois pouces de diamètre, et du même poids que les premiers, j'ai trouvé les mêmes progressions tant pour l'entrée que pour la sortie de la chaleur, et je me suis assuré que le fer s'échauffe et se refroidit en effet comme je viens de l'exposer.

Un passage de Newton (a) a donné naissance à ces expériences.

« Globus ferri candentis, digitum unum latus, calorem suum omnem spatio horæ unius » in aere consistens vix amitteret. Globus autem major calorem diutius conservaret in ratione diametri, propterea quod superficies (ad cujus mensuram per contactum aeris ambientis refrigeratur) in illâ ratione minor est pro quantitate materiæ suæ calidæ inclusæ. » Ideoque globus ferri candentis huic terræ æqualis, id est, pedes plus minus 40000000 » latus, diebus totidem et idcirco annis 50000, vix refrigeraret. Suspicio tamen quod duratio » ratio caloris ob causas latentes augeatur in minori ratione quam eâ diametri; et optarim » rationem veram per experimenta investigari. »

Newton désirait donc qu'on fit les expériences que je viens d'exposer, et je me suis déterminé à les tenter non seulement parce que j'en avais besoin pour des vues semblables aux siennes, mais encore parce j'ai cru m'apercevoir que ce grand homme pouvait s'être trompé en disant que la durée de la chaleur devait n'augmenter, par l'effet des causes cachées, qu'en *moindre* raison que celle du diamètre; il m'a paru au contraire en y réfléchissant que ces causes cachées ne pouvaient que rendre cette raison plus grande au lieu de la faire plus petite.

Il est certain, comme le dit Newton, qu'un globe plus grand conserverait sa chaleur plus longtemps qu'un plus petit en raison du diamètre, si on supposait ces globes composés d'une matière parfaitement perméable à la chaleur, en sorte que la sortie de la chaleur fût absolument libre, et que les particules ignées ne trouvassent aucun obstacle qui pût les arrêter ni changer le cours de leur direction: ce n'est que dans cette supposition mathématique que la durée de la chaleur serait en effet en raison du diamètre; mais les causes cachées dont parle Newton, et dont les principales sont les obstacles qui résultent de la perméabilité non absolue, imparfaite et inégale de toute matière solide, au lieu de diminuer le temps de la durée de la chaleur, doivent au contraire l'augmenter; cela m'a paru si clair, même avant d'avoir tenté mes expériences, que je serais porté à croire que Newton, qui voyait clair aussi jusque dans les choses même qu'il ne faisait que soupçonner, n'est pas tombé dans cette erreur, et que le mot *minori ratione* au lieu de *majori*, n'est qu'une faute de sa main ou de celle d'un copiste qui s'est glissée dans toutes les éditions de son ouvrage, du moins dans toutes celles que j'ai pu consulter: ma conjecture est d'autant mieux fondée que Newton paraît dire ailleurs précisément le contraire de ce qu'il dit ici;

lume et diminué de poids; enfin sur quarante mille boulets chauffés et râpés pour les réduire au calibre des canons, on a perdu dix mille, c'est-à-dire, un quart, en sorte qu'à tous égards cette pratique est mauvaise.

(a) *Princip. mathém.* Londres, 1726, p. 509.

c'est dans la onzième question de son Traité d'optique (a) : « Les corps d'un volume, dit-il, ne conservent-ils pas plus longtemps (Nota. *Ce mot PLUS LONGTEMPS ne peut signifier ici qu'en raison plus grande que celle du diamètre*) leur chaleur parce que leurs parties s'échauffent réciproquement ? et un corps vaste, dense et fixe, étant une fois échauffé au delà d'un certain degré, ne peut-il pas jeter de la lumière en telle abondance que par l'émission et la réaction de sa lumière, par les réflexions et les réfractions de ses rayons au-dedans de ses pores, il devienne toujours plus chaud jusqu'à ce qu'il parvienne à un certain degré de chaleur qui égale la chaleur du soleil ? et le soleil et les étoiles fixes ne sont-ce pas de vastes terres violemment échauffées dont la chaleur se conserve par la grosseur de ces corps, et par l'action et la réaction réciproques entre eux et la lumière qu'ils jettent, leurs parties étant d'ailleurs empêchées de s'évaporer en fumée, non seulement par leur fixité, mais encore par le vaste poids et la grande densité des atmosphères qui, pesant de tous côtés, les compriment très fortement et condensent les vapeurs et les exhalaisons qui s'élèvent de ces corps-là ? »

Par ce passage on voit que Newton non seulement est ici de mon avis sur la durée de la chaleur, qu'il suppose en raison plus grande que celle du diamètre, mais encore qu'il renchérit beaucoup sur cette augmentation en disant qu'un grand corps, par cela même qu'il est grand, peut augmenter sa chaleur.

Quoi qu'il en soit, l'expérience a pleinement confirmé ma pensée. La durée de la chaleur, ou, si l'on veut, le temps employé au refroidissement du fer n'est point en plus *petite*, mais en plus *grande* raison que celle du diamètre; il n'y a pour s'en assurer qu'à comparer les progressions suivantes :

Diamètres :

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 demi-pouces.

Temps du premier refroidissement, supposés en raison du diamètre :

12', 24', 36', 48', 60', 72', 84', 96', 108', 120', minutes.

Temps réels de ce refroidissement, trouvés par l'expérience :

12', 35' $\frac{1}{2}$, 58' 80", 102', 127', 156', 182', 205', 232'.

Temps du second refroidissement, supposés en raison du diamètre :

39', 78', 117', 156', 195', 234', 273', 312', 351', 390'.

Temps réels de ce second refroidissement, trouvés par l'expérience :

39', 93', 145', 196', 248', 308', 356', 415', 466', 522'.

On voit, en comparant ces progressions terme à terme, que dans tous les cas la durée de la chaleur non seulement n'est pas en raison plus petite que celle du diamètre (comme il est écrit dans Newton), mais qu'au contraire cette durée est en raison considérablement plus grande.

Le docteur Martine, qui a fait un bon ouvrage sur les thermomètres, rapporte ce passage de Newton, et il dit qu'il avait commencé de faire quelques expériences qu'il se proposait de pousser plus loin; qu'il croit que l'opinion de Newton est conforme à la vérité, et que les corps semblables conservent en effet la chaleur dans la proportion de leurs diamètres; mais que quant au doute que Newton forme, si dans les grands corps cette proportion n'est pas *moindre* que celle des diamètres, il ne le croit pas suffisamment fondé. Le docteur Martine avait raison à cet égard, mais en même temps il avait tort de croire, d'après Newton, que tous les corps semblables, solides ou fluides, conservent leur

(a) Traduction de Coste.

chaleur en raison de leurs diamètres; il rapporte à la vérité des expériences faites avec de l'eau dans des vases de porcelaine, par lesquelles il trouve que les temps du refroidissement de l'eau sont presque proportionnels aux diamètres des vases qui la contiennent; mais nous venons de voir que c'est par cette raison même que dans les corps solides la chose se passe différemment, car l'eau doit être regardée comme une matière presque entièrement perméable à la chaleur, puisque c'est un fluide homogène et qu'aucunes de ses parties ne peuvent faire obstacle à la circulation de la chaleur: ainsi, quoique les expériences du docteur Martine donnent à peu près la raison du diamètre pour le refroidissement de l'eau, on ne doit en rien conclure pour le refroidissement des corps solides.

Maintenant, si l'on voulait chercher, avec Newton, combien il faudrait de temps à un globe gros comme la terre pour se refroidir, on trouverait, d'après les expériences précédentes, qu'au lieu de cinquante mille ans qu'il assigne pour le temps du refroidissement de la terre jusqu'à la température actuelle, il faudrait déjà quarante-deux mille neuf cent soixante-quatre ans et deux cent vingt-un jours pour la refroidir seulement jusqu'au point où elle cesserait de brûler, et quatre-vingt-seize mille six cent soixante-dix ans, et cent trente-deux jours pour la refroidir à la température actuelle.

Car la suite des diamètres des globes étant

1, 2, 3, 4, 5..... N demi-pouces, celles des temps du refroidissement jusqu'à pouvoir toucher les globes sans se brûler sera :

12, 36, 60, 84, 108..... $24 N - 12$ minutes; et le diamètre de la terre étant de 2,865 lieues de 25 au degré, ou de 6,537,930 toises de 6 pieds.

En faisant la lieue de.	2,282 toises.
ou de.	39,227,580 pieds,
ou de.	941,461,920 demi-pouces.
nous avons $N =$	941,461,920 demi-pouces.

Et $24 N - 12 = 22,595,086,068$ minutes, c'est-à-dire quarante-deux mille neuf cent soixante-quatre ans et deux cent vingt-un jours pour le temps nécessaire au refroidissement d'un globe gros comme la terre, seulement jusqu'au point de pouvoir le toucher sans se brûler.

Et de même, la suite des temps du refroidissement jusqu'à la température actuelle sera :

39' 93' 147' 201', 255'..... $54 N - 15$.

Et comme N est toujours = 941,461,920 demi-pouces, nous aurons $54 N - 15 = 50,838,943,662$ minutes, c'est-à-dire quatre-vingt-seize mille six cent soixante-dix ans et cent trente-deux jours pour le temps nécessaire au refroidissement d'un globe gros comme la terre au point de la température actuelle.

Seulement, on pourrait croire que celui du refroidissement de la terre devrait encore être considérablement augmenté, parce que l'on imagine que le refroidissement ne s'opère que par le contact de l'air, et qu'il y a une grande différence entre le temps du refroidissement dans l'air et le temps du refroidissement dans le vide; et comme l'on doit supposer que la terre et l'air se seraient en même temps refroidis dans le vide, on dira qu'il faut faire état de ce surplus de temps; mais il est aisé de faire voir que cette différence est très peu considérable; car, quoique la densité du milieu dans lequel un corps se refroidit fasse quelque chose sur la durée du refroidissement, cet effet est bien moindre qu'on ne pourrait l'imaginer, puisque dans le mercure, qui est onze mille fois plus dense que l'air, il ne faut, pour refroidir les corps qu'on y plonge, qu'environ neuf fois autant de temps qu'il en faut pour produire le même refroidissement dans l'air.

La principale cause du refroidissement n'est donc pas le contact du milieu ambiant, mais la force expansive qui anime les parties de la chaleur et du feu, qui les chasse hors des corps où elles résident, et les pousse directement du centre à la circonférence.

En comparant, dans les expériences précédentes, les temps employés à chauffer les globes de fer avec les temps nécessaires pour les refroidir, on verra qu'il faut environ la sixième partie et demie du temps pour les chauffer à blanc de ce qu'il en faut pour les refroidir au point de pouvoir les tenir à la main, et environ la quinzième partie et demie du temps qu'il faut pour les refroidir au point de la température actuelle (a) : en sorte qu'il y a encore une très grande correction à faire dans le texte de Newton sur l'estime qu'il fait de la chaleur que le soleil a communiquée à la comète de 1680 ; car cette comète n'ayant été exposée à la violente chaleur du soleil que pendant un petit temps, elle n'a pu la recevoir qu'en proportion de ce temps, et non pas en entier, comme Newton paraît le supposer dans le passage que je vais rapporter :

« Es calor solis ut radiatorum densitas, hoc est reciprocè ut quadratum distantiae locorum a sole. Ideòque cùm distantia cometæ à centro solis decemb. 8, ubi in perihelio versabatur, esset ad distantiam terræ à centro solis ut 6 ad 1,000 circiter, calor solis apud cometam eo tempore erat ad calorem solis æstivi apud nos ut 1,000,000 ad 36, seu 28,000 ad 1. Sed calor aquæ ebullientis est quasi triplò major quàm calor quem terra arida concipit ad æstivum solem ut expertus sum, etc. Calor ferri candentis (si rectè conjector) quasi triplò vel quadruplò major quàm calor aquæ ebullientis ; ideòque calor quem terra arida apud cometam in perihelio versantem ex radiis solaribus concipere posset, quasi 2,000 vicibus major quàm calor ferri candentis. Tanto autem calore vapores et exhalationes, omnisque materia volatilis statim consumi ac dissipari debuissent. » Cometa igitur in perihelio suo calorem immensum ad solem concepit, et calorem illum diutissimè conservare potest. »

Je remarquerai d'abord que Newton fait ici la chaleur du fer rougi beaucoup moindre qu'elle n'est en effet, et qu'il le dit lui-même dans un Mémoire qui a pour titre *Échelle de la chaleur*, et qu'il a publié dans les *Transactions philosophiques* de 1701, c'est-à-dire plusieurs années après la publication de son *Livre des Principes*. On voit dans ce Mémoire, qui est excellent et qui renferme le germe de toutes les idées sur lesquelles on a depuis construit les thermomètres, on y voit, dis-je, que Newton, après des expériences très exactes, fait la chaleur de l'eau bouillante trois fois plus grande que celle du soleil d'été, celle de l'étain fondant six fois plus grande, celle du plomb fondant huit fois plus grande, celle du régule fondant douze fois plus grande, et celle d'un feu de cheminée ordinaire, seize ou dix-sept fois plus grande que celle du soleil d'été ; et de là on ne peut s'empêcher de conclure que la chaleur du fer rougi à blanc ne soit encore bien plus grande, puisqu'il faut un feu constamment animé par le soufflet pour chauffer le fer à ce point. Newton paraît lui-même le sentir et donner à entendre que cette chaleur du fer rougi paraît être sept ou huit fois plus grande que celle de l'eau bouillante ; ainsi il faut, suivant Newton lui-même, changer trois mots au passage précédent et lire : « Calor ferri candentis est quasi triplò (septuplò) vel quadruplò (octuplò) major quàm calor aquæ ebullientis ; ideòque calor apud cometam in perihelio versantem quasi 2,000 (1,000) vicibus major quàm calor ferri candentis. » Cela diminue de moitié la chaleur de cette comète, comparée à celle du fer rougi à blanc.

Mais cette diminution, qui n'est que relative, n'est rien en elle-même ni rien en comparaison de la diminution réelle et très grande qui résulte de notre première considération : il faudrait, pour que la comète eût reçu cette chaleur mille fois plus grande que celle

(a) Le boulet d'un pouce et celui d'un demi-pouce surtout ont été chauffés en bien moins de temps, et ne suivent point cette proportion de quinze et demi à un, et c'est par la raison qu'étant très petits et placés dans un grand feu, la chaleur les pénétrait, pour ainsi dire, tout à coup ; mais à commencer par les boulets d'un pouce et demi de diamètre, la proportion que j'établis ici se trouve assez exacte pour qu'on puisse y compter.

du fer rougi, qu'elle eût séjourné pendant un temps très long dans le voisinage du soleil, au lieu qu'elle n'a fait que passer très rapidement, surtout à la plus petite distance, sur laquelle seule, néanmoins, Newton établit son calcul de comparaison. Elle était, le 6 décembre 1680, à $\frac{6}{1000}$ de la distance de la terre au centre du soleil; mais la veille ou le lendemain, c'est-à-dire vingt-quatre heures avant et vingt-quatre après, elle était déjà à une distance six fois plus grande, et où la chaleur était par conséquent trente-six fois moindre.

Si l'on voulait donc connaître la quantité de cette chaleur communiquée à la comète par le soleil, voici comment on pourrait faire cette estimation assez juste et en faire en même temps la comparaison avec celle du fer ardent, au moyen de mes expériences.

Nous supposerons comme un fait que cette comète a employé six cent soixante-six heures à descendre du point où elle était encore éloignée du soleil d'une distance égale à celle de la terre à cet astre, auquel point la comète recevait par conséquent une chaleur égale à celle que le terre reçoit du soleil, et que je prends ici pour l'unité; nous supposons de même que la comète a employé six cent soixante-six autres heures à remonter du point le plus bas de son périhélie à cette même distance; et supposant aussi son mouvement uniforme, on verra que la comète, étant au point le plus bas de son périhélie, c'est-à-dire à $\frac{6}{1000}$ de distance de la terre au soleil, la chaleur qu'elle a reçue dans ce moment était vingt-sept mille sept cent soixante-seize fois plus grande que celle que reçoit la terre; en donnant à ce moment une durée de 80 minutes, savoir : 40 minutes en descendant et 40 minutes en montant, on aura :

A 6 de distance, 27,776 de chaleur pendant 80 minutes.

A 7 de distance, 20,408 de chaleur aussi pendant 80 minutes.

A 8 de distance, 15,625 de chaleur toujours pendant 80 minutes, et ainsi de suite jusqu'à la distance 1,000, où la chaleur est 1. En sommant toutes les chaleurs à chaque distance, on trouvera 363,440 pour le total de la chaleur que la comète a reçu du soleil, tant en descendant qu'en remontant, qu'il faut multiplier par le temps, c'est-à-dire par $\frac{3}{4}$ d'heure; on aura donc 484,547, qu'on divisera par 2,000, qui représente la chaleur totale que la terre a reçue dans ce même temps de 1,332 heures, puisque la distance est toujours 1,000, et la chaleur toujours = 1; ainsi l'on aura $242 \frac{547}{2000}$ pour la chaleur que la comète a reçue de plus que la terre pendant tout le temps de son périhélie, au lieu de 28,000, comme Newton le suppose, parce qu'il ne prend que le point extrême, et ne fait nulle attention à la très petite durée du temps.

Et encore faudrait-il diminuer cette chaleur $242 \frac{547}{2000}$, parce que la comète parcourait par son accélération d'autant plus de chemin dans le même temps, qu'elle était plus près du soleil.

Mais, en négligeant cette diminution et en admettant que la comète a en effet reçu une chaleur à peu près deux cent quarante-deux fois plus grande que celle de notre soleil d'été, et par conséquent $17 \frac{2}{7}$ fois plus grande que celle du fer ardent, suivant l'estime de Newton, ou seulement dix fois plus grande suivant la correction qu'il faut faire à cette estime; on doit supposer que pour donner une chaleur dix fois plus grande que celle du fer rougi, il faudrait dix fois plus de temps, c'est-à-dire 13,320 heures au lieu de 1,332. Par conséquent, on peut comparer à la comète un globe de fer qu'on aurait chauffé à un feu de forge pendant 13,320 heures pour pouvoir le rougir à blanc.

Or, on voit, par mes expériences, que la suite des temps nécessaires pour chauffer des globes dont les diamètres croissent, comme :

1, 2, 3, 4, 5..... n demi-pouces,

est à très peu près

$2' 5 \frac{1}{2}, 9', 12' \frac{1}{2}, 16' \dots \dots \frac{7n-3}{2}$ minutes.

On aura donc $\frac{7n-3}{2} = 769,200$ minutes.

D'où l'on tirera $n = 228,342$ demi-pouces.

Ainsi avec le feu de forge on ne pourrait chauffer à blanc, en 799,200 minutes, ou 13,320 heures, qu'un globe dont le diamètre serait de 228,342 demi-pouces, et par conséquent il faudrait, pour que toute la masse de la comète soit échauffée au point du fer rougi à blanc pendant le peu de temps qu'elle a été exposée aux ardeurs du soleil, qu'elle n'eût eu que 228,342 demi-pouces de diamètre, et supposer encore qu'elle eût été frappée de tous côtés et en même temps par la lumière du soleil. D'où il résulte que si on la suppose plus grande, il faut nécessairement supposer plus de temps dans la même raison de n à $\frac{7n-3}{2}$; en sorte, par exemple, que si l'on veut supposer la comète égale à la terre, on aura $n = 944,461,920$ demi-pouces, et $\frac{7n-3}{2} = 3,295,116,718$ minutes, c'est-à-dire qu'au lieu de 13,320 heures, il en faudrait 54,918,612, ou si l'on veut, au lieu de 1 an 190 jours, il faudrait 6,269 ans pour chauffer à blanc un globe gros comme la terre; et par la même raison il faudrait que la comète, au lieu de n'avoir séjourné que 1,332 heures ou 55 jours 12 heures dans tout son périhélie, y eût demeuré pendant 392 ans. Ainsi les comètes, lorsqu'elles approchent du soleil, ne reçoivent pas une chaleur immense, ni très-longtemps durable, comme le dit Newton, et comme on serait porté à le croire à la première vue; leur séjour est si court dans le voisinage de cet astre, que leur masse n'a pas le temps de s'échauffer, et qu'il n'y a guère que la partie de la surface exposée au soleil qui soit brûlée par ces instants de chaleur extrême, laquelle, en calcinant et volatilissant la matière de cette surface, la chasse au dehors en vapeurs et en poussière du côté opposé au soleil; et ce qu'on appelle *la queue d'une comète* n'est autre chose que la lumière même du soleil rendue sensible, comme dans une chambre obscure, par ces atomes que la chaleur pousse d'autant plus loin qu'elle est plus violente.

Mais une autre considération bien différente de celle-ci et encore plus importante, c'est que, pour appliquer le résultat de nos expériences et notre calcul à la comète et à la terre, il faut les supposer composées de matières qui demanderaient autant de temps que le fer pour se refroidir; tandis que, dans le réel, les matières principales dont le globe terrestre est composé, telles que les glaises, les grès, les pierres, etc., doivent se refroidir en bien moins de temps que le fer.

Pour me satisfaire sur cet objet, j'ai fait faire des globes de glaise et de grès, et, les ayant fait chauffer à la même forge jusqu'à les faire rougir à blanc, j'ai trouvé que les boulets de glaise de deux pouces se sont refroidis au point de pouvoir les tenir dans la main en trente-huit minutes, ceux de deux pouces et demi en quarante-huit minutes, et ceux de trois pouces en soixante minutes; ce qui, étant comparé avec le temps du refroidissement des boulets de fer de ces mêmes diamètres de deux pouces, deux pouces et demi et trois pouces, donne les rapports de 38 à 80 pour deux pouces, 48 à 102 pour deux pouces et demi, et 60 à 127 pour trois pouces, ce qui fait un peu moins de 1 à 2; en sorte que, pour le refroidissement de la glaise, il ne faut pas la moitié du temps qu'il faut pour celui du fer.

J'observerai, au sujet de ces expériences, que les globes de glaise chauffés à feu blanc ont perdu de leur pesanteur encore plus que les boulets de fer et jusqu'à la neuvième ou dixième partie de leur poids; au lieu que le grès chauffé au même feu ne perd presque rien du tout de son poids, quoique toute la surface se couvre d'émail et se réduise en verre. Comme ce petit fait m'a paru singulier, j'ai répété l'expérience plusieurs fois, en faisant même pousser le feu et le continuer plus longtemps que pour le fer; et quoiqu'il ne fallût guère que le tiers du temps pour rougir le fer, je l'ai tenu à ce feu le double et le triple du temps, pour voir s'il perdrait davantage, et je n'ai trouvé que de très légères diminutions; car le globe de deux pouces, chauffé pendant huit minutes, qui pesait sept onces deux gros trente grains avant d'être mis au feu, n'a perdu que quarante et un grains, ce qui ne fait pas la centième partie de son poids; celui de deux pouces et demi, qui pesait quatorze onces deux gros huit grains, ayant été chauffé pendant douze minutes, n'a perdu que la

cent-cinquante-quatrième partie de son poids ; et trois pouces, qui pesait vingt-quatre onces cinq gros treize grains, ayant été chauffé pendant dix-huit minutes, c'est-à-dire presque autant que le fer, n'a perdu que soixante-dix-huit grains, ce qui ne fait que la cent quatre-vingt et unième partie de son poids. Ces pertes sont si petites, qu'on pourrait les regarder comme nulles, et assurer en général que le grès pur ne perd rien de sa pesanteur au feu : car il m'a paru que ces petites diminutions que je viens de rapporter ont été occasionnées par les parties ferrugineuses qui se sont trouvées dans ces grès, et qui ont été en partie détruites par le feu.

Une chose plus générale et qui mérite bien d'être remarquée, c'est que les durées de la chaleur dans différentes matières exposées au même feu, pendant un temps égal, sont toujours dans la même proportion, soit que le degré de chaleur soit plus grand ou plus petit ; en sorte, par exemple, que si on chauffe le fer, le grès et la glaise à un feu violent, et tel qu'il faille quatre-vingts minutes pour refroidir le fer au point de pouvoir le toucher, quarante-six minutes pour refroidir le grès au même point, et trente-huit minutes pour refroidir la glaise, et qu'à une chaleur moindre il ne faille, par exemple, que dix-huit minutes pour refroidir le fer à ce même point de pouvoir le toucher avec la main, il ne faudra proportionnellement qu'un peu plus de dix minutes pour refroidir le grès, et environ huit minutes et demie pour refroidir la glaise à ce même point.

J'ai fait de semblables expériences sur des globes de marbre, de pierre, de plomb et d'étain, à une chaleur telle seulement que l'étain commençait à fondre, et j'ai trouvé que le fer se refroidissant en dix-huit minutes au point de pouvoir le tenir à la main, le marbre se refroidit au même point en douze minutes, la pierre en onze, le plomb en neuf, et l'étain en huit minutes.

Ce n'est donc pas proportionnellement à leur densité, comme on le croit vulgairement (a), que les corps reçoivent et perdent plus ou moins vite la chaleur, mais dans un rapport bien différent et qui est en raison inverse de leur solidité, c'est-à-dire de leur plus ou moins grande *non-fluidité* ; en sorte qu'avec la même chaleur, il faut moins de temps pour échauffer ou refroidir le fluide le plus dense qu'il n'en faut pour échauffer ou refroidir au même degré le solide le moins dense. Je donnerai dans les Mémoires suivants le développement entier de ce principe, duquel dépend toute la théorie du progrès de la chaleur ; mais pour que mon assertion ne paraisse pas vaine, voici en peu de mots le fondement de cette théorie.

J'ai trouvé, par la vue de l'esprit, que les corps qui s'échaufferaient en raison de leurs diamètres ne pourraient être que ceux qui seraient parfaitement perméables à la chaleur, et que ce seraient en même temps ceux qui s'échaufferaient ou se refroidiraient en moins de temps. Dès lors j'ai pensé que les fluides dont toutes les parties ne se tiennent que par un faible lien approchaient plus de cette perméabilité parfaite que les solides dont les parties ont beaucoup plus de cohésion que celles des fluides.

En conséquence, j'ai fait des expériences par lesquelles j'ai trouvé qu'avec la même chaleur, tous les fluides, quelque denses qu'ils soient, s'échauffent et se refroidissent plus promptement qu'aucun solide, quelque léger qu'il soit ; en sorte, par exemple, que le mercure, comparé avec le bois, s'échauffe beaucoup plus promptement que le bois, quoiqu'il soit quinze ou seize fois plus dense.

Cela m'a fait reconnaître que le progrès de la chaleur dans les corps ne devait en aucun cas se faire relativement à leur densité ; et en effet j'ai trouvé, par l'expérience, que, tant dans les solides que dans les fluides, ce progrès se fait plutôt en raison de leur fluidité, ou, si l'on veut, en raison inverse de leur solidité.

(a) Voyez la *Chimie* de Boerhaave. Partie première, p. 266 et 267, et aussi 160, 264 et 267. — Musschenbroek, *Essais de physique*, p. 94 et 969, etc.

Comme ce mot *solidité* a plusieurs acceptions, il faut voir nettement le sens dans lequel je l'emploie ici : *solide* et *solidité* se disent en géométrie relativement à la grandeur, et se prennent pour le volume du corps ; *solidité* se dit souvent en physique relativement à la densité, c'est-à-dire à la masse contenue sous un volume donné ; *solidité* se dit quelquefois encore relativement à la dureté, c'est-à-dire à la résistance que font les corps lorsque nous voulons les entamer. Or, ce n'est dans aucun de ces sens que j'emploie ici ce mot, mais dans une acception qui devrait être la première, parce qu'elle est la plus propre. J'entends uniquement par *solidité* la qualité opposé à la fluidité, et je dis que c'est en raison inverse de cette qualité que se fait le progrès de la chaleur dans la plupart des corps, et qu'ils s'échauffent ou se refroidissent d'autant plus vite qu'ils sont beaucoup plus fluides, et d'autant plus lentement qu'ils sont plus solides, toutes les autres circonstances étant égales d'ailleurs.

Et, pour prouver que la solidité prise dans ce sens est tout à fait indépendante de la densité, j'ai trouvé par expérience que des matières plus ou moins denses s'échauffent et se refroidissent plus promptement que d'autres matières plus ou moins denses ; que, par exemple, l'or et le plomb, qui sont beaucoup plus denses que le fer et le cuivre, néanmoins s'échauffent et se refroidissent aussi beaucoup plus vite, et que l'étain et le marbre, qui sont au contraire moins denses, s'échauffent et se refroidissent plus promptement que d'autres qui sont beaucoup moins denses ou plus denses ; en sorte que la densité n'est nullement relative à l'échelle du progrès de la chaleur dans les corps solides.

Et, pour le prouver de même dans les fluides, j'ai vu que le mercure qui est treize ou quatorze fois plus dense que l'eau, néanmoins s'échauffe et se refroidit en moins de temps que l'eau ; et que l'esprit-de-vin, qui est moins dense que l'eau, s'échauffe et se refroidit aussi plus vite que l'eau ; en sorte que généralement le progrès de la chaleur dans les corps, tant pour l'entrée que pour la sortie, n'a aucun rapport à leur densité, et se fait principalement en raison de leur fluidité, en étendant la fluidité jusqu'au solide, c'est-à-dire en regardant la solidité comme une *non-fluidité* plus ou moins grande. De là j'ai cru devoir conclure que l'on connaîtrait en effet le degré réel de fluidité dans les corps en les faisant chauffer à la même chaleur ; car leur fluidité sera dans la même raison que celle du temps pendant lequel ils recevront et perdront cette chaleur ; et il en sera de même des corps solides : ils seront d'autant plus solides, c'est-à-dire d'autant plus *non-fluides*, qu'il leur faudra plus de temps pour recevoir cette même chaleur et la perdre ; et cela presque généralement, à ce que je présume, car j'ai déjà tenté ces expériences sur un grand nombre de matières différentes, et j'en ai fait une table que j'ai tâché de rendre aussi complète et aussi exacte qu'il m'a été possible, et qu'on trouvera dans le Mémoire suivant.

SECOND MÉMOIRE

SUIITE DES EXPÉRIENCES SUR LE PROGRÈS DE LA CHALEUR
DANS LES DIFFÉRENTES SUBSTANCES MINÉRALES.

J'ai fait faire un grand nombre de globes, tous d'un pouce de diamètre, le plus précisément qu'il a été possible, des matières suivantes, qui peuvent représenter ici à peu près le règne minéral.

	Onces.	Gros.	Grains.
Or le plus pur, affiné par les soins de M. Tillet, de l'Académie des sciences, qui a fait travailler ce globe à ma prière, pèse.....	6	2	17
Plomb, pèse.....	3	6	27
Argent le plus pur, travaillé de même, pèse.....	3	3	22
Bismuth, pèse.....	3	0	3
Cuivre rouge, pèse.....	2	7	56
Fer, pèse.....	2	5	10
Étain, pèse.....	2	3	48
Antimoine fondu et qui avait des petites cavités à sa surface, pèse.	2	1	3½
Zinc, pèse.....	2	1	2
Émeril, pèse.....	1	2	2½ ¹ / ₂
Marbre blanc, pèse.....	1	0	25
Grès pur, pèse.....	0	7	2½
Marbre commun de Montbard, pèse.....	0	7	20
Pierre calcaire dure et grise de Montbard, pèse.....	0	7	20
Gypse blanc, improprement appelé <i>albâtre</i> , pèse.....	0	6	36
Pierre calcaire blanche, statuaire, de la carrière d'Asnières près de Dijon, pèse.....	0	6	36
Cristal de roche : il était un peu trop petit, et il y avait plusieurs défauts et quelques petites fêlures à sa surface; je présume que, sans cela, il aurait pesé plus d'un gros de plus; il pèse.....	0	6	22
Verre commun, pèse.....	0	6	21
Terre glaise pure non cuite, mais très sèche, pèse.....	0	6	16
Ocre, pèse.....	0	5	9
Porcelaine de M. le comte de Lauraguais, pèse.....	0	5	2 ¹ / ₂
Craie blanche, pèse.....	0	4	49
Pierre ponce avec plusieurs petites cavités à sa surface, pèse.....	0	1	69
Bois de cerisier, qui, quoique plus léger que le chêne et la plupart des autres bois, est celui de tous qui s'altère le moins au feu, pèse.....	0	1	55

Je dois avertir qu'il ne faut pas compter assez sur les poids rapportés dans cette table pour en conclure la pesanteur spécifique exacte de chaque matière, car, quelque précaution que j'aie prise pour rendre les globes égaux, comme il a fallu employer des ouvriers de différents métiers, les uns me les ont rendus trop gros et les autres trop petits. On a diminué ceux qui avaient plus d'un pouce de diamètre, mais quelques-uns qui étaient un tant soit peu trop petits, comme ceux de cristal de roche, de verre et de porcelaine, sont demeurés tels qu'ils étaient: j'ai seulement rejeté ceux d'agate, de jaspe, de porphyre et de jade, qui étaient sensiblement trop petits. Néanmoins ce degré de précision de grosseur, très difficile à saisir, n'était pas absolument nécessaire, car il ne pouvait changer que très peu le résultat de mes expériences.

Avant d'avoir commandé tous ces globes d'un pouce de diamètre, j'avais exposé à un même degré de feu une masse carrée de fer, et une autre de plomb de deux pouces dans toutes leurs dimensions, et j'avais trouvé, par des essais réitérés, que le plomb s'échauffait plus vite, et se refroidissait en beaucoup moins de temps que le fer. Je fis la même épreuve sur le cuivre rouge : il faut aussi plus de temps pour l'échauffer et pour le refroidir qu'il n'en faut pour le plomb, et moins que pour le fer. En sorte que, de ces trois matières, le fer me parut celle qui est la moins accessible à la chaleur, et en même temps celle qui la retient le plus longtemps. Ceci me fit connaître que la loi du progrès de la chaleur, c'est-à-dire de son entrée et de sa sortie dans les corps, n'était point du tout proportionnelle à leur densité, puisque le plomb, qui est plus dense que le fer et le cuivre, s'échauffe néanmoins et se refroidit en moins de temps que ces deux autres métaux. Comme cet objet me parut important, je fis faire mes petits globes pour m'assurer plus exactement, sur un grand nombre de différentes matières, du progrès de la chaleur dans chacune. J'ai toujours placé les globes à un pouce de distance les uns des autres devant le même feu ou dans le même four, deux ou trois, ou quatre, ou cinq, etc., ensemble, pendant le même temps avec un globe d'étain au milieu des autres. Dans la plupart des expériences, je les laissais exposés à la même action du feu jusqu'à ce que le globe d'étain commençait à fondre, et dans ce moment on les enlevait tous ensemble et on les posait sur une table dans de petites cases préparées pour les recevoir; je les y laissais refroidir sans les bouger, en essayant assez souvent de les toucher, et au moment qu'ils commençaient à ne plus brûler les doigts, et que je pouvais les tenir dans ma main pendant une demi-seconde, je marquais le nombre des minutes qui s'étaient écoulées depuis qu'ils étaient retirés du feu; ensuite je les laissais tous refroidir au point de la température actuelle, dont je tâchais de juger par le moyen d'autres petits globes de même matière qui n'avaient pas été chauffés, et que je touchais en même temps que ceux qui se refroidissaient. De toutes les matières que j'ai mises à l'épreuve, il n'y a que le soufre qui fond à un moindre degré de chaleur que l'étain; et malgré la mauvaise odeur de sa vapeur je l'aurais pris pour terme de comparaison, mais comme c'est une matière friable et qui se diminue par le frottement, j'ai préféré l'étain, quoiqu'il exige près du double de chaleur pour se fondre, de celle qu'il faut pour fondre le soufre.

I. — Par une première expérience, le boulet de plomb et le boulet de cuivre, chauffés pendant le même temps, se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température actuelle.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Plomb, en.....	8	En.....	23
Cuivre, en.....	12	En.....	35

II. — Ayant fait chauffer ensemble, au même feu, des boulets de fer, de cuivre, de plomb, d'étain, de grès et de marbre de Montbard, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température actuelle.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Étain, en.....	6 $\frac{1}{2}$	En.....	16
Plomb, en.....	8	En.....	17
Grès, en.....	9	En.....	19
Marbre commun, en.....	10	En.....	21
Cuivre, en.....	11 $\frac{1}{2}$	En.....	30
Fer, en.....	13	En.....	38

III. — Par une seconde expérience à un feu plus ardent et au point d'avoir fondu le boulet d'étain, les cinq autres boulets se sont refroidis dans les proportions suivantes :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Plomb, en.....	10 $\frac{1}{2}$	En.....	42
Grès, en.....	12 $\frac{1}{2}$	En.....	46
Marbre commun, en.....	43 $\frac{1}{2}$	En.....	50
Cuivre, en.....	19 $\frac{1}{2}$	En.....	51
Fer, en.....	23 $\frac{1}{2}$	En.....	54

IV. — Par une troisième expérience à un degré de feu moindre que le précédent, les mêmes boulets, avec un nouveau boulet d'étain, se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Étain, en.....	7 $\frac{1}{2}$	En.....	25
Plomb, en.....	9 $\frac{1}{2}$	En.....	35
Grès, en.....	10 $\frac{1}{2}$	En.....	37
Marbre commun, en.....	12	En.....	39
Cuivre, en.....	14	En.....	44
Fer, en.....	17	En.....	50

De ces expériences que j'ai faites avec autant de précision qu'il m'a été possible, on peut conclure :

- 1° Que le temps du refroidissement du fer est à celui du refroidissement du cuivre au point de les tenir : : $53 \frac{1}{2} : 45$, et au point de la température : : $142 : 125$;
- 2° Que le temps du refroidissement du fer est à celui du premier refroidissement du marbre commun : : $53 \frac{1}{2} : 35 \frac{1}{2}$, et au point de leur refroidissement entier : : $142 : 110$;
- 3° Que le temps du refroidissement du fer est à celui du refroidissement du grès au point de pouvoir les tenir : : $53 \frac{1}{2} : 32$, et : : $142 : 102 \frac{1}{2}$ pour leur entier refroidissement;
- 4° Que le temps du refroidissement du fer est à celui du refroidissement du plomb, au point de les tenir : : $53 \frac{1}{2} : 27$, et : : $142 : 94 \frac{1}{2}$ pour leur entier refroidissement.

V. — Comme il n'y avait que deux expériences pour la comparaison du fer à l'étain, j'ai voulu en faire une troisième dans laquelle l'étain s'est refroidi à le tenir dans la main en 8 minutes, et en entier, c'est-à-dire à la température, en 32 minutes; et le fer s'est refroidi à le tenir sur la main en 18 minutes, et refroidi en entier en 48 minutes; au moyen de quoi la proportion trouvée par trois expériences est :

- 1° Pour le premier refroidissement du fer, comparé à celui de l'étain : : $48 : 22$, et : : $136 : 73$ pour leur refroidissement;
- 2° Que les temps du refroidissement du cuivre sont à ceux du refroidissement du marbre commun : : $45 : 35 \frac{1}{2}$ pour le premier refroidissement, et : : $125 : 110$ pour le refroidissement à la température;
- 3° Que les temps du refroidissement du cuivre sont à ceux du refroidissement du grès : : $45 : 33$ pour le premier refroidissement, et : : $125 : 102$ pour le refroidissement à la température actuelle;
- 4° Que les temps du refroidissement du cuivre sont à ceux du refroidissement du plomb : : $45 : 27$ pour le premier refroidissement, et : : $125 : 94 \frac{1}{2}$ pour le refroidissement en entier.

VI. — Comme il n'y avait pour la comparaison du cuivre et de l'étain que deux expériences, j'en ai fait une troisième dans laquelle le cuivre s'est refroidi à le tenir dans la main en 18 minutes, et en entier en 49 minutes; et l'étain s'est refroidi au premier point en $8\frac{1}{2}$ minutes, et au dernier en 30 minutes; d'où l'on peut conclure :

1° Que le temps du refroidissement du cuivre est à celui du refroidissement de l'étain, au point de pouvoir les tenir : : $43\frac{1}{2} : 22\frac{1}{2}$, et : : 123 : 71 pour leur entier refroidissement;

2° On peut de même conclure des expériences précédentes que le temps du refroidissement du marbre commun est à celui du refroidissement du grès, au point de pouvoir les tenir : : $36\frac{1}{2} : 32$, et : : 110 : 102 pour leur entier refroidissement;

3° Que le temps du refroidissement du marbre commun est à celui du refroidissement du plomb au point de pouvoir les tenir : : $36\frac{1}{2} : 28$, et : : 110 : $94\frac{1}{2}$ pour le refroidissement entier.

VII. — Comme il n'y avait pour la comparaison du marbre commun et de l'étain que deux expériences, j'en ai fait une troisième dans laquelle l'étain s'est refroidi, à le tenir dans la main, en 9 minutes, et le marbre en 11 minutes; et l'étain s'est refroidi en entier en $22\frac{1}{2}$ minutes, et le marbre en 33 minutes. Ainsi les temps du refroidissement du marbre sont à ceux du refroidissement de l'étain comme 33 est à $24\frac{1}{2}$ pour le premier refroidissement, et : : 93 : 64 pour le second refroidissement.

VIII. — Comme il n'y avait que deux expériences pour la comparaison du grès et du plomb avec l'étain, j'en ai fait une troisième en faisant chauffer ensemble ces trois boulets de grès, de plomb et d'étain, qui se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Étain, en.....	$7\frac{1}{2}$	En.....	23
Plomb, en.....	$8\frac{1}{2}$	En.....	27
Grès, en.....	$10\frac{1}{2}$	En.....	28

Ainsi on peut en conclure :

1° Que le temps du refroidissement du plomb est à celui du refroidissement de l'étain, au point de pouvoir les tenir : : $25\frac{1}{2} : 21\frac{1}{2}$, et : : $79\frac{1}{2} : 64$ pour le refroidissement entier ;

2° Que le temps du refroidissement du grès est à celui du refroidissement de l'étain, au point de pouvoir les tenir : : $30 : 24\frac{1}{2}$, et : : $84 : 64$ pour leur entier refroidissement;

3° De même, on peut conclure par les quatre expériences précédentes que le temps du refroidissement du grès est à celui du refroidissement du plomb au point de pouvoir les tenir : : $42\frac{1}{2} : 35\frac{1}{2}$, et : : 130 : $121\frac{1}{2}$ pour leur entier refroidissement.

IX. — Dans un four chauffé au point de fondre l'étain, quoique toute la braise et les cendres en eussent été tirées, j'ai fait placer sur un support de fer-blanc, traversé de fil de fer, cinq boulets éloignés les uns des autres d'environ 9 lignes, après quoi on a fermé le four; et les ayant retirés au bout de 15 minutes, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Étain fondu par sa partie d'en bas, en.	8	En.....	24
Argent, en.....	14	En.....	40
Or, en.....	15	En.....	46
Cuivre, en.....	$16\frac{1}{2}$	En.....	50
Fer, en.....	18	En.....	56

X. — Dans le même four, mais à un moindre degré de chaleur, les mêmes boulets, avec un autre boulet d'étain, se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Étain, en.....	7	En.....	20
Argent, en.....	14	En.....	31
Or, en.....	$22\frac{1}{2}$	En.....	40
Cuivre, en.....	14	En.....	43
Fer, en.....	$16\frac{1}{2}$	En.....	47

XI. — Dans le même four, et à un degré de chaleur encore moindre, les mêmes boulets se sont refroidis dans les proportions suivantes :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Étain, en.....	6	En.....	17
Argent, en.....	9	En.....	26
Or, en.....	$9\frac{1}{2}$	En.....	28
Cuivre, en.....	10	En.....	31
Fer, en.....	11	En.....	35

On doit conclure de ces expériences :

1° Que le temps du refroidissement du fer est à celui du refroidissement du cuivre, au point de les tenir : : $11 + 16\frac{1}{2} + 18 : 10 + 14 + 16\frac{1}{2}$, ou : : $45\frac{1}{2} : 40\frac{1}{2}$ par les trois expériences présentes; et comme ce rapport a été trouvé par les expériences précédentes (art. iv) : : $53\frac{1}{2} : 45$, on aura, en ajoutant ces temps, 99 à $85\frac{1}{2}$ pour le rapport encore plus précis du premier refroidissement du fer et du cuivre; et pour le second, c'est-à-dire pour le refroidissement entier, le rapport donné par les présentes expériences étant : : $35 + 47 + 56 : 31 + 43 + 50$, ou : : $138 : 124$, et : : $142 : 125$. Par les expériences précédentes (art. iv), on aura, en ajoutant ces temps, 280 à 249 pour le rapport encore plus précis du refroidissement entier du fer et du cuivre;

2° Que le temps du refroidissement du fer est à celui du refroidissement de l'or, au point de pouvoir les tenir : : $45\frac{1}{2} : 37$, et au point de la température : : $138 : 144$.

3° Que le temps du refroidissement du fer est à celui du refroidissement de l'argent, au point de pouvoir les tenir : : $45\frac{1}{2} : 34$, et au point de la température : : $138 : 97$;

4° Que le temps du refroidissement du fer est à celui du refroidissement de l'étain, au point de pouvoir les tenir : : $45\frac{1}{2} : 21$ par les présentes expériences, et : : $24 : 11$ par les expériences précédentes (art. v); ainsi l'on aura, en ajoutant ces temps, $69\frac{1}{2}$ à 32 pour le rapport encore plus précis de leur refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les expériences présentes étant : : $138 : 61$, et par les expériences précédentes (art. v) : : $136 : 73$, on aura, en ajoutant ces temps, 274 à 134 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du fer et de l'étain;

5° Que le temps du refroidissement du cuivre est à celui de l'or, au point de pouvoir les tenir : : $40\frac{1}{2} : 37$, et : : $124 : 114$ pour leur entier refroidissement;

6° Que le temps du refroidissement du cuivre est à celui du refroidissement de l'argent au point de pouvoir les tenir : : $40\frac{1}{2} : 34$, et : : $124 : 97$ pour leur entier refroidissement;

7° Que le temps du refroidissement du cuivre est à celui du refroidissement de l'étain, au point de pouvoir les tenir : : $40\frac{1}{2} : 21$ par les présentes expériences, et : : $43\frac{1}{2} : 22\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. vi); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 84 à $43\frac{1}{2}$ pour le rapport encore plus précis de leur premier refroidissement; et pour le

second, le rapport donné par les présentes expériences étant : : 124 : 61, et : : 123 : 71 par les expériences précédentes (art. VI), on aura, en ajoutant ces temps, 247 à 152 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du cuivre et de l'étain ;

8° Que le temps du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement de l'argent, au point de pouvoir les tenir : : 37 : 34, et : : 114 : 97 pour leur entier refroidissement ;

9° Que le temps du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement de l'étain, au point de pouvoir les tenir : : 37 : 21, et : : 114 : 61 pour leur entier refroidissement ;

10° Que le temps du refroidissement de l'argent est à celui du refroidissement de l'étain, au point de pouvoir les tenir : : 34 : 21, et : : 97 : 61 pour leur entier refroidissement.

XII. — Ayant mis dans le même four cinq boulets, placés de même et séparés les uns des autres, leur refroidissement s'est fait dans les proportions suivantes :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Antimoine, en.....	6 $\frac{1}{2}$	En.....	25
Bismuth, en.....	7	En.....	26
Plomb, en.....	8	En.....	27
Zinc, en.....	10 $\frac{1}{2}$	En.....	30
Émeril, en.....	11 $\frac{1}{2}$	En.....	28

XIII. — Ayant répété cette expérience avec un degré de chaleur plus fort, et auquel l'étain et le bismuth se sont fondus, les autres boulets se sont refroidis dans la progression suivante :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Antimoine, en.....	7 $\frac{1}{2}$	En.....	28
Plomb, en.....	9 $\frac{1}{2}$	En.....	39
Zinc, en.....	14	En.....	44
Émeril, en.....	16	En.....	50

XIV. — On a placé dans le même four et de la même manière un autre boulet de bismuth, avec six autres boulets qui se sont refroidis dans la progression suivante :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Antimoine, en.....	6	En.....	23
Bismuth, en.....	6	En.....	25
Plomb, en.....	7 $\frac{1}{2}$	En.....	28
Argent, en.....	9 $\frac{1}{2}$	En.....	30
Zinc, en.....	10 $\frac{1}{2}$	En.....	32
Or, en.....	11	En.....	32
Émeril, en.....	13 $\frac{1}{2}$	En.....	39

XV. — Ayant répété cette expérience avec les sept mêmes boulets, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Antimoine, en.....	6 $\frac{1}{2}$	En.....	23
Bismuth, en.....	7 $\frac{1}{2}$	En.....	31
Plomb, en.....	7 $\frac{1}{2}$	En.....	29
Argent, en.....	11 $\frac{1}{2}$	En.....	32
Zinc, en.....	12 $\frac{1}{2}$	En.....	38
Or, en.....	14	En.....	41
Émeril, en.....	15	En.....	44

Toutes ces expériences ont été faites avec soin et en présence de deux ou trois personnes qui ont jugé comme moi par le tact, et en serrant dans la main pendant une demi-seconde les différents boulets ; ainsi l'on doit en conclure :

1° Que le temps du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement de l'or, au point de pouvoir les tenir : : 28 $\frac{1}{2}$: 25, et : : 83 : 73 pour leur entier refroidissement ;

2° Que le temps du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement du zinc, au point de pouvoir les toucher : : 56 : 48 $\frac{1}{2}$, et : : 171 : 144 pour leur entier refroidissement ;

3° Que le temps du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement de l'argent, au point de pouvoir les tenir : : 28 $\frac{1}{2}$: 21, et : : 83 : 62 pour leur entier refroidissement ;

4° Que le temps du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement du plomb, au point de les tenir : : 56 : 32 et $\frac{1}{2}$, et : : 171 : 123 pour leur entier refroidissement ;

5° Que le temps du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement du bismuth, au point de les tenir : : 40 : 20 $\frac{1}{2}$, et : : 121 : 80 pour leur entier refroidissement ;

6° Que le temps du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de pouvoir les tenir : 56 : 26 $\frac{1}{2}$, et à la température : 171 : 99 ;

7° Que le temps du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement du zinc, au point de les tenir : : 25 : 24, et : : 73 : 70 pour leur entier refroidissement ;

8° Que le temps du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement de l'argent, au point de pouvoir les tenir : : 25 : 21 par les présentes expériences, et : : 37 : 34 par les expériences précédentes (art. XI) ; ainsi l'on aura, en ajoutant ces temps, 62 à 55 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement ; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences étant : : 73 : 62, et : : 114 : 97 par les expériences précédentes (art. XI) ; on aura, en ajoutant ces temps ; 187 à 159 pour le rapport plus précis de leur entier refroidissement ;

9° Que le temps du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement du plomb, au point de pouvoir les tenir : : 25 : 15, et : : 73 : 58 pour leur entier refroidissement ;

10° Que le temps du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement du bismuth, au point de pouvoir les tenir : 25 : 13 $\frac{1}{2}$, et : : 73 : 56 pour leur entier refroidissement ;

11° Que le temps du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de les tenir : : 25 : 12 $\frac{1}{2}$, et : : 73 : 47 pour leur entier refroidissement ;

12° Que le temps du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement de l'argent, au point de pouvoir les tenir : : 24 : 21, et : : 70 : 62 pour leur entier refroidissement ;

13° Que le temps du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement du plomb, au point de pouvoir les tenir : : $48 \frac{1}{2} : 32 \frac{1}{2}$, et : : 144 : 123 pour leur entier refroidissement ;

14° Que le temps du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement du bismuth, au point de pouvoir les tenir : : $34 \frac{1}{2} : 20 \frac{1}{2}$, et 100 : 80 pour leur entier refroidissement ;

15° Que le temps du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de les tenir : : $48 \frac{1}{2} : 26 \frac{1}{2}$, et à la température 144 : 99 ;

16° Que le temps du refroidissement de l'argent est à celui du refroidissement du bismuth, au point de pouvoir les tenir : : 21 : $13 \frac{1}{2}$, et : : 62 : 56 pour leur entier refroidissement ;

17° Que le temps du refroidissement de l'argent est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de les tenir : : 21 : $12 \frac{1}{2}$, et : : 62 : 46 pour leur entier refroidissement ;

18° Que le temps du refroidissement du plomb est à celui du refroidissement du bismuth, au point de les tenir : : 23 : $20 \frac{1}{2}$, et : : 84 : 80 pour leur entier refroidissement ;

19° Que le temps du refroidissement du plomb est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de les toucher : : $32 \frac{1}{2} : 26 \frac{1}{2}$, et à la température : 123 : 99 ;

20° Que le temps du refroidissement du bismuth est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de pouvoir les tenir : : $20 \frac{1}{2} : 19$, et : : 80 : 71 pour leur entier refroidissement.

Je dois observer qu'en général, dans toutes ces expériences, les premiers rapports sont bien plus justes que les derniers, parce qu'il est difficile de juger du refroidissement jusqu'à la température actuelle, et que cette température étant variable, les résultats doivent varier aussi ; au lieu que le point du premier refroidissement peut être saisi assez juste par la sensation que produit sur la même main la chaleur du boulet, lorsqu'on peut le tenir ou le toucher pendant une demi-seconde.

XVI. — Comme il n'y avait que deux expériences pour la comparaison de l'or avec l'émeril, le zinc, le plomb, le bismuth et l'antimoine, que le bismuth s'était fondu en entier, et que le plomb et l'antimoine étaient fort endommagés, je me suis servi d'autres boulets de bismuth, d'antimoine et de plomb, et j'ai fait une troisième expérience en mettant ensemble, dans le même four bien chauffé, ces six boulets ; ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Antimoine, en...	7	En.....	27
Bismuth, en.....	7	En.....	29
Plomb, en.....	9	En.....	33
Zinc, en.....	12	En.....	37
Or, en.....	13	En.....	42
Émeril, en.....	$15 \frac{1}{2}$	En.....	48

D'où l'on doit conclure, ainsi que des expériences xiv et xv : 1° Que le temps du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement de l'or au point de pouvoir les tenir : : 44 : 38, et au point de la température : : 131 : 115 ;

2° Que le temps du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement du zinc, au point de pouvoir les tenir : : $15 : \frac{1}{2} : 12$; mais le rapport trouvé par les expériences précédentes (art. xv) étant : : $56 : 48 \frac{1}{2}$, on aura, en ajoutant ces temps, $71 \frac{1}{2}$ à $60 \frac{1}{2}$ pour leur premier refroidissement ; et pour le second, le rapport trouvé par l'expérience

présente étant : : 48 : 37, et par les expériences précédentes (art. xv) : : 171 ; 144 ; ainsi, en ajoutant ces temps, on aura 239 à 181 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'émeril et du zinc ;

3° Que le temps du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement du plomb, au point de pouvoir les tenir : : $15\frac{1}{2}$: 9 ; mais le rapport trouvé par les expériences précédentes (art. xv) étant : : 56 : $32\frac{1}{2}$; ainsi on aura, en ajoutant ces temps, $74\frac{1}{2}$ à $41\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur refroidissement ; et pour le second, le rapport donné par l'expérience précédente étant : : 48 : 33, et par les expériences précédentes (art. xv) : : 171 : 123, on aura, en ajoutant ces temps, 239 à 156 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'émeril et du plomb ;

4° Que le temps du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement du bismuth, au point de pouvoir les tenir : : $15\frac{1}{2}$: 8, et par les expériences précédentes (art. xv) : : 40 : $20\frac{1}{2}$; ainsi on aura, en ajoutant ces temps, $53\frac{1}{2}$ à $28\frac{1}{2}$, pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement ; et, pour le second, le rapport donné par l'expérience présente étant : : 48 : 29, et : : 121 : 80 par les expériences précédentes (art. xv), on aura, en ajoutant ces temps, 169 à 109 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'émeril et du bismuth ;

5° Que le temps du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de pouvoir les tenir : : $15\frac{1}{2}$: 7 ; mais le rapport trouvé par les expériences précédentes (art. xv) étant : : 56 : $26\frac{1}{2}$; on aura, en ajoutant ces temps, $71\frac{1}{2}$ à $33\frac{1}{2}$ pour le rapport encore plus précis de leur premier refroidissement ; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente, étant : : 48 : 27, et : : 171 : 99 par les expériences précédentes (art. xv) ; on aura, en ajoutant ces temps, 219 à 126 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'émeril et de l'antimoine ;

6° Que le temps du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement du zinc, au point de pouvoir les tenir : : 38 : 36, et : : 115 : 107 pour leur entier refroidissement ;

7° Que le temps du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement du plomb, au point de les toucher : : 38 : 24, et à la température : : 115 : 90 ;

8° Que le temps du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement du bismuth, au point de pouvoir les tenir : : 38 : $21\frac{1}{2}$, et à la température : : 115 : 85 ;

9° Que le temps du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de les toucher : : 38 : $21\frac{1}{2}$, et à la température : : 115 : 69 ;

10° Que le temps du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement du plomb, au point de pouvoir les tenir : : 12 : 9. Mais le rapport trouvé par les expériences précédentes (art. xv) étant : : $48\frac{1}{2}$: $32\frac{1}{2}$, on aura, en ajoutant ces temps, $60\frac{1}{2}$ à $41\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement ; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente étant : : 37 : 33, et par les expériences précédentes (art. xv) : : 144 : 123 ; on aura, en ajoutant ces temps, 181 à 156 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du zinc et du plomb ;

11° Que le temps du refroidissement du zinc et celui du refroidissement du bismuth, au point de les toucher : : 12 : 8 par la présente expérience ; mais le rapport trouvé par les expériences précédentes (art. xv) étant : : $34\frac{1}{2}$: $20\frac{1}{2}$; en ajoutant ces temps, on aura $46\frac{1}{2}$ à $28\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement ; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente : : 37 : 29, et par les expériences précédentes (art. xv) : : 100 : 80 ; on aura, en ajoutant ces temps, 137 à 109 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du zinc et du bismuth ;

12° Que le temps du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement de l'antimoine pour pouvoir les tenir : : 12 : 7 par la présente expérience ; mais comme le rapport trouvé par les expériences précédentes (art. xv) est : : $48\frac{1}{2}$: $26\frac{1}{2}$; on aura, en ajoutant ces temps, $60\frac{1}{2}$ à $33\frac{1}{2}$ pour le rapport encore plus précis de leur premier refroidissement ;

et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente étant : : 37 : 27, et : : 144 : 99 par les expériences précédentes (art. xv); on aura, en ajoutant ces temps, 181 à 126 pour le rapport plus précis de l'entier refroidissement du zinc et de l'antimoine ;

13° Que le temps du refroidissement du plomb est à celui du refroidissement du bismuth, au point de pouvoir les tenir : : 9 : 8 par l'expérience présente, et : : 23 : 20 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. xv); ainsi, on aura, en ajoutant ces temps, 32 à 28 $\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience étant : : 33 : 29 et : : 84 : 80 par les expériences précédentes (art. xv); on aura, en ajoutant ces temps, 117 à 109 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du plomb et du bismuth ;

14° Que le temps du refroidissement du plomb est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de les tenir : : 9 : 7 par la présente expérience, et : : 32 $\frac{1}{2}$: 26 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. xv); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 41 $\frac{1}{2}$ à 33 $\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente étant : : 33 : 27, et : : 123 : 99 par les expériences précédentes (art. xv); on aura, en ajoutant ces temps, 156 à 126 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du plomb et de l'antimoine ;

15° Que le temps du refroidissement du bismuth est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de pouvoir les tenir : : 8 : 7 par l'expérience présente, et : : 20 $\frac{1}{2}$: 19 par les expériences précédentes (art. xv); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 28 $\frac{1}{2}$ à 26 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente étant : : 29 : 27, et : : 80 : 74 par les expériences précédentes (art. xv); on aura, en ajoutant ces temps, 109 à 98, pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du bismuth et de l'antimoine.

XVII. — Comme il n'y avait de même que deux expériences pour la comparaison de l'argent avec l'émeril, le zinc, le plomb, le bismuth et l'antimoine, j'en ai fait une troisième en mettant dans le même four, qui s'était un peu refroidi, les six boulets ensemble, et après les en avoir tirés tous en même temps, comme on l'a toujours fait, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Antimoine, en.....	6	En.....	29
Bismuth, en.....	7	En.....	31
Plomb, en.....	8 $\frac{1}{4}$	En.....	34
Argent, en.....	11 $\frac{1}{2}$	En.....	36
Zinc, en.....	12 $\frac{1}{2}$	En.....	39
Émeril, en.....	15 $\frac{1}{2}$	En.....	47

On doit conclure de cette expérience et de celles des articles xiv et xv :

1° Que le temps du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement du zinc, au point de les tenir, par l'expérience présente : : 15 $\frac{1}{2}$: 12 $\frac{1}{2}$, et : : 71 $\frac{1}{2}$: 60 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. xvi); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 87 à 73 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente étant : : 47 : 39, et par les expériences précédentes (art. xvi) : : 239 : 181; on aura, en ajoutant ces temps, 286 à 220 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'émeril et du zinc ;

2° Que le temps du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement de l'argent : : 44 : 32 $\frac{1}{2}$ au point de les tenir, et : : 130 : 98 pour leur entier refroidissement ;

3° Que le temps du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement du plomb, au point de les tenir : : $15 \frac{1}{2} : 8 \frac{1}{2}$ par l'expérience présente, et : : $71 \frac{1}{2} : 41 \frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. XVI); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 87 à $49 \frac{3}{4}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente étant : : 47 : 34, et : : 239 : 156 par les expériences précédentes (art. XVI); on aura, en ajoutant ces temps, 286 à 190 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'émeril et du plomb :

4° Que le temps du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement du bismuth, au point de pouvoir les tenir : : $15 \frac{1}{2} : 7$ par l'expérience présente; et : : $55 \frac{1}{2} : 28 \frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. XVI); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 71 à $35 \frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente étant : : 47 : 31, et : : 169 : 109 par les expériences précédentes (art. XVI); on aura, en ajoutant ces temps, 216 à 140 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'émeril et du bismuth ;

5° Que le temps du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de les tenir : : $15 \frac{1}{2} : 6$ par l'expérience présente, et : : $71 \frac{1}{2} : 33 \frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. XVI); ainsi en ajoutant ces temps, on aura 87 à $39 \frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente étant : : 47 : 29, et par les expériences précédentes (art. XVI) : : 219 : 126; on aura, en ajoutant ces temps, 266 à 155 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'émeril et de l'antimoine ;

6° Que le temps du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement de l'argent, au point de pouvoir les tenir : : $36 \frac{1}{2} : 32 \frac{1}{2}$; et : : 109 : 98 pour leur entier refroidissement ;

7° Que le temps du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement du plomb, au point de pouvoir les tenir : : $12 \frac{1}{2} : 8 \frac{1}{4}$ par l'expérience présente, et : : $60 \frac{1}{2} : 41 \frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. XVI); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 73 à $43 \frac{3}{4}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente étant : : 39 : 33, et par les expériences précédentes (art. XVI) : : 181 : 156, on aura, en ajoutant ces temps, 220 à 189 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du zinc et du plomb ;

8° Que le temps du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement du bismuth, au point de pouvoir les tenir : : $12 \frac{1}{2} : 7$ par la présente expérience, et : : $46 \frac{1}{2} : 28 \frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. XVI); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 59 à $35 \frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente étant : : 39 : 31, et : : 137 : 109 par les expériences précédentes (art. XVI); on aura, en ajoutant ces temps, 176 à 140 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du zinc et du bismuth ;

9° Que le temps du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de les tenir : : $12 \frac{1}{2} : 6$ par la présente expérience, et : : $60 \frac{1}{2} : 33 \frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. XVI); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 73 à $39 \frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport trouvé par l'expérience présente étant : : 39 : 29, et : : 181 : 126 par les expériences précédentes (art. XVI); on aura, en ajoutant ces temps, 220 à 155 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du zinc et de l'antimoine ;

10° Que le temps du refroidissement de l'argent est à celui du refroidissement du plomb, au point de pouvoir les tenir : : $32 \frac{1}{2} : 23 \frac{1}{2}$, et : : 98 : 90 pour leur entier refroidissement ;

11° Que le temps du refroidissement de l'argent est à celui du refroidissement du bismuth, au point de les tenir : : $32 \frac{1}{2} : 20 \frac{1}{2}$, et : : 98 : 87 pour leur entier refroidissement ;

12° Que le temps du refroidissement de l'argent est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de pouvoir les tenir : : $32 \frac{1}{2}$: $18 \frac{1}{2}$, et : : 98 : 75 pour leur entier refroidissement ;

13° Que le temps du refroidissement du plomb est à celui du refroidissement du bismuth, au point de les tenir : : $8 \frac{1}{2}$: 7 par la présente expérience, et : : 32 : $28 \frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. XVI) ; on aura, en ajoutant ces temps $40 \frac{1}{2}$ à $35 \frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement ; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente étant : : 34 : 31, et : : 117 : 109 par les expériences précédentes (art. XVI) ; on aura, en ajoutant ces temps, 141 à 140 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du plomb et du bismuth ;

14° Que le temps du refroidissement du plomb est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de pouvoir les tenir : : $8 \frac{1}{4}$: 6 par l'expérience présente, et par les expériences précédentes (art. XVI) : : $41 \frac{1}{2}$: $33 \frac{1}{2}$, ainsi on aura, en ajoutant ces temps, $49 \frac{3}{4}$ à $39 \frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement ; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience étant : : 34 : 29, et : : 156 : 126 par les expériences précédentes (art. XVI) ; on aura, en ajoutant ces temps, 190 à 155 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du plomb et de l'antimoine ;

15° Que le temps du refroidissement du bismuth est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de pouvoir les tenir : : 7 : 6 par la présente expérience, et : : $28 \frac{1}{2}$: 26 par les expériences précédentes (art. XVI) ; ainsi on aura, en ajoutant ces temps, $35 \frac{1}{2}$ à 32 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement ; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience étant : : 31 : 29, et : : 109 : 98 par les expériences précédentes (art. XVI) ; on aura, en ajoutant ces temps, 140 à 127 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du bismuth et de l'antimoine.

XVIII. — On a mis dans le même four un boulet de verre, un nouveau boulet d'étain, un de cuivre et un de fer pour en faire une première comparaison ; ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Étain, en.....	8	En.....	27
Verre, en.....	$8 \frac{1}{2}$	En.....	22
Cuivre, en.....	14	En.....	42
Fer, en.....	16	En.....	50

XIX. — La même expérience répétée, les boulets se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Étain, en.....	$7 \frac{1}{2}$	En.....	21
Verre, en.....	8	En.....	33
Cuivre, en.....	12	En.....	36
Fer, en.....	15	En.....	47

XX. — Par une troisième expérience, les boulets chauffés pendant un plus long temps, mais à une chaleur un peu moindre, se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Étain, en.....	$8 \frac{1}{2}$	En.....	22
Verre, en.....	9	En.....	24
Cuivre, en.....	15	En.....	43
Fer, en.....	17	En.....	46

XXI. — Par une quatrième expérience répétée, les mêmes boulets chauffés à un feu plus ardent, se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Étain, en.....	8 $\frac{1}{2}$	En.....	35
Verre, en.....	9	En.....	25
Cuivre, en.....	11 $\frac{1}{2}$	En.....	35
Fer, en.....	14	En.....	43

Il résulte de ces expériences répétées quatre fois :

1° Que le temps du refroidissement du fer est à celui du refroidissement du cuivre, au point de les tenir : : 62 : 52 $\frac{1}{2}$ par les présentes expériences, et : : 99 : 85 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. XI); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 161 à 138 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences étant : : 186 : 156, et par les expériences précédentes (art. XI) : : 280 : 249; on aura, en ajoutant ces temps, 466 à 405 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du fer et du cuivre;

2° Que le temps du refroidissement du fer est à celui du refroidissement du verre, au point de les tenir : : 62 : 34 $\frac{1}{2}$, et : : 186 : 97 pour leur entier refroidissement;

3° Que le temps du refroidissement du fer est à celui du refroidissement de l'étain, au point de pouvoir les tenir : : 62 : 32 $\frac{1}{2}$ par les présentes expériences; et : : 69 $\frac{1}{2}$: 32 par les expériences précédentes (art. XI); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 131 $\frac{1}{2}$ à 64 $\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les expériences présentes (art. XI); on aura, en ajoutant ces temps, 460 à 226 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du fer et de l'étain;

4° Que le temps du refroidissement du cuivre est à celui du refroidissement du verre, au point de les tenir : : 51 $\frac{1}{2}$: 34 $\frac{1}{2}$, et : : 157 : 97 pour leur entier refroidissement;

5° Que le temps du refroidissement du cuivre est à celui du refroidissement de l'étain, au point de pouvoir les tenir : : 52 $\frac{1}{2}$: 32 $\frac{1}{2}$ par les expériences présentes; et : : 84 : 43 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. XI); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 136 $\frac{1}{2}$ à 76 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les expériences présentes étant : : 157 : 92, et par les expériences précédentes (art. XI) : : 247 : 132; on aura, en ajoutant ces temps, 304 à 224 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du cuivre et de l'étain;

6° Que le temps du refroidissement du verre est à celui du refroidissement de l'étain, au point de les tenir : : 24 $\frac{1}{2}$: 32 $\frac{1}{2}$, et : : 97 : 92 pour leur entier refroidissement;

XXII. — On a fait chauffer ensemble les boulets d'or, de verre, de porcelaine, de gypse et de grès, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Gypse, en.....	5	En.....	14
Porcelaine, en.....	8 $\frac{1}{2}$	En.....	25
Verre, en.....	9	En.....	26
Grès, en.....	10	En.....	32
Or, en.....	14 $\frac{1}{2}$	En.....	45

XXIII. — La même expérience répétée sur les mêmes boulets, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Gypse, en.....	4	En.....	43
Porcelaine, en.....	7	En.....	22
Verre, en.....	9 $\frac{1}{2}$	En.....	24
Grès, en.....	9 $\frac{1}{2}$	En.....	33
Or, en.....	13 $\frac{1}{2}$	En.....	41

XXIV. — La même expérience répétée, les boulets se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Gypse, en.....	2 $\frac{1}{2}$	En.....	12
Porcelaine, en.....	5 $\frac{1}{2}$	En.....	19
Verre, en.....	8 $\frac{1}{2}$	En.....	20
Grès, en.....	8 $\frac{1}{2}$	En.....	25
Or, en.....	10	En.....	32

Il résulte de ces trois expériences :

- 1° Que le temps du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement du grès, au point de les tenir : : 38 : 28, et : : 118 : 90 pour leur entier refroidissement ;
- 2° Que le temps du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement du verre, au point de les tenir : : 38 : 27, et : : 118 : 70 pour leur entier refroidissement ;
- 3° Que le temps du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement de la porcelaine, au point de les tenir : : 38 : 21, et : : 118 : 66 pour leur entier refroidissement ;
- 4° Que le temps du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement du gypse, au point de les tenir : : 38 : 12 $\frac{1}{2}$, et : : 118 : 39 pour leur entier refroidissement ;
- 5° Que le temps du refroidissement du grès est à celui du refroidissement du verre, au point de les tenir : : 28 $\frac{1}{2}$: 27, et : : 90 : 70 pour leur entier refroidissement ;
- 6° Que le temps du refroidissement du grès est à celui du refroidissement de la porcelaine, au point de pouvoir les tenir : : 28 $\frac{1}{2}$: 21, et : : 90 : 66 pour leur entier refroidissement ;
- 7° Que le temps du refroidissement du grès est à celui du refroidissement du gypse, au point de les tenir : : 28 $\frac{1}{2}$: 12 $\frac{1}{2}$, et : : 90 : 39 pour leur entier refroidissement ;
- 8° Que le temps du refroidissement du verre est à celui du refroidissement de la porcelaine, au point de les tenir : : 27 : 21, et : : 70 : 67 pour leur entier refroidissement ;
- 9° Que le temps du refroidissement du verre est à celui du refroidissement du gypse, au point de les tenir : : 27 : 12 $\frac{1}{2}$, et : : 70 : 39 pour leur entier refroidissement ;
- 10° Que le temps du refroidissement de la porcelaine est à celui du refroidissement du gypse, au point de les tenir : : 21 : 12 $\frac{1}{2}$, et : : 66 : 39 pour leur entier refroidissement.

XXV. — On a fait chauffer de même les boulets d'argent, de marbre commun, de pierre dure, de marbre blanc et de pierre calcaire tendre d'Anières près de Dijon.

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Pierre calcaire tendre, en.....	8	En.....	25
Pierre dure, en.....	10	En.....	34
Marbre commun, en.....	11	En.....	35
Marbre blanc, en.....	12	En.....	36
Argent, en.....	13 $\frac{1}{2}$	En.....	40

XXVI. — La même expérience répétée, les boulets se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Pierre calcaire tendre, en.....	9	En.....	27
Pierre calcaire dure, en.....	11	En.....	37
Marbre commun, en.....	13	En.....	40
Marbre blanc, en.....	14	En.....	40
Argent, en.....	16	En.....	43

XXVII. — La même expérience répétée, les boulets se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Pierre calcaire tendre, en.....	9	En.....	26
Pierre calcaire dure, en.....	10 $\frac{1}{2}$	En.....	36
Marbre commun, en.....	12 $\frac{1}{2}$	En.....	38
Marbre blanc, en.....	13 $\frac{1}{2}$	En.....	39
Argent, en.....	16	En.....	42

Il résulte de ces trois expériences :

1° Que le temps du refroidissement de l'argent est à celui du refroidissement du marbre blanc, au point de les tenir :: $45 \frac{1}{2}$: $39 \frac{1}{2}$, et :: 125 : 115 pour leur entier refroidissement ;

2° Que le temps du refroidissement de l'argent est à celui du refroidissement du marbre commun, au point de les tenir :: $45 \frac{1}{2}$: 36, et :: 125 : 113 pour leur entier refroidissement ;

3° Que le temps du refroidissement de l'argent est à celui du refroidissement de la pierre dure, au point de les tenir :: $45 \frac{1}{2}$: $31 \frac{1}{2}$, et :: 125 : 107 pour leur entier refroidissement ;

4° Que le temps du refroidissement de l'argent est à celui du refroidissement de la pierre tendre, au point de les tenir :: $45 \frac{1}{2}$: 26, et :: 125 : 78 pour leur entier refroidissement ;

5° Que le temps du refroidissement du marbre blanc est à celui du refroidissement du marbre commun, au point de les tenir :: $39 \frac{1}{2}$: 36, et :: 115 : 113 pour leur entier refroidissement ;

6° Que le temps du refroidissement du marbre blanc est à celui du refroidissement de la pierre dure, au point de les tenir :: $39 \frac{1}{2}$: $31 \frac{1}{2}$, et :: 115 : 107 pour leur entier refroidissement ;

7° Que le temps du refroidissement du marbre blanc est à celui du refroidissement de la pierre tendre, au point de les tenir :: $39 \frac{1}{2}$: 26, et :: 115 : 78 pour leur entier refroidissement ;

8° Que le temps du refroidissement du marbre commun est à celui du refroidissement de la pierre dure, au point de les tenir :: 36 : $31 \frac{1}{2}$, et :: 113 : 109 pour leur entier refroidissement ;

9° Que le temps du refroidissement du marbre commun est à celui du refroidissement de la pierre tendre, au point de les tenir :: 36 : 26, et :: 113 : 78 pour leur entier refroidissement ;

10° Que le temps du refroidissement de la pierre dure est à celui du refroidissement de la pierre tendre, au point de les tenir :: $31 \frac{1}{2} : 26$, et :: $107 : 78$ pour leur entier refroidissement;

XXVIII. — On a mis dans le même four bien chauffé, des boulets d'or, de marbre blanc, de marbre commun, de pierre dure et de pierre tendre; ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Pierre calcaire tendre, en.....	9	En.....	29
Marbre commun, en.....	$11 \frac{1}{2}$	En.....	35
Pierre dure, en.....	$11 \frac{1}{2}$	En.....	35
Marbre blanc, en.....	13	En.....	35
Or, en.....	$15 \frac{1}{2}$	En.....	45

XXIX. — La même expérience répétée à une moindre chaleur, les boulets se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Pierre calcaire tendre, en.....	6	En.....	19
Pierre dure, en.....	8	En.....	25
Marbre commun, en.....	$9 \frac{1}{2}$	En.....	26
Marbre blanc, en.....	10	En.....	29
Or, en.....	12	En.....	37

XXX. — La même expérience répétée une troisième fois, les boulets chauffés à un feu plus ardent, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Pierre tendre, en.....	7	En.....	20
Pierre dure, en.....	8	En.....	24
Marbre commun, en.....	$8 \frac{1}{2}$	En.....	20
Marbre blanc, en.....	9	En.....	28
Or, en.....	12	En.....	35

Il résulte de ces trois expériences :

1° Que le temps du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement du marbre blanc, au point de les tenir : $39 \frac{1}{2} : 32$, et :: $117 : 92$ pour leur entier refroidissement ;

2° Que le temps du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement du marbre commun, au point de les tenir :: $39 \frac{1}{2} : 29 \frac{1}{2}$, et :: $117 : 87$ pour leur entier refroidissement ;

3° Que le temps du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement de la pierre dure, au point de les tenir :: $39 \frac{1}{2} : 27 \frac{1}{2}$, et :: $117 : 86$ pour leur entier refroidissement ;

4° Que le temps du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement de la pierre tendre, au point de les tenir :: $39 \frac{1}{2} : 22$, et :: $117 : 68$ pour leur entier refroidissement.

5° Que le temps du refroidissement du marbre blanc est à celui du refroidissement du marbre commun, au point de les tenir :: $32 : 29$, et :: $92 : 87$ pour leur entier refroidissement ;

6° Que le temps du refroidissement du marbre blanc est à celui du refroidissement de la pierre dure, au point de les tenir :: 32 : 27 $\frac{1}{2}$, et :: 92 : 84 pour leur entier refroidissement ;

7° Que le temps du refroidissement du marbre blanc est à celui du refroidissement de la pierre tendre, au point de les tenir :: 32 : 22, et :: 92 : 68 pour leur entier refroidissement ;

8° Que le temps du refroidissement du marbre commun est à celui du refroidissement de la pierre dure, au point de les tenir :: 29 : 27 $\frac{1}{2}$, et :: 87 : 84 pour leur entier refroidissement ;

9° Que le temps du refroidissement du marbre commun est à celui du refroidissement de la pierre tendre, au point de les tenir :: 29 : 22, et :: 87 : 68 pour leur entier refroidissement ;

10° Que le temps du refroidissement de la pierre dure est à celui du refroidissement de la pierre tendre, au point de les tenir :: 27 $\frac{1}{2}$: 22, et :: 84 : 68 pour leur entier refroidissement.

XXXI. — On a mis dans le même four les boulets d'argent, de grès, de verre, de porcelaine et de gypse, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Gypse, en.....	3	En.....	14
Porcelaine, en.....	6 $\frac{1}{2}$	En.....	17
Verre, en.....	8 $\frac{3}{4}$	En.....	20
Grès, en.....	9	En.....	27
Argent, en.....	12 $\frac{1}{2}$	En.....	35

XXXII. — La même expérience répétée et les boulets chauffés à une chaleur moindre, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Gypse, en.....	3	En.....	13
Porcelaine, en.....	7	En.....	19
Verre, en.....	8 $\frac{1}{2}$	En.....	22
Grès, en.....	9 $\frac{1}{2}$	En.....	26
Argent, en.....	12	En.....	34

XXXIII. — La même expérience répétée une troisième fois, les boulets se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Gypse, en.....	3	En.....	12
Porcelaine, en.....	6	En.....	17
Verre, en.....	7 $\frac{3}{4}$	En.....	20
Grès, en.....	8	En.....	27
Argent, en.....	11 $\frac{1}{2}$	En.....	34

Il résulte de ces expériences :

1° Que le temps du refroidissement de l'argent est à celui du refroidissement du grès, au point de les tenir :: 36 : 26 $\frac{1}{2}$, et 103 : 80 pour leur entier refroidissement ;

- 2° Que le temps du refroidissement de l'argent est à celui du refroidissement du verre, au point de les tenir : : 36 : 25, et : : 103 : 62 pour leur entier refroidissement ;
- 3° Que le temps du refroidissement de l'argent est à celui du refroidissement de la porcelaine, au point de les tenir : : 36 : 20, et : : 103 : 51 pour leur entier refroidissement ;
- 4° Que le temps du refroidissement de l'argent est à celui du refroidissement du gypse, au point de les tenir : : 36 : 9, et : : 103 : 39 pour leur entier refroidissement ;
- 5° Que le temps du refroidissement du grès est à celui du refroidissement du verre, au point de les tenir : : $26\frac{1}{3}$: 25 par les expériences présentes, et : : $28\frac{1}{2}$: 27 par les expériences précédentes (art. XXIV) ; ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 55 à 52 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement ; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences, étant : : 80 : 62, et : : 90 : 70 par les expériences précédentes (art. XXIV) ; on aura, en ajoutant ces temps, 170 à 132 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du grès et du verre ;
- 6° Que le temps du refroidissement du grès est à celui du refroidissement de la porcelaine, au point de pouvoir les tenir : : $26\frac{1}{2}$: $49\frac{1}{2}$ par les présentes expériences, et : : $28\frac{1}{2}$: 21 par les expériences précédentes (art. XXIV) ; ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 55 à $40\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement ; et pour le second, le rapport par les présentes expériences étant : : 80 : 54, et : : 90 : 63 par les précédentes expériences (art. XXIV) ; on aura, en ajoutant ces temps, 170 à 120 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du grès et de la porcelaine ;
- 7° Que le temps du refroidissement du grès est à celui du refroidissement du gypse, au point de les tenir : : $26\frac{1}{2}$: 9 par les expériences présentes, et : : $28\frac{1}{2}$: $12\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. XXIV) ; ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 55 à $21\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement ; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience, étant : : 80 : 39, et : : 90 : 39 par les expériences précédentes (art. XXIV) ; on aura, en ajoutant ces temps, 170 à 78 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du grès et du gypse ;
- 8° Que le temps du refroidissement du verre est à celui du refroidissement de la porcelaine, au point de les tenir : : 25 : 19 par les présentes expériences, et : : 27 : 21 par les expériences précédentes (art. XXIV) ; ainsi en ajoutant ces temps, on aura 52 à $40\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement ; et pour le second, le rapport donné par les expériences présentes étant : : 62 : 54, et : : 70 : 66 par les expériences précédentes (art. XXIV) ; on aura, en ajoutant ces temps, 132 à 117 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du verre et de la porcelaine ;
- 9° Que le temps du refroidissement du verre est à celui du refroidissement du gypse, au point de les tenir : : 25 : 9 par les présentes expériences, et : : 27 : $12\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. XXIV) ; ainsi on aura, en ajoutant ces temps 52 à $21\frac{1}{2}$ pour le rapport encore plus précis de leur premier refroidissement ; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences, étant : : 62 : 39, et : : 70 : 39 par les expériences précédentes (art. XXIV) ; on aura, en ajoutant ces temps, 132 à 78 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du verre et du gypse ;
- 10° Que le temps du refroidissement de la porcelaine est à celui du refroidissement du gypse au point de les tenir : : $49\frac{1}{2}$: 9 par les présentes expériences, et : : 21 : $12\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. XXIV) ; ainsi on aura en ajoutant ces temps, $40\frac{1}{2}$ à $21\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement ; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente étant : : 54 : 39, et par les expériences précédentes (art. XXIV) : : 66 : 39 ; on aura, en ajoutant ces temps, 120 à 78 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de la porcelaine et du gypse.

XXXIV. — On a mis dans le même four les boulets d'or, de craie blanche, d'ocre et de glaise, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant.

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Craie, en.....	6	En.....	15
Ocre, en.....	$6\frac{1}{2}$	En.....	16
Glaise, en.....	7	En.....	18
Or, en.....	12	En.....	36

XXXV. — La même expérience répétée avec les mêmes boulets et un boulet de plomb, leur refroidissement s'est fait dans l'ordre suivant.

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Craie, en.....	$\frac{4}{2}$	En.....	11
Ocre, en.....	5	En.....	23
Glaise, en.....	$5\frac{1}{2}$	En.....	15
Plomb, en.....	7	En.....	18
Or, en.....	$9\frac{1}{2}$	En.....	29

Il résulte de ces deux expériences :

1° Que le temps du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement du plomb, au point de pouvoir les tenir : : $9\frac{1}{2} : 7$ par l'expérience présente, et : : $38 : 24$ par les expériences précédentes (art. XVI) ; ainsi on aura, en ajoutant ces temps $47\frac{1}{2}$ à 31 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement ; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente étant : : $29 : 18$, et : : $115 : 90$ par les expériences précédentes (art. XVI) ; on aura, en ajoutant ces temps, 144 à 108 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'or et du plomb ;

2° Que le temps du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement de la glaise au point de les tenir : : $21\frac{1}{2} : 12\frac{1}{2}$, et : : $65 : 33$ pour leur entier refroidissement ;

3° Que le temps du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement de l'ocre, au point de les tenir : : $21\frac{1}{2} : 14\frac{1}{2}$, et : : $65 : 29$ pour leur entier refroidissement ;

4° Que le temps du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement de la craie, au point de pouvoir les tenir : : $21\frac{1}{2} : 10$, et : : $65 : 26$ pour leur entier refroidissement ;

5° Que le temps du refroidissement du plomb est à celui du refroidissement de la glaise, au point de pouvoir les tenir : : $7 : 5\frac{1}{2}$, et : : $18 : 15$ pour leur entier refroidissement ;

6° Que le temps du refroidissement du plomb est à celui du refroidissement de l'ocre, au point de les tenir : : $7 : 5$, et : : $18 : 13$ pour leur entier refroidissement ;

7° Que le temps du refroidissement du plomb est à celui du refroidissement de la craie, au point de les tenir : : $7 : 4$, et : : $18 : 11$ pour leur entier refroidissement ;

8° Que le temps du refroidissement de la glaise est à celui du refroidissement de l'ocre, au point de pouvoir les tenir : : $12\frac{1}{2} : 11\frac{1}{2}$, et : : $33 : 29$ pour leur entier refroidissement ;

9° Que le temps du refroidissement de la glaise est à celui du refroidissement de la craie, au point de pouvoir les tenir : : $12\frac{1}{2} : 10$, et : : $33 : 26$ pour leur entier refroidissement ;

10° Que le temps du refroidissement de l'ocre est à celui du refroidissement de la craie, au point de pouvoir les tenir : : $11\frac{1}{2} : 10$, et : : $29 : 26$ pour leur entier refroidissement ;

XXXVI. — On a mis dans le même four les boulets de fer, d'argent, de gypse, de pierre ponce et de bois, mais à un degré de chaleur moindre, pour ne point faire brûler le bois, et ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Pierre ponce, en.....	2	En.....	5
Bois, en.....	2	En.....	6
Gypse, en.....	2 $\frac{1}{2}$	En.....	11
Argent, en.....	10	En.....	33
Fer, en.....	13	En.....	40

XXXVII. — La même expérience répétée à une moindre chaleur, les boulets se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Pierre ponce, en.....	1 $\frac{1}{2}$	En.....	4
Bois, en.....	2	En.....	5
Gypse, en.....	2 $\frac{1}{2}$	En.....	9
Argent, en.....	7	En.....	24
Fer, en.....	8 $\frac{1}{2}$	En.....	31

Il résulte de ces expériences :

- 1° Que le temps du refroidissement du fer est à celui du refroidissement de l'argent, au point de pouvoir les tenir : : 21 $\frac{1}{2}$: 17 par les présentes expériences, et : : 45 $\frac{1}{2}$: 34 par les expériences précédentes (art. XI); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 67 à 51 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les expériences présentes, étant : : 71 : 59, et : : 138 : 97 par les expériences précédentes (art. XI); on aura, en ajoutant ces temps, 209 à 136 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du fer et de l'argent;
- 2° Que le temps du refroidissement du fer est à celui du refroidissement du gypse, au point de pouvoir les tenir : : 21 $\frac{1}{2}$: 5, et : : 71 : 20 pour leur entier refroidissement;
- 3° Que le temps du refroidissement du fer est à celui du refroidissement du bois, au point de pouvoir les tenir : : 21 $\frac{1}{2}$: 4, et : : 71 : 11 pour leur entier refroidissement;
- 4° Que le temps du refroidissement du fer est à celui du refroidissement de la pierre ponce, au point de les tenir : : 21 $\frac{1}{2}$: 3 $\frac{1}{2}$, et : : 71 : 9 pour leur entier refroidissement;
- 5° Que le temps du refroidissement de l'argent est à celui du refroidissement du gypse, au point de les tenir : : 17 : 5, et : : 59 : 30 pour leur entier refroidissement;
- 6° Que le temps du refroidissement de l'argent est à celui du refroidissement du bois, au point de pouvoir les tenir : : 17 : 4, et : : 59 : 11 pour leur entier refroidissement;
- 7° Que le temps du refroidissement de l'argent est à celui du refroidissement de la pierre ponce, au point de pouvoir les tenir : : 17 : 3 $\frac{1}{2}$, et : : 59 : 9 pour leur entier refroidissement;
- 8° Que le temps du refroidissement du gypse est à celui du refroidissement du bois, au point de pouvoir les tenir : : 5 : 4, et : : 20 : 11 pour leur entier refroidissement;
- 9° Que le temps du refroidissement du gypse est à celui du refroidissement de la pierre ponce, au point de pouvoir les tenir : : 5 : 3 $\frac{1}{2}$, et : : 20 : 9 pour leur entier refroidissement;
- 10° Que le temps du refroidissement du bois est à celui du refroidissement de la pierre ponce, au point de les tenir : : 4 : 3 $\frac{1}{2}$, et : : 11 : 9 pour leur entier refroidissement.

XXXVIII. — Ayant fait chauffer ensemble les boulets d'or, d'argent, de pierre tendre et de gypse, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Gypse, en.....	$4\frac{1}{2}$	En.....	14
Pierre tendre, en.....	12	En.....	27
Argent, en.....	16	En.....	42
Or, en.....	18	En.....	47

Il résulte de cette expérience :

1° Que le temps du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement de l'argent, au point de pouvoir les tenir : : 18 : 16 par l'expérience présente, et : : 62 : 55 par les expériences précédentes (art. xv) ; ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 98 à 71 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement ; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente étant : : 35 : 42, et : : 487 : 459 par les expériences précédentes (art. xv) ; on aura, en ajoutant ces temps, 234 à 201 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'or et de l'argent ;

2° Que le temps du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement de la pierre tendre, au point de les tenir : : 18 : 12, et : : $39\frac{1}{2}$: 23 par les expériences précédentes (art. xxx) ; ainsi on aura, en ajoutant ces temps, $57\frac{1}{2}$ à 35 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement ; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente étant : : 47 : 27, et par les expériences précédentes (art. xxx) : : 117 : 68 ; on aura, en ajoutant ces temps, 164 à 95 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'or et de la pierre tendre ;

3° Que le temps du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement du gypse, au point de les tenir : : 18 : $4\frac{1}{2}$, et : : 38 : $12\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. xxiv) ; ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 56 à 17 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement ; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience : : 47 : 14, et : : 118 : 39 par les expériences précédentes (art. xxiv) ; on aura, en ajoutant ces temps, 165 à 53 pour le rapport encore plus précis de leur entier refroidissement ;

4° Que le temps du refroidissement de l'argent est à celui du refroidissement de la pierre tendre, au point de les tenir : : 16 : 12 par la présente expérience, et : : $45\frac{1}{2}$: 26 par les expériences précédentes (art. xxvii) ; ainsi on aura, en ajoutant ces temps, $61\frac{1}{2}$ à 38 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement ; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience étant : : 42 : 27, et : : 125 : 78 par les expériences précédentes (art. xxvii) ; on aura, en ajoutant ces temps, 167 à 105 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'argent et de la pierre tendre ;

5° Que le temps du refroidissement de l'argent est à celui du refroidissement du gypse, au point de les tenir : : 16 : $4\frac{1}{2}$ par la présente expérience, et : : 17 : 5 par les expériences précédentes (art. xxxvi) ; ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 33 à $9\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement ; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente étant : : 42 : 14, et : : 59 : 20 par les expériences précédentes (art. xxxvi) ; on aura, en ajoutant ces temps, 101 à 34 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'argent et du gypse ;

6° Que le temps du refroidissement de la pierre tendre est à celui du refroidissement du gypse, au point de les tenir : : 12 : $4\frac{1}{2}$, et : : 72 : 14 pour leur entier refroidissement.

XXXIX. — Ayant fait chauffer pendant vingt minutes, c'est-à-dire pendant un temps à peu près double de celui qu'on tenait ordinairement les boulets au feu, qui était commu-

nément de dix minutes, les boulets de fer, de cuivre, de verre, de plomb et d'étain, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Étain, en.....	10	En.....	25
Plomb, en.....	11	En.....	30
Verre, en.....	12	En.....	35
Cuivre, en.....	16 $\frac{1}{2}$	En.....	44
Fer, en.....	20 $\frac{1}{2}$	En.....	50

Il résulte de cette expérience, qui a été faite avec la plus grande précaution :

1° Que le temps du refroidissement du fer est à celui du refroidissement du cuivre, au point de les tenir : : 20 $\frac{1}{2}$: 16 $\frac{1}{2}$ par la présente expérience, et : : 161 : 138 par les expériences précédentes (art. XXI); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 181 $\frac{1}{2}$ à 154 $\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente étant : : 50 : 44, et : : 466 : 405 par les expériences précédentes (art. XXI); on aura, en ajoutant ces temps, 516 à 449 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du fer et du cuivre;

2° Que le temps du refroidissement du fer est à celui du refroidissement du verre, au point de pouvoir les tenir : : 20 $\frac{1}{2}$: 12 par l'expérience précédente, et : : 62 : 35 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. XXI); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 82 $\frac{1}{2}$ à 46 pour le rapport encore plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente étant : : 50 : 35, et : : 186 : 97 par les expériences précédentes (art. XXI); on aura, en ajoutant ces temps, 236 à 132 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du fer et du verre;

3° Que le temps du refroidissement du fer est à celui du refroidissement du plomb, au point de pouvoir les tenir : : 20 $\frac{1}{2}$: 11 par la présente expérience, et : : 53 $\frac{1}{2}$: 27 par les expériences précédentes (art. IV); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 74 à 38 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience étant : : 50 : 30, et : : 142 : 94 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. IV); on aura, en ajoutant ces temps, 192 à 124 $\frac{1}{2}$ pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du fer et du plomb;

4° Que le temps du refroidissement du fer est à celui du refroidissement de l'étain, au point de pouvoir les tenir : : 20 $\frac{1}{2}$: 10, et : : 131 : 64 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. XXI); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 152 à 74 $\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente étant : : 50 : 25, et : : 460 : 226 par les expériences précédentes (art. XXI); on aura, en ajoutant ces temps, 510 à 251 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du fer et de l'étain;

5° Que le temps du refroidissement du cuivre est à celui du refroidissement du verre, au point de pouvoir les tenir : : 16 $\frac{1}{2}$: 12 par la présente expérience, et : : 52 $\frac{1}{2}$: 34 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. XXI); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 69 à 46 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience étant : : 44 : 35, et : : 157 : 97 par les expériences précédentes (art. XXI); on aura, en ajoutant ces temps, 201 à 132 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du cuivre et du verre;

6° Que le temps du refroidissement du cuivre est à celui du refroidissement du plomb, au point de les tenir : : 16 $\frac{1}{2}$: 11 par la présente expérience, et : : 45 : 27 par les expériences précédentes (art. V); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 61 $\frac{1}{2}$ à 38 pour le rap-

port plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience étant : : 44 : 30, et : : 125 : 94 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. v); on aura, en ajoutant ces temps, 169 à 124 $\frac{1}{2}$ pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du cuivre et du plomb;

7° Que le temps du refroidissement du cuivre est à celui du refroidissement de l'étain, au point de les tenir : : 16 $\frac{1}{2}$: 10 par l'expérience présente, et : : 136 $\frac{1}{2}$: 76 par les expériences précédentes (art. XXI); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 153 à 86 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience étant : : 44 : 25, et : : 304 : 224 par les expériences précédentes (art. XXI); on aura, en ajoutant ces temps, 348 à 249 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du cuivre et de l'étain;

8° Que le temps du refroidissement du verre est à celui du refroidissement du plomb, au point de pouvoir les tenir : : 12 : 11, et : : 35 : 30 pour leur entier refroidissement;

9° Que le temps du refroidissement du verre est à celui du refroidissement de l'étain, au point de les tenir : : 12 : 10 par la présente expérience, et : : 34 $\frac{1}{2}$: 32 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. XXI); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 46 à 42 $\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente étant : : 35 : 25, et : : 97 : 92 par les expériences précédentes (art. XXI); on aura, en ajoutant ces temps, 132 à 117 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du verre et de l'étain;

10° Que le temps du refroidissement du plomb est à celui du refroidissement de l'étain, au point de les tenir : : 11 : 10 par la présente expérience, et : : 25 $\frac{1}{2}$: 21 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. VIII); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 36 $\frac{1}{2}$ à 31 $\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience étant : : 30 : 25, et : : 79 $\frac{1}{2}$: 64 par les expériences précédentes (art. VIII); on aura, en ajoutant ces temps, 109 $\frac{1}{2}$ à 89 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du plomb et de l'étain.

XL. — Ayant mis chauffer ensemble les boulets de cuivre, de zinc, de bismuth, d'étain et d'antimoine, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Antimoine, en.....	8	En.....	24
Bismuth, en.....	8	En.....	23
Étain, en.....	8 $\frac{1}{2}$	En.....	25
Zinc, en.....	22	En.....	30
Cuivre, en.....	14	En.....	40

XLI. — La même expérience répétée, les boulets se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Antimoine, en.....	8	En.....	23
Bismuth, en.....	8	En.....	24
Étain, en.....	9 $\frac{1}{2}$	En.....	25
Zinc, en.....	12	En.....	38
Cuivre, en.....	11	En.....	40

Il résulte de ces deux expériences :

1° Que le temps du refroidissement du cuivre est à celui du refroidissement du zinc, au point de les tenir : : 28 : 24, et : : 80 : 68 pour leur entier refroidissement :

2° Que le temps du refroidissement du cuivre est à celui du refroidissement de l'étain, au point de les tenir : : 28 : 18 par les présentes expériences, et : : 153 : 86 par les expériences précédentes (art. XXXIX); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 181 à 104 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience étant : : 80 : 47, et par les expériences précédentes (art. XXXIX) : : 348 : 249; on aura, en ajoutant ces temps, 428 à 296 pour le rapport plus précis de l'entier refroidissement du cuivre et de l'étain;

3° Que le temps du refroidissement du cuivre est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de pouvoir les tenir : : 28 : 16, et : : 80 : 47 pour leur entier refroidissement;

4° Que le temps du refroidissement du cuivre est à celui du refroidissement du bismuth, au point de les tenir : : 28 : 16, et : : 80 : 47 pour leur entier refroidissement;

5° Que le temps du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement de l'étain, au point de les tenir : 24 : 18, et : : 68 : 47 pour leur entier refroidissement;

6° Que le temps du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de les tenir : : 24 : 16 par les présentes expériences, et : : 73 : 39 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. XVII); ainsi, en ajoutant ces temps, on aura 97 à 55 $\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les expériences présentes : : 68 : 47, et : : 220 : 155 par les expériences précédentes (art. XVII); on aura, en ajoutant ces temps, 288 à 292 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du zinc et de l'antimoine;

7° Que le temps du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement du bismuth, au point de pouvoir les tenir : : 24 : 16, et : : 59 : 35 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. XVII); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 83 à 51 $\frac{1}{2}$ pour le second rapport encore plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience étant : : 68 : 47, et : : 176 : 140 par les expériences précédentes (art. XVII); on aura, en ajoutant ces temps, 244 à 187 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du zinc et du bismuth;

8° Que le temps du refroidissement de l'étain est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de les tenir : : 18 : 16, et : : 50 : 47 pour leur entier refroidissement;

9° Que le temps du refroidissement de l'étain est à celui du refroidissement du bismuth, au point de les tenir : : 18 : 16, et : : 50 : 47 pour leur entier refroidissement;

10° Que le temps du refroidissement du bismuth est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de pouvoir les tenir : : 16 : 16 par la présente expérience, et : : 35 $\frac{1}{2}$: 32 par les expériences précédentes (art. XVII); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 51 $\frac{1}{2}$ à 48 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente étant : : 47 : 47, et par les expériences précédentes (art. XVII) : : 140 : 127, on aura, en ajoutant ces temps, 187 à 174 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du bismuth et de l'antimoine.

XLII. — Ayant fait chauffer ensemble les boulets d'or, d'argent, de fer, d'émeril et de pierre dure, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Pierre calcaire dure, en.....	11 $\frac{1}{6}$	En.....	32
Argent, en.....	13	En.....	37
Or, en.....	14	En.....	40
Émeril, en.....	15 $\frac{1}{2}$	En.....	46
Fer, en.....	17	En.....	51

Il résulte de cette expérience :

1° Que le temps du refroidissement du fer est à celui du refroidissement de l'émeril, au point de pouvoir les tenir : : 17 : 15 $\frac{1}{2}$, et : : 51 : 46 pour leur entier refroidissement ;

2° Que le temps du refroidissement du fer est à celui du refroidissement de l'or, au point de pouvoir les tenir : : 17 : 14 par la présente expérience, et : : 45 $\frac{1}{2}$: 37 par les expériences précédentes (art. XI) ; ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 62 $\frac{1}{2}$ à 51 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement ; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience étant : : 51 : 40, et : : 138 : 114 par les expériences précédentes (art. XI) ; on aura, en ajoutant ces temps, 189 à 154 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du fer et de l'or ;

3° Que le temps du refroidissement du fer est à celui du refroidissement de l'argent, au point de les tenir : : 17 : 13 par la présente expérience et : : 67 : 51 par les expériences précédentes (art. XXXVII) ; ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 84 à 64 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement ; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience étant : : 51 : 37, et : : 209 : 156 par les expériences précédentes (art. XXXVII) ; on aura, en ajoutant ces temps, 260 à 193 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du fer et de l'argent ;

4° Que le temps du refroidissement du fer est à celui du refroidissement de la pierre dure, au point de les tenir : : 17 : 11 $\frac{1}{4}$, et : : 51 : 52 pour leur entier refroidissement ;

5° Que le temps du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement de l'or, au point de les tenir : : 15 $\frac{1}{2}$: 14 par la présente expérience, et : : 44 : 38 par les expériences précédentes (art. XVI) ; ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 59 $\frac{1}{2}$ à 52 pour le rapport encore plus précis de leur premier refroidissement ; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience étant : : 46 : 40, et : : 131 : 115 par les expériences précédentes (art. XVI) ; on aura, en ajoutant ces temps, 177 à 115 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'émeril et de l'or ;

6° Que le temps du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement de l'argent, au point de pouvoir les tenir : : 15 $\frac{1}{2}$: 13 par la présente expérience, et : : 43 : 32 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. XVII) ; ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 58 $\frac{1}{2}$ à 45 $\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis du premier refroidissement de l'émeril et de l'argent ; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience étant : : 46 : 37, et : : 125 : 98 par les expériences précédentes (art. XVII) ; on aura, en ajoutant ces temps, 171 à 135 pour le rapport encore plus précis de leur entier refroidissement ;

7° Que le temps du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement de la pierre dure, au point de les tenir : : 15 $\frac{1}{2}$: 12, et : : 46 : 32 pour leur entier refroidissement ;

8° Que le temps du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement de l'argent, au point de les tenir : : 14 : 13 par la présente expérience, et : : 80 : 71 par les expériences précédentes (art. XXXVIII) ; ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 94 à 84 pour le rapport encore plus précis de leur premier établissement ; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience étant : : 40 : 37, et : : 234 : 201 par les expériences précédentes (art. XXXVIII) ; on aura, en ajoutant ces temps, 274 à 238 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'or et de l'argent ;

9° Que le temps du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement de la pierre dure, au point de les tenir : : 14 : 12 par la présente expérience, et : : 39 $\frac{1}{2}$: 27 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. XXX) ; ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 53 $\frac{1}{2}$ à 39 $\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement ; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience étant : : 40 : 32, et : : 117 : 86 par les expériences précédentes (art. XXX) ; on aura, en ajoutant ces temps, 157 à 118 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'or et de la pierre dure ;

10° Que le temps du refroidissement de l'argent est à celui du refroidissement de la pierre dure, au point de pouvoir les tenir :: 43 : 12 par la présente expérience, et :: 45 $\frac{1}{2}$: 31 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. XXVII); ainsi en ajoutant ces temps, on aura 58 $\frac{1}{2}$ à 43 $\frac{1}{2}$ pour le rapport encore plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente étant :: 37 : 32, et :: 125 : 107 par les expériences précédentes (art. XXVIII); on aura, en ajoutant ces temps, 162 à 139 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'argent et de la pierre dure.

XLIII. — Ayant fait chauffer ensemble les boulets de plomb, de fer, de marbre blanc, de grès, de pierre tendre, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Pierre calcaire tendre, en.....	6 $\frac{1}{2}$	En.....	20
Plomb, en.....	8	En.....	29
Grès, en.....	8 $\frac{1}{2}$	En.....	29
Marbre blanc, en.....	10 $\frac{1}{2}$	En.....	29
Fer, en.....	16	En.....	43

XVIV. — La même expérience répétée, les boulets se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Pierre calcaire tendre, en.....	7	En.....	21
Plomb, en.....	8	En.....	28
Grès, en.....	8 $\frac{1}{2}$	En.....	28
Marbre blanc, en.....	10 $\frac{1}{2}$	En.....	30
Fer, en.....	16	En.....	45

Il résulte de ces deux expériences :

1° Que le temps du refroidissement du fer est à celui du refroidissement du marbre blanc, au point de les tenir :: 31 : 21, et :: 88 : 59 pour leur entier refroidissement;

2° Que le temps du refroidissement du fer est à celui du refroidissement du grès, au point de les tenir :: 31 : 17 par la présente expérience, et :: 53 $\frac{1}{2}$: 32 par les expériences précédentes (art. IV); ainsi on aura, en ajoutant ces temps 84 $\frac{1}{2}$ à 49 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience étant :: 88 : 57, et :: 142 : 102 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. IV); on aura, en ajoutant ces temps, 230 à 59 $\frac{1}{2}$ pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du fer et du grès;

3° Que le temps du refroidissement du fer est à celui du refroidissement du plomb, au point de pouvoir les tenir :: 31 : 16 par les expériences présentes, et :: 74 : 38 par les expériences précédentes (art. XXXIX); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 105 à 54 pour le rapport encore plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les expériences présentes étant :: 88 : 57, et :: 192 : 124 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. XXXIX); on aura, en ajoutant ces temps, 280 à 181 $\frac{1}{2}$ pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du fer et du plomb;

4° Que le temps du refroidissement du fer est à celui du refroidissement de la pierre tendre, au point de pouvoir les tenir :: 31 : 13, et :: 88 : 41 pour leur entier refroidissement;

5° Que le temps du refroidissement du marbre blanc est à celui du refroidissement du grès, au point de les tenir : : 21 : 17, et : : 59 : 57 pour leur entier refroidissement;

6° Que le temps du refroidissement du marbre blanc est à celui du refroidissement du plomb, au point de les tenir : : 21 : 16, et : : 59 : 57 pour leur entier refroidissement;

7° Que le temps du refroidissement du marbre blanc est à celui du refroidissement de la pierre calcaire tendre, au point de les tenir : : 21 : $13\frac{1}{2}$ par les présentes expériences, et : : 32 : 23 par les expériences précédentes (art. XXX); ainsi, en ajoutant ces temps, on aura 53 à $36\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les expériences présentes étant : : 59 : 41, et : : 92 : 68 par les expériences précédentes (art. XXX); on aura, en ajoutant ces temps, 151 à 159 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du marbre blanc et de la pierre calcaire tendre;

8° Que le temps du refroidissement du grès est à celui du refroidissement du plomb, au point de les tenir : : 17 : 16 par les expériences présentes, et : : $42\frac{1}{2}$: $35\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. VIII); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, $59\frac{1}{2}$ à $51\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement, et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences étant : : 57 : 57, et : : 130 : $121\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. VIII); on aura, en ajoutant ces temps, 187 à $178\frac{1}{2}$ pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du grès et du plomb;

9° Que le temps du refroidissement du grès est à celui du refroidissement de la pierre tendre, au point de pouvoir les tenir : : 17 : $13\frac{1}{2}$, et : : 57 : 41 pour leur entier refroidissement;

10° Que le temps du refroidissement du plomb est à celui du refroidissement de la pierre tendre, au point de les tenir : : 16 : $13\frac{1}{2}$, et : : 57 : 41 pour leur entier refroidissement;

XLV. — On a fait chauffer ensemble les boulets de gypse, d'ocre, de craie, de glaise et de verre, et voici l'ordre dans lequel ils se sont refroidis :

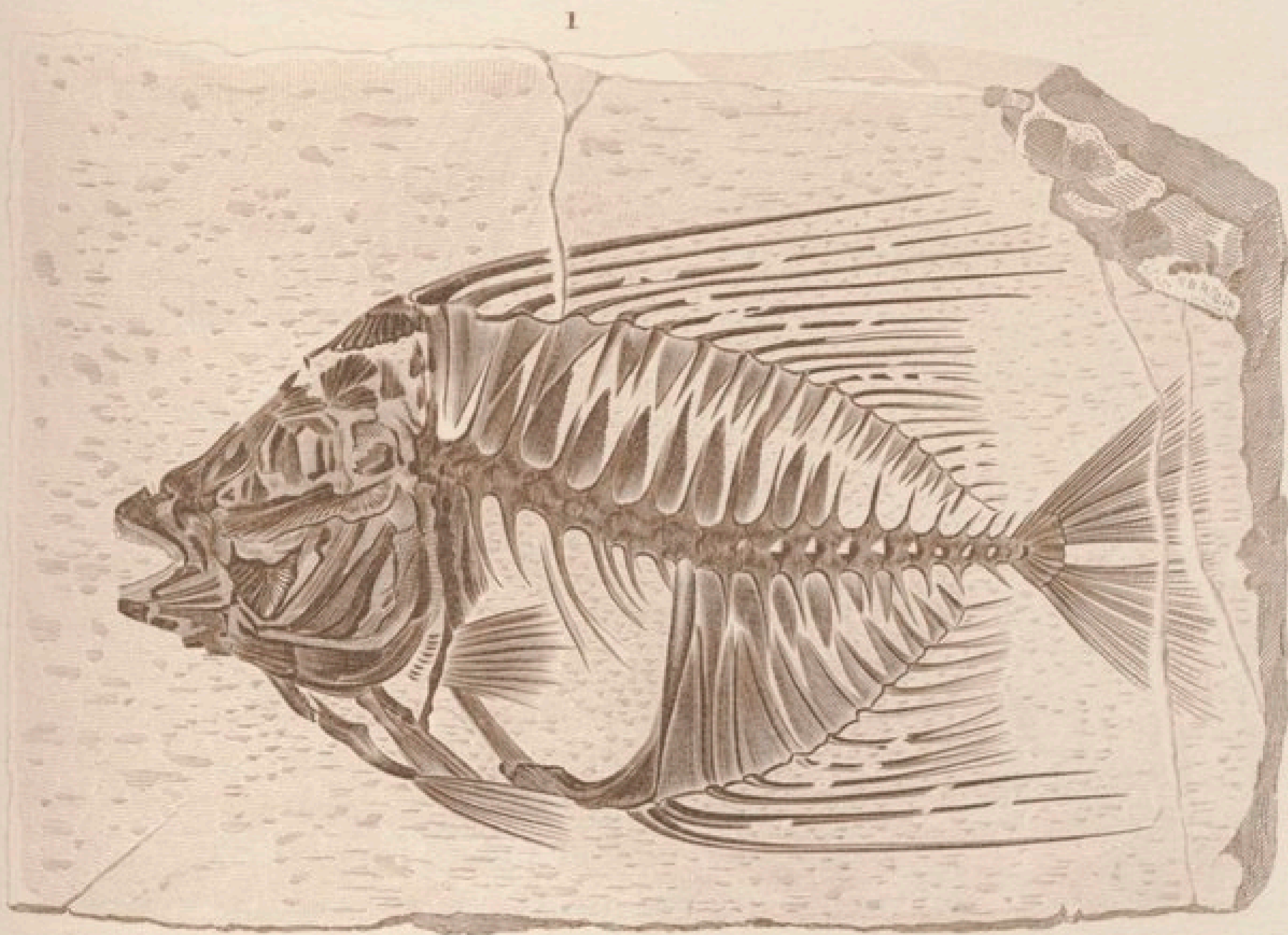
<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Gypse, en.....	$3\frac{1}{2}$	En.....	15
Ocre, en.....	$5\frac{1}{2}$	En.....	16
Craie, en.....	$5\frac{1}{2}$	En.....	16
Glaise, en.....	7	En.....	18
Verre, en.....	$8\frac{1}{2}$	En.....	24

XLVI. — La même expérience répétée, les boulets se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Gypse, en.....	$3\frac{1}{2}$	En.....	14
Ocre, en.....	$5\frac{1}{2}$	En.....	16
Craie, en.....	$5\frac{1}{2}$	En.....	16
Glaise, en.....	$6\frac{1}{2}$	En.....	18
Verre, en.....	8	En.....	22

Il résulte de ces deux expériences :

1° Que le temps du refroidissement du verre est à celui du refroidissement de la glaise au point de les tenir : : $16\frac{1}{2}$: $13\frac{1}{2}$, et : : 46 : 36 pour leur entier refroidissement;



Oudart pinx.

Imp. R. Taneur.

Fournier sc.

- | | |
|-------------------------------------|------------------|
| 1. ACANTHONEMUS filamentosus. Agas. | } DE MONTE BOLEA |
| 2. SEMIOPHORUS velifer. Agassiz. | |

A. Le Vasseur. Editeur.

2° Que le temps du refroidissement du verre est à celui du refroidissement de la craie, au point de les tenir :: $46 \frac{1}{2} : 11$, et :: $46 : 32$ pour leur entier refroidissement;

3° Que le temps du refroidissement du verre est à celui du refroidissement de l'ocre, au point de les tenir :: $46 \frac{1}{2} : 11$, et :: $46 : 32$ pour leur entier refroidissement;

4° Que le temps du refroidissement du verre est à celui du refroidissement du gypse, au point de pouvoir les tenir :: $46 \frac{1}{2} : 7$ par la présente expérience, et :: $52 : 21 \frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. xxxiii); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, $68 \frac{1}{2}$ à $28 \frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les expériences présentes étant :: $46 : 29$, et :: $32 : 70$ par les expériences précédentes (art. xxxiii); on aura, en ajoutant ces temps, 178 à 107 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du verre et du gypse;

5° Que le temps du refroidissement de la glaise est à celui du refroidissement de la craie, au point de les tenir :: $43 \frac{1}{2} : 11$ par la présente expérience, et :: $42 \frac{1}{2} : 10$ par les expériences précédentes (art. xxxv); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 26 à 21 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les précédentes expériences étant :: $36 : 32$, et :: $33 : 26$ par les expériences précédentes (art. xxxv); on aura, en ajoutant ces temps, 69 à 58 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de la glaise et de la craie;

6° Que le temps du refroidissement de la glaise est à celui du refroidissement de l'ocre, au point de les tenir :: $43 \frac{1}{2} : 11$ par les précédentes expériences, et :: $42 \frac{1}{2} : 11 \frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. xxxv); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 26 à $22 \frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences étant :: $36 : 32$, et :: $33 : 29$ par les expériences précédentes (art. xxxv); on aura, en ajoutant ces temps, 69 à 61 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de la glaise et de l'ocre;

7° Que le temps du refroidissement de la glaise est à celui du refroidissement du gypse, au point de les tenir :: $43 \frac{1}{2} : 17$, et :: $36 : 29$ pour leur entier refroidissement;

8° Que le temps du refroidissement de la craie est à celui du refroidissement de l'ocre, au point de les tenir :: $41 : 11$ par les présentes expériences, et :: $40 : 11 \frac{1}{2}$ par les précédentes expériences (art. xxxv); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 21 à $22 \frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les expériences présentes, étant :: $32 : 32$, et :: $26 : 29$ par les expériences précédentes (art. xxxv); on aura, en ajoutant ces temps, 58 à 61 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de la craie et de l'ocre;

9° Que le temps du refroidissement de la craie est à celui du refroidissement du gypse, au point de les tenir :: $41 : 7$, et :: $32 : 29$ pour leur entier refroidissement;

10° Que le temps du refroidissement de l'ocre est à celui du refroidissement du gypse, au point de les tenir :: $41 : 7$, et :: $32 : 29$ pour leur entier refroidissement.

XLVII. — Ayant fait chauffer ensemble les boulets de zinc, d'étain, d'antimoine, de grès et de marbre blanc, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Antimoine, en.....	6	En.....	16
Étain, en.....	$6 \frac{1}{2}$	En.....	20
Grès, en.....	8	En.....	26
Marbre blanc, en.....	$9 \frac{1}{2}$	En.....	29
Zinc, en.....	$11 \frac{1}{2}$	En.....	35

XLVIII. — La même expérience répétée, les boulets se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Antimoine, en.....	5	En.....	13
Étain, en.....	6	En.....	16
Grès, en... ..	7	En.....	24
Marbre blanc, en.....	8	En.....	24
Zinc, en.....	9 $\frac{1}{2}$	En.....	30

Il résulte de ces deux expériences :

1° Que le temps du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement du marbre blanc, au point de les tenir :: 21 : 17 $\frac{1}{2}$, et :: 65 : 53 pour leur entier refroidissement;

2° Que le temps du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement du grès, au point de les tenir :: 21 : 15, et :: 65 : 47 pour leur entier refroidissement;

3° Que le temps du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement de l'étain, au point de les tenir :: 21 : 12 $\frac{1}{2}$ par les présentes expériences, et :: 24 : 18 par les expériences précédentes (art. XLI); ainsi, en ajoutant ces temps, on aura 45 à 30 $\frac{1}{2}$ pour le rapport encore plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les expériences présentes étant :: 65 : 36, et par les expériences précédentes (art. XLI) :: 68 : 47; on aura, en ajoutant ces temps, 133 à 83 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du zinc et de l'étain;

4° Que le temps du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de les tenir :: 21 : 12 par les présentes expériences, et :: 73 : 39 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. XVII); ainsi, en ajoutant ces temps, on aura 94 à 50 $\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences étant :: 65 : 29, et :: 220 : 155 par les expériences précédentes (art. XVII); on aura, en ajoutant ces temps, 285 à 184 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du zinc et de l'antimoine;

5° Que le temps du refroidissement du marbre blanc est à celui du refroidissement du grès, au point de pouvoir les tenir :: 17 $\frac{1}{2}$: 15 par les présentes expériences, et :: 21 : 17 par les expériences précédentes (art. XLIV); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 38 $\frac{1}{2}$ à 32 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences étant :: 53 : 47, et :: 59 : 57 par les expériences précédentes (art. XLIV); on aura, en ajoutant ces temps, 112 à 104 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du marbre blanc et du grès;

6° Que le temps du refroidissement du marbre blanc est à celui du refroidissement de l'étain, au point de les tenir :: 17 $\frac{1}{2}$: 12 $\frac{1}{2}$, et :: 53 : 36 pour leur entier refroidissement;

7° Que le temps du refroidissement du marbre blanc est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de les tenir :: 17 $\frac{1}{2}$: 11, et :: 53 : 36 pour leur entier refroidissement;

8° Que le temps du refroidissement du grès est à celui du refroidissement de l'étain, au point de les tenir :: 15 : 12 $\frac{1}{2}$ par les présentes expériences, et :: 30 : 21 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. VIII); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 45 à 34 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences étant :: 47 : 36, et :: 84 : 64 par les expériences précédentes (art. VIII); on aura, en ajoutant ces temps, 131 à 100 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du grès et de l'étain;

9° Que le temps du refroidissement du grès est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de les tenir :: 15 : 11, et :: 47 : 29 pour leur entier refroidissement;

4° Que le temps du refroidissement de l'étain est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de pouvoir les tenir :: $12\frac{1}{2}$: 41 par les présentes expériences, et :: 18 : 46 par les expériences précédentes (art. XL); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, $30\frac{1}{2}$ à 27 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les expériences présentes étant :: 36 : 29, et :: 47 : 47 par les expériences précédentes (art. LX); on aura, en ajoutant ces temps, 83 à 76 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'étain et de l'antimoine.

XLIX. — On a fait chauffer ensemble les boulets de cuivre, d'émeril, de bismuth, de glaise et d'ocre, et ils se sont refroidis dans l'ordre suivant:

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Ocre, en.....	6	En.....	18
Bismuth, en.....	7	En.....	22
Glaise, en.....	7	En.....	23
Cuivre, en.....	43	En.....	36
Émeril, en.....	$15\frac{1}{2}$	En.....	43

L. — La même expérience répétée, les boulets se sont refroidis dans l'ordre suivant:

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Ocre, en.....	$5\frac{1}{2}$	En.....	13
Bismuth, en.....	6	En.....	18
Glaise, en.....	6	En.....	19
Cuivre, en.....	40	En.....	30
Émeril, en.....	$41\frac{1}{2}$	En.....	38

Il résulte de ces deux expériences :

1° Que le temps du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement du cuivre, au point de les tenir :: 27 : 23, et :: 81 : 66 pour leur entier refroidissement;

2° Que le temps du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement de la glaise, au point de les tenir :: 27 : 13, et :: 81 : 42 pour leur entier refroidissement;

3° Que le temps du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement du bismuth, au point de les tenir :: 27 : 43 par les présentes expériences, et :: 71 : $35\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. XVII); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 98 à $48\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les expériences présentes étant :: 81 : 40, et par les expériences précédentes (art. XVII) :: 216 : 140; on aura, en ajoutant ces temps, 297 à 180 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'émeril et du bismuth;

4° Que le temps du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement de l'ocre, au point de les tenir :: 27 : $11\frac{1}{2}$, et :: 81 : 31 pour leur entier refroidissement;

5° Que le temps du refroidissement du cuivre est à celui du refroidissement de la glaise, au point de les tenir :: 23 : 13, et :: 66 : 42 pour leur entier refroidissement;

6° Que le temps de refroidissement du cuivre est à celui du refroidissement du bismuth, au point de pouvoir tenir :: 23 : 13 par les présentes expériences, et :: 28 : 16 par les expériences précédentes (art. XLI); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 51 à 39 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences étant :: 66 : 40, et :: 80 : 47 par les expériences précédentes (art. XLI); on aura, en ajoutant ces temps, 146 à 87 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du cuivre et du bismuth;

7° Que le temps du refroidissement du cuivre est à celui du refroidissement de l'ocre, au point de les tenir : : $33 : 44\frac{1}{2}$, et : : $66 : 31$ pour leur entier refroidissement ;

8° Que le temps du refroidissement de la glaise est à celui du refroidissement du bismuth, au point de pouvoir les tenir : : $43 : 43$, et : : $42 : 41$ pour leur entier refroidissement ;

9° Que le temps du refroidissement de la glaise est à celui du refroidissement de l'ocre, au point de les tenir : : $43 : 41\frac{1}{2}$ par les expériences présentes, et : : $26 : 22\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. XLVI) ; ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 39 à 34 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement ; et pour le second, le rapport donné par les expériences présentes étant : : $42 : 31$, et : : $69 : 61$ par les expériences précédentes (art. XLVI) ; on aura, en ajoutant ces temps, 111 à 92 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de la glaise et de l'ocre ;

10° Que le temps du refroidissement du bismuth est à celui du refroidissement de l'ocre, pour pouvoir les tenir : : $43 : 41\frac{1}{2}$, et : : $42 : 31$ pour leur entier refroidissement.

LI. — Ayant fait chauffer ensemble les boulets de fer, de zinc, de bismuth, de glaise et de craie, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Craie, en.....	$6\frac{1}{2}$	En.....	48
Bismuth, en.....	7	En.....	49
Glaise, en.....	8	En.....	20
Zinc, en.....	15	En.....	25
Fer, en.....	19	En.....	45

LII. — La même expérience répétée, les boulets se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Craie, en.....	7	En.....	20
Bismuth, en.....	$7\frac{1}{2}$	En.....	21
Glaise, en.....	9	En.....	24
Zinc, en.....	16	En.....	34
Fer, en.....	$21\frac{1}{2}$	En.....	53

On peut conclure de ces deux expériences :

1° Que le temps du refroidissement du fer est à celui du refroidissement du zinc, au point de les tenir : : $40\frac{1}{2} : 31$, et : : $98 : 59$ pour leur entier refroidissement ;

2° Que le temps du refroidissement du fer est à celui du refroidissement du bismuth, au point de les tenir : : $40\frac{1}{2} : 44\frac{1}{2}$, et : : $98 : 40$ pour leur entier refroidissement ;

3° Que le temps du refroidissement du fer est à celui du refroidissement de la glaise, au point de les tenir : : $40\frac{1}{2} : 17$, et : : $98 : 44$ pour leur entier refroidissement ;

4° Que le temps du refroidissement du fer est à celui du refroidissement de la craie, au point de les tenir : : $40\frac{1}{2} : 12\frac{1}{2}$, et : : $98 : 38$ pour leur entier refroidissement ;

5° Que le temps du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement du bismuth, au point de les tenir : : $31 : 44\frac{1}{2}$ par les présentes expériences, et : : $34\frac{1}{2} : 20\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. xv) ; ainsi on aura, en ajoutant ces temps, $65\frac{1}{2}$ à 35 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement ; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences étant : : $59 : 40$, et : : $400 : 80$ par les expériences précédentes (art. xv) ; on aura, en ajoutant ces temps, 459 à 420 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du zinc et du bismuth ;

6° Que le temps du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement de la glaise, au point de les tenir :: 31 : 17, et :: 59 : 44 pour leur entier refroidissement;

7° Que le temps du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement de la craie, au point de les tenir :: 31 : $12\frac{1}{2}$, est :: 59 : 39 pour leur entier refroidissement;

8° Que le temps du refroidissement du bismuth est à celui du refroidissement de la glaise, au point de les tenir :: $14\frac{1}{2}$: 17 par les présentes expériences, et :: 13 : 13 par les expériences précédentes (art. L); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, $27\frac{1}{2}$ à 30 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les expériences présentes étant :: 40 : 44, et :: 41 : 42 par les expériences précédentes (art. L); on aura, en ajoutant ces temps, 81 à 86 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du bismuth et de la glaise;

9° Que le temps du refroidissement du bismuth est à celui du refroidissement de la craie, au point de les tenir :: $14\frac{1}{2}$: $13\frac{1}{2}$, et :: 40 : 38 pour leur entier refroidissement;

10° Que le temps du refroidissement de la glaise est à celui du refroidissement de la craie, au point de les tenir :: 17 : $13\frac{1}{2}$ par les expériences présentes, et :: 26 : 21 par les expériences précédentes (art. XLVI); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 43 à $34\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences étant :: 44 : 38, et :: 69 : 58 par les expériences précédentes (art. XLVI); on aura, en ajoutant ces temps, 113 à 96 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de la glaise et de la craie.

LIII. — Ayant fait chauffer ensemble les boulets d'émeril, de verre, de pierre calcaire dure et de bois, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Bois, en.....	$2\frac{1}{2}$	En.....	15
Verre, en.....	$9\frac{1}{2}$	En.....	28
Grès, en.....	11	En.....	34
Pierre calcaire dure, en.....	12	En.....	36
Émeril, en.....	15	En.....	47

LIV. — La même expérience répétée, les boulets se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Bois, en.....	2	En.....	13
Verre, en.....	$7\frac{1}{2}$	En.....	21
Grès, en.....	8	En.....	24
Pierre dure, en.....	$8\frac{1}{2}$	En.....	26
Émeril, en.....	14	En.....	42

Il résulte de ces deux expériences :

1° Que le temps du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement de la pierre dure, au point de les tenir :: 29 : $20\frac{1}{2}$ par les présentes expériences, et :: $45\frac{1}{2}$: 42 par les expériences précédentes (art. XLII); ainsi, en ajoutant ces temps, on aura $44\frac{1}{2}$ à $32\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences étant :: 89 : 62, et :: 46 : 32 par les expériences précédentes (art. XLII); on aura, en ajoutant ces temps, 135 à 94 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'émeril et de la pierre dure;

2° Que le temps du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement du grès, au point de les tenir : 29 · 19, et :: 89 · 58 pour leur entier refroidissement;

3° Que le temps du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement du verre, au point de les tenir : : 29 : 17, et : : 89 : 49 pour leur entier refroidissement ;

4° Que le temps du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement du bois, au point de les tenir : : 29 : $4\frac{1}{2}$, et : : 89 : 28 pour leur entier refroidissement ;

5° Que le temps du refroidissement de la pierre dure est à celui du refroidissement du grès, au point de les tenir : : $20\frac{1}{2}$: 19, et : : 62 : 58 pour leur entier refroidissement ;

6° Que le temps du refroidissement de la pierre dure est à celui du refroidissement du verre, au point de les tenir : : $20\frac{1}{2}$: 17, et : : 62 : 49 pour leur entier refroidissement ;

7° Que le temps du refroidissement de la pierre dure est à celui du refroidissement du bois, au point de les tenir : : $20\frac{1}{2}$: $4\frac{1}{2}$, et : : 62 : 28 pour leur entier refroidissement ;

8° Que le temps du refroidissement du grès est à celui du refroidissement du verre, au point de les tenir : : 49 : 17 par les présentes expériences, et : : 53 : 52 par les expériences précédentes (art. XXXIII) ; ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 74 à 69 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement ; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences étant : : 58 : 49, et : : 170 : 132 par les expériences précédentes (art. XXXIII) ; on aura, en ajoutant ces temps, 228 à 181 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du grès et du verre ;

9° Que le temps du refroidissement du grès est à celui du refroidissement du bois, au point de pouvoir les tenir : : 15 : $4\frac{1}{2}$, et : : 58 : 28 pour leur entier refroidissement ;

10° Que le temps du refroidissement du verre est à celui du refroidissement du bois, au point de les tenir : : 17 : $4\frac{1}{2}$, et 49 : 28 pour leur entier refroidissement.

LV. — Ayant fait chauffer ensemble les boulets d'or, d'étain, d'émeril, de gypse et de craie, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Gypse, en.....	5	En.....	15
Craie, en.....	$7\frac{1}{2}$	En.....	21
Étain, en.....	$11\frac{1}{2}$	En.....	30
Or, en.....	16	En.....	41
Émeril, en.....	20	En.....	49

LVI. — La même expérience répétée, les boulets se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Gypse, en.....	$\frac{4}{2}$	En.....	13
Craie, en.....	$6\frac{1}{2}$	En.....	18
Étain, en.....	10	En.....	27
Or, en.....	15	En.....	40
Émeril, en.....	18	En.....	46

On peut conclure de ces expériences :

1° Que le temps du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement de l'or, au point de les tenir : : 38 : 31 par les expériences présentes ; et : : $59\frac{1}{2}$: 52 par les expériences précédentes (art. XLII) ; ainsi on aura, en ajoutant ces temps, $97\frac{1}{2}$ à 83 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement ; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences étant : : 95 : 81, et : : 166 : 155 par les expériences précédentes (art. XLII), on aura, en ajoutant ces temps, 261 à 336 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'émeril et de l'or ;

2° Que le temps du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement de l'étain, au point de les tenir : : 38 : 21 $\frac{1}{2}$, et : : 95 : 57 pour leur entier refroidissement ;

3° Que le temps du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement de la craie, au point de les tenir : : 38 : 14, et : : 95 : 39 pour leur entier refroidissement ;

4° Que le temps du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement du gypse, au point de les tenir : : 38 : 9, et : : 95 : 28 pour leur entier refroidissement ;

5° Que le temps du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement de l'étain, au point de les tenir : : 31 : 32 par les présentes expériences, et : : 37 : 21 par les expériences précédentes (art. XI); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 68 à 43 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences étant : : 81 : 57, et : : 114 : 61 par les expériences précédentes (art. XI); on aura, en ajoutant ces temps, 195 à 118 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'or et de l'étain ;

6° Que le temps du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement de la craie, au point de les tenir : : 31 : 14 par les présentes expériences, et : : 21 $\frac{1}{2}$: 10 par les expériences précédentes (art. XXXV); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 52 $\frac{1}{2}$ à 24 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences étant : : 81 : 39, et : : 65 : 26 par les expériences précédentes (art. XXXV); on aura, en ajoutant ces temps, 146 à 65 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'or et de la craie ;

7° Que le temps du refroidissement de l'or est à celui du gypse, au point de pouvoir les tenir : : 31 : 9 par les présentes expériences, et : : 56 : 17 par les expériences précédentes (art. XXXVIII); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 87 à 26 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences étant : : 81 : 28, et : : 165 : 53 par les expériences précédentes (art. XXXVIII), on aura, en ajoutant ces temps, 246 à 81 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'or et du gypse ;

8° Que le temps du refroidissement de l'étain est à celui de la craie, au point de les tenir : : 22 : 14, et : : 57 : 39 pour leur entier refroidissement ;

9° Que le temps du refroidissement de l'étain est à celui du refroidissement du gypse, au point de les tenir : : 22 : 9, et : : 57 : 28 pour leur entier refroidissement ;

10° Que le temps du refroidissement de la craie est à celui du refroidissement du gypse, au point de les tenir : : 14 : 9 par les présentes expériences, et : : 11 : 7 par les expériences précédentes (art. XLVI); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 25 à 16 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences étant : : 39 : 28, et : : 32 : 29 par les expériences précédentes (art. XLVI), on aura, en ajoutant ces temps, 71 à 57 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de la craie et du gypse.

LVII. — Ayant fait chauffer ensemble les boulets de marbre blanc, de marbre commun, d'ocre et de bois, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant:

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Bois, en.....	2 $\frac{1}{2}$	En.....	9
Ocre, en.....	6 $\frac{1}{2}$	En.....	19
Glaise, en.....	7 $\frac{1}{2}$	En.....	21
Marbre commun, en.....	10 $\frac{1}{2}$	En.....	29
Marbre blanc, en.....	12	En.....	34

LVIII. — La même expérience répétée, les boulets se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Bois, en.....	3	En.....	41
Ocre, en.....	7	En.....	20
Glaise, en.....	$8\frac{1}{2}$	En.....	23
Marbre commun, en.....	$12\frac{1}{2}$	En.....	32
Marbre blanc, en.....	13	En.....	36

On peut conclure de ces deux expériences :

1° Que le temps du refroidissement du marbre blanc est à celui du refroidissement du marbre commun, au point de pouvoir les tenir : : 25 : 22 par les présentes expériences, et : : $39\frac{1}{2}$: 36 par les expériences précédentes (art. xxvii); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, $64\frac{1}{2}$ à 58 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences étant : : 70 : 61, et : : 145 : 143 par les expériences précédentes (art. xxvii), on aura, en ajoutant ces temps, 185 à 174 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du marbre blanc et du marbre commun;

2° Que le temps du refroidissement du marbre blanc est à celui du refroidissement de la glaise, au point de pouvoir les tenir : : 25 : 16, et : : 70 : 44 pour leur entier refroidissement;

3° Que le temps du refroidissement du marbre blanc est à celui du refroidissement de l'ocre, au point de les tenir : : 25 : $13\frac{1}{2}$, et : : 70 : 39 pour leur entier refroidissement;

4° Que le temps du refroidissement du marbre blanc est à celui du refroidissement du bois, au point de les tenir : : 25 : $5\frac{1}{2}$, et : : 70 : 20 pour leur entier refroidissement;

5° Que le temps du refroidissement du marbre commun est à celui du refroidissement de la glaise, au point de les tenir : : 22 : 16, et : : 61 : 44 pour leur entier refroidissement;

6° Que le temps du refroidissement du marbre commun est à celui du refroidissement de l'ocre, au point de les tenir : : 22 : $13\frac{1}{2}$, et : : 61 : 39 pour leur entier refroidissement;

7° Que le temps du refroidissement du marbre commun est à celui du refroidissement du bois, au point de les tenir : : 22 : $5\frac{1}{2}$, et : : 61 : 20 pour leur entier refroidissement;

8° Que le temps du refroidissement de la glaise est à celui du refroidissement de l'ocre, au point de les tenir : : 16 : $13\frac{1}{2}$ par les présentes expériences, et : : $42\frac{1}{2}$: $41\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. xxxv); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, $28\frac{1}{2}$ à 20 pour le rapport le plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences étant : : 44 : 39, et : : 33 : 29 par les expériences précédentes (art. xxxv), on aura, en ajoutant ces temps, 77 à 68 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de la glaise et de l'ocre;

9° Que le temps du refroidissement de la glaise est à celui du refroidissement du bois, au point de les tenir : : 16 : $5\frac{1}{2}$, et : : 44 : 20 pour leur entier refroidissement.

10° Que le temps du refroidissement de l'ocre est à celui du refroidissement du bois, au point de les tenir : : $13\frac{1}{2}$: $5\frac{1}{2}$, et : : 39 : 20 pour leur entier refroidissement.

LIX. — Ayant mis chauffer ensemble les boulets d'argent, de verre, de glaise, d'ocre et de craie, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Craie, en.....	5 $\frac{1}{2}$	En.....	16
Ocre, en.....	6	En.....	18
Glaise, en.....	8	En.....	22
Verre, en.....	9 $\frac{1}{2}$	En.....	29
Argent, en.....	12 $\frac{1}{2}$	En.....	35

LX. — La même expérience répétée, les boulets chauffés plus longtemps se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Craie, en.....	7	En.....	22
Ocre, en.....	8 $\frac{1}{2}$	En.....	25
Glaise, en.....	9 $\frac{1}{2}$	En.....	29
Verre, en.....	12 $\frac{1}{2}$	En.....	38
Argent, en.....	16 $\frac{1}{2}$	En.....	41

On peut conclure de ces deux expériences :

1° Que le temps du refroidissement de l'argent est à celui du refroidissement du verre, au point de les tenir : : 29 : 22 par les présentes expériences, et : : 36 : 23 par les expériences précédentes (art. XXXIII); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 65 à 47 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences étant : : 76 : 67, et : : 103 : 62 par les expériences précédentes (art. XXXIII); on aura, en ajoutant ces temps, 179 à 129 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'argent et du verre;

2° Que le temps du refroidissement de l'argent est à celui du refroidissement de la glaise, au point de pouvoir les tenir : : 29 : 14 $\frac{1}{2}$, et : : 76 : 51 pour leur entier refroidissement;

3° Que le temps du refroidissement de l'argent est à celui du refroidissement de l'ocre, au point de les tenir : : 29 : 14 $\frac{1}{2}$, et : : 76 : 43 pour leur entier refroidissement;

4° Que le temps du refroidissement de l'argent est à celui du refroidissement de la craie, au point de pouvoir les tenir : : 29 : 12 $\frac{1}{2}$, et : : 76 : 38 pour leur entier refroidissement;

5° Que le temps du refroidissement du verre est à celui du refroidissement de la glaise, au point de les tenir : : 22 : 17 $\frac{1}{2}$ par les expériences présentes, et : : 46 $\frac{1}{2}$: 43 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. XLVI); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 38 $\frac{1}{2}$ à 31 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences étant : : 67 : 51, et : : 46 : 36 par les expériences précédentes (art. XLVI); on aura, en ajoutant ces temps, 113 à 87 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du verre et de la glaise;

6° Que le temps du refroidissement du verre est à celui du refroidissement de l'ocre, au point de pouvoir les tenir : : 22 : 14 $\frac{1}{2}$ par les présentes expériences, et : : 46 $\frac{1}{2}$: 41 par les expériences précédentes (art. XLVI); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 38 $\frac{1}{2}$ à 25 $\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences étant : : 67 : 43, et : : 46 : 32 par les expériences précédentes (art. XLVI); on aura, en ajoutant ces temps, 113 à 75 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du verre et de l'ocre;

7° Que le temps du refroidissement du verre est à celui du refroidissement de la craie, au point de pouvoir les tenir : : 22 : 12 $\frac{1}{2}$ par les présentes expériences, et : : 16 $\frac{1}{2}$: 11 par les expériences précédentes (art. XLVI); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 38 $\frac{1}{2}$ à 23 $\frac{1}{2}$ pour le rapport encore plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences étant : : 67 : 38, et : : 46 : 32 par les expériences précédentes (art. XLVI); on aura, en ajoutant ces temps, 113 à 70 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du verre et de la craie;

8° Que le temps du refroidissement de la glaise est à celui du refroidissement de l'ocre, au point de les tenir : : 17 $\frac{1}{2}$: 14 $\frac{1}{2}$ par les présentes expériences, et : : 26 : 22 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. XLVI); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 43 $\frac{1}{2}$ à 37 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par l'expérience étant : : 51 : 43, et : : 69 : 63 par les expériences précédentes (art. XLVI); on aura, en ajoutant ces temps, 120 à 104 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de la glaise et de l'ocre;

9° Que le temps du refroidissement de la glaise est à celui du refroidissement de la craie, au point de pouvoir les tenir : : 17 $\frac{1}{2}$: 12 $\frac{1}{2}$ par les présentes expériences, et : : 26 : 21 par les expériences précédentes (art. XLVI); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 43 $\frac{1}{2}$ à 33 $\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences : : 51 : 38, et : : 69 : 58 par les expériences précédentes (art. XLVI); on aura, en ajoutant ces temps, 120 à 96 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de la glaise et de la craie;

10° Que le temps du refroidissement de l'ocre est à celui du refroidissement de la craie, au point de pouvoir les tenir : : 14 $\frac{1}{2}$: 12 $\frac{1}{2}$ par les présentes expériences, et : : 11 $\frac{1}{2}$: 10 par les expériences précédentes (art. XXXV); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 26 à 22 $\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences étant : : 43 : 38, et : : 29 : 26 par les précédentes expériences (art. XXXV); on aura, en ajoutant ces temps, 72 à 64 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'ocre et de la craie.

LXI. — Ayant mis chauffer ensemble à un grand degré de chaleur les boulets de zinc, de bismuth, de marbre blanc, de grès et de gypse, le bismuth s'est fondu tout à coup, et il n'est resté que les quatre autres, qui se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Gypse, en.....	41	En.....	28
Grès, en.....	16	En.....	42
Marbre blanc, en.....	19	En.....	50
Zinc, en.....	23	En.....	57

LXII. — La même expérience répétée avec les quatre boulets ci-dessus et un boulet de plomb, à un feu moins ardent, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Gypse, en.....	4 $\frac{1}{2}$	En.....	16
Plomb, en.....	9 $\frac{1}{2}$	En.....	28
Grès, en.....	10	En.....	32
Marbre blanc, en.....	12 $\frac{1}{2}$	En.....	36
Zinc, en.....	15	En.....	43

On peut conclure de ces deux expériences :

1° Que le temps du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement du marbre blanc, au point de pouvoir les tenir : : 38 : 31 $\frac{1}{2}$ par les présentes expériences, et : : 21 : 17 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. XLVIII); ainsi, en ajoutant ces temps, on aura 59 à 49 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente étant : : 100 : 86, et : : 65 : 53 par les expériences précédentes (art. XLVIII); on aura, en y ajoutant ces temps, 165 à 139 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du zinc et du marbre blanc;

2° Que le temps du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement du grès, au point de les tenir : : 38 : 26 par les présentes expériences, et : : 21 : 115 par les expériences précédentes (art. XLVIII); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 59 à 41 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences étant : : 100 : 74, et : : 65 : 47 par les expériences précédentes (art. XLVIII); on aura, en ajoutant ces temps, 165 à 121 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du zinc et du grès;

3° Que le temps du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement du plomb, au point de pouvoir les tenir : : 15 : 9 $\frac{1}{2}$ par la présente expérience, et : : 73 : 43 $\frac{3}{4}$ par les expériences précédentes (art. XVII); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 89 à 53 $\frac{1}{4}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente étant : : 43 : 20, et : : 220 : 189 par les expériences précédentes (art. XVII); on aura, en ajoutant ces temps, 263 à 209 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du zinc et du plomb;

4° Que le temps du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement du gypse, au point de les tenir : : 38 : 15 $\frac{1}{2}$, et : : 100 : 44 pour leur entier refroidissement;

5° Que le temps du refroidissement du marbre blanc est à celui du refroidissement du grès, au point de les tenir : : 31 $\frac{1}{2}$: 26 par les présentes expériences, et : : 38 $\frac{1}{2}$: 32 par les expériences précédentes (art. XLVIII); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 70 à 58 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences étant : : 86 : 74, et : : 112 : 104 par les expériences précédentes (art. XLVIII); on aura, en ajoutant ces temps, 198 à 178 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du marbre blanc et du grès;

6° Que le temps du refroidissement du marbre blanc est à celui du refroidissement du plomb, au point de les tenir : : 12 $\frac{1}{2}$: 9 $\frac{1}{2}$, et : : 36 : 20 pour leur entier refroidissement;

7° Que le temps du refroidissement du marbre blanc est à celui du refroidissement du gypse, au point de pouvoir les tenir : : 31 : 15 $\frac{1}{2}$, et : : 86 : 44 pour leur entier refroidissement;

8° Que le temps du refroidissement du grès est à celui du refroidissement du plomb, au point de pouvoir les tenir : : 40 : 9 $\frac{1}{2}$ par la présente expérience, et : : 59 : 51 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. XLIV); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 69 $\frac{1}{2}$ à 61 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences étant : : 32 : 20, et 187 : 178 par les expériences précédentes (art. XLIV); on aura, en ajoutant ces temps, 214 à 96 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du grès et du plomb;

9° Que le temps du refroidissement du grès est à celui du refroidissement du gypse, au point de pouvoir les tenir : : 26 : 15 $\frac{1}{2}$ par les présentes expériences, et : : 55 : 21 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. XXXIII); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 81 à 37 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences étant : : 74 : 44, et : : 170 : 78 par les expériences

précédentes (art. XXXIII); on aura, en ajoutant ces temps, 244 à 122 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du grès et du gypse;

10° Que le temps du refroidissement du plomb est à celui du refroidissement du gypse, au point de pouvoir les tenir : : $9\frac{1}{2}$: $4\frac{1}{2}$, et : : 28 : 16 pour leur entier refroidissement.

LXIII. — Ayant fait chauffer ensemble les boulets de cuivre, d'antimoine, de marbre commun, de pierre calcaire tendre et de craie, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Craie, en.....	$6\frac{1}{2}$	En.....	20
Antimoine, en.....	$7\frac{1}{2}$	En.....	26
Pierre tendre, en.....	$7\frac{1}{2}$	En.....	26
Marbre commun, en.....	$11\frac{1}{2}$	En.....	31
Cuivre, en.....	16	En.....	49

LXIV. — La même expérience répétée, les boulets se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Craie, en.....	$5\frac{1}{2}$	En.....	48
Antimoine, en.....	6	En.....	24
Pierre tendre, en.....	8	En.....	23
Marbre commun, en.....	10	En.....	29
Cuivre, en.....	$13\frac{1}{2}$	En.....	38

On peut conclure de ces deux expériences :

1° Que le temps du refroidissement du cuivre est à celui du refroidissement du marbre commun, au point de pouvoir les tenir : : $29\frac{1}{2}$: $21\frac{1}{2}$ par les présentes expériences, et : : 45 : $35\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. V); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, $74\frac{1}{2}$ à 57 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences étant : : 87 : 60, et : : 125 : 111 par les expériences précédentes (art. V); on aura, en ajoutant ces temps, 212 à 170 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du cuivre et du marbre commun;

2° Que le temps du refroidissement du cuivre est à celui du refroidissement de la pierre tendre, au point de pouvoir les tenir : : $29\frac{1}{2}$: $15\frac{1}{2}$, et : : 87 : 49 pour leur entier refroidissement;

3° Que le temps du refroidissement du cuivre est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de pouvoir les tenir : : $29\frac{1}{2}$: $13\frac{1}{2}$ par les présentes expériences, et : : 28 : 16 par les expériences précédentes (art. XLI); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, $57\frac{1}{2}$ à $29\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les expériences présentes étant : : 87 : 50, et : : 80 : 47 par les expériences précédentes (art. XLI); on aura, en ajoutant ces temps, 167 à 97 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du cuivre et de l'antimoine;

4° Que le temps du refroidissement du cuivre est à celui du refroidissement de la craie, au point de pouvoir les tenir : : $29\frac{1}{2}$: 12, et : : 87 : 38 pour leur entier refroidissement;

5° Que le temps du refroidissement du marbre commun est à celui du refroidissement de la pierre tendre, au point de pouvoir les tenir : : $21 \frac{1}{2}$: 14 par les expériences présentes, et : : 29 : 23 par les expériences précédentes (art. xxx); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, $50 \frac{1}{2}$ à 37 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences étant : : 60 : 49, et : : 87 : 68 par les expériences précédentes (art. xx); on aura, en ajoutant ces temps, 147 à 117 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du marbre commun et de la pierre tendre;

6° Que le temps du refroidissement du marbre commun est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de les tenir : : $21 \frac{1}{2}$: $13 \frac{1}{2}$, et : : 60 : 50 pour leur entier refroidissement;

7° Que le temps du refroidissement du marbre commun est à celui du refroidissement de la craie, au point de pouvoir les tenir : : $21 \frac{1}{2}$: 12, et : : 60 : 38 pour leur entier refroidissement;

8° Que le temps du refroidissement de la pierre tendre est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de pouvoir les tenir : : 14 : $13 \frac{1}{2}$, et : : 49 : 50 pour leur entier refroidissement;

9° Que le temps du refroidissement de la pierre tendre est à celui du refroidissement de la craie, au point de pouvoir les tenir : : 14 : 12, et : : 49 : 38 pour leur entier refroidissement;

10° Que le temps du refroidissement de l'antimoine est à celui du refroidissement de la craie, au point de pouvoir les tenir : : $13 \frac{1}{2}$: 12, et : : 50 : 38 pour leur entier refroidissement.

LXV. — Ayant fait chauffer ensemble les boulets de plomb, d'étain, de verre, de pierre calcaire dure, d'ocre et de glaise, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>	Minutes.	<i>Refroidis à la température.</i>	Minutes.
Ocre, en.....	5	En.....	16
Glaise, en.....	$7 \frac{1}{2}$	En.....	20
Étain, en.....	$8 \frac{1}{2}$	En.....	21
Plomb, en.....	$9 \frac{1}{2}$	En.....	23
Verre, en.....	10	En.....	27
Pierre dure, en.....	$10 \frac{1}{2}$	En.....	29

Il résulte de cette expérience :

1° Que le temps du refroidissement de la pierre dure est à celui du refroidissement du verre, au point de les tenir : : $10 \frac{1}{2}$: 10 par la présente expérience, et : : $20 \frac{1}{2}$: 17 par les expériences précédentes (art. LIV); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 31 à 27 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience étant : : 29 : 27, et : : 62 : 49 par les expériences précédentes (art. LIV); on aura, en ajoutant ces temps, 91 à 76 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de la pierre dure et du verre;

2° Que le temps du refroidissement du verre est à celui du refroidissement du plomb, au point de pouvoir les tenir : : $10 : 9 \frac{1}{2}$ par la présente expérience, et : : 12 : 11 par les expériences précédentes (art. XXXIX); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 22 à $20 \frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente étant : : 27 : 23, et : : 35 : 38 par les expériences précé-

dentes (art. XXXIX); on aura, en ajoutant ces temps, 62 à 53 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du verre et du plomb;

3° Que le temps du refroidissement du verre est à celui du refroidissement de l'étain, au point de pouvoir les tenir : : 40 : $8\frac{1}{2}$ par la présente expérience, et : : 46 : $42\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. XXXIX); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 56 à 51 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les expériences présentes étant : : 27 : 24, et par les expériences précédentes (art. XXXIX) : : 432 : 417, on aura, en ajoutant ces temps, 159 à 138 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du verre et de l'étain;

4° Que le temps du refroidissement du verre est à celui du refroidissement de la glaise, au point de pouvoir les tenir : : 40 : $7\frac{1}{2}$, et : : 38 $\frac{1}{2}$: 31 par les expériences précédentes (art. LX); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, $48\frac{1}{2}$ à $38\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience étant : : 27 : 20, et : : 443 : 87 par les expériences précédentes (art. LX); on aura, en ajoutant ces temps, 440 à 107 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du verre et de la glaise;

5° Que le temps du refroidissement du verre est à celui du refroidissement de l'ocre, au point de pouvoir les tenir : : 40 : 5 par les présentes expériences, et : : $38\frac{1}{2}$: $25\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. LX); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, $48\frac{1}{2}$ à $30\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience étant : : 27 : 16, et par les expériences précédentes (art. LX) : : 443 : 75; on aura, en ajoutant ces temps, 440 à 91 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du verre et de l'ocre;

6° Que le temps du refroidissement de la pierre dure est à celui du refroidissement du plomb, au point de pouvoir les tenir : : $40\frac{1}{2}$: $9\frac{1}{2}$, et : : 29 : 23 pour leur entier refroidissement;

7° Que le temps du refroidissement de la pierre dure est à celui du refroidissement de l'étain, au point de les tenir : : $40\frac{1}{2}$: $8\frac{1}{2}$, et : : 29 : 21 pour leur entier refroidissement;

8° Que le temps du refroidissement de la pierre dure est à celui du refroidissement de la glaise, au point de les tenir : : $40\frac{1}{2}$: $7\frac{1}{2}$, et : : 29 : 20 pour leur entier refroidissement;

9° Que le temps du refroidissement de la pierre dure est à celui du refroidissement de l'ocre, au point de les tenir : : $40\frac{1}{2}$: 5, et : : 29 : 16 pour leur entier refroidissement;

10° Que le temps du refroidissement du plomb est à celui du refroidissement de l'étain, au point de les tenir : : $9\frac{1}{2}$: $8\frac{1}{2}$ par la présente expérience, et : : $36\frac{1}{2}$: $31\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. XXXIX); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 46 à 40 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience étant : : 23 : 24, et : : 409 : 89 par les expériences précédentes (art. XXXIX); on aura, en ajoutant ces temps, 432 à 440 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du plomb et de l'étain;

11° Que le temps du refroidissement du plomb est à celui du refroidissement de la glaise, au point de pouvoir les tenir : : $9\frac{1}{2}$: $7\frac{1}{2}$ par la présente expérience, et : : 7 : $5\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. XXXV); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, $46\frac{1}{2}$ à 43 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience étant : : 23 : 20, et : : 48 : 45 par les expériences précédentes (art. XXXV); on aura, en ajoutant ces temps, 41 à 35 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du plomb et de la glaise;

12° Que le temps du refroidissement du plomb est à celui du refroidissement de l'ocre, au point de pouvoir les tenir : : $9\frac{1}{2}$: 5 par la présente expérience, et : : 7 : 5 par les expériences précédentes (art. XXXV); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, $46\frac{1}{2}$ à 40

Pour le rapport plus précis de leur refroidissement; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience étant :: 23 : 16, et :: 18 : 13 par les expériences précédentes (art. XXXV); on aura, en ajoutant ces temps, 41 à 29 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du plomb et de l'ocre;

13° Que le temps du refroidissement de l'étain est à celui du refroidissement de la glaise, au point de les tenir :: $8\frac{1}{2}$: $7\frac{1}{2}$, et :: 21 : 20 pour leur entier refroidissement;

14° Que le temps du refroidissement de l'étain est à celui du refroidissement de l'ocre, au point de les tenir :: $8\frac{1}{2}$: 5, et :: 21 : 16 pour leur entier refroidissement;

15° Que le temps du refroidissement de la glaise est à celui du refroidissement de l'ocre, au point de pouvoir les tenir :: $7\frac{1}{2}$: 5 par la présente expérience, et :: $43\frac{1}{2}$: 37 par les expériences précédentes (art. LX); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 50 à 42 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience étant :: 20 : 16, et :: 120 : 104 par les expériences précédentes (art. LX); on aura, en ajoutant ces temps, 140 à 120 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de la glaise et de l'ocre.

LXVI. — Ayant fait chauffer ensemble les boulets de zinc, d'antimoine, de pierre calcaire tendre, de craie et de gypse, il se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Gypse, en.....	$3\frac{1}{2}$	En.....	11
Craie, en.....	5	En.....	16
Antimoine, en.....	6	En.....	22
Pierre tendre, en.....	$7\frac{1}{2}$	En.....	23
Zinc, en.....	$14\frac{1}{2}$	En.....	29

LXVII. — La même expérience répétée, les boulets se sont refroidis dans l'ordre suivant :

<i>Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.</i>		<i>Refroidis à la température.</i>	
	Minutes.		Minutes.
Gypse, en.....	$3\frac{1}{2}$	En.....	12
Craie, en.....	$4\frac{3}{4}$	En.....	14
Antimoine, en.....	6	En.....	20
Pierre tendre, en.....	8	En.....	21
Zinc, en.....	$13\frac{1}{2}$	En.....	28

On peut conclure de ces deux expériences :

1° Que les temps du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement de la pierre tendre, au point de pouvoir les tenir :: 28 : $13\frac{1}{2}$, et :: 57 : 44 pour leur entier refroidissement;

2° Que le temps du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de pouvoir les tenir :: 28 : 12 par les présentes expériences, et :: 94 : 52 par les expériences précédentes (art. XXLVIII); ainsi, en ajoutant ces temps, on aura 122 à 64 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences étant :: 57 : 42, et :: 285 : 184 par les expériences précédentes (art. XLVIII); on aura, en ajoutant ces temps, 342 à 226 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du zinc et de l'antimoine;

3° Que le temps du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement de la craie, au point de pouvoir les tenir : : 28 : $9\frac{1}{2}$ par les présentes expériences, et : : 31 : $12\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. LII); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 59 à 22 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences étant : : 57 : 30, et : : 59 : 38 par les expériences précédentes (art. LII); on aura, en ajoutant ces temps, 116 à 68 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du zinc et de la craie;

4° Que le temps du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement du gypse, au point de pouvoir les tenir : : 28 : 7 par les présentes expériences, et : : 38 : $15\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. LXII); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 66 à $22\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences étant : : 57 : 23, et : : 100 : 44 par les expériences précédentes (art. LXII); on aura, en ajoutant ces temps, 157 à 67 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du zinc et du gypse;

5° Que le temps du refroidissement de l'antimoine est à celui du refroidissement de la pierre calcaire tendre, au point de les tenir : : 12 : $15\frac{1}{2}$, et : : 42 : 44 pour leur entier refroidissement;

6° Que le temps du refroidissement de l'antimoine est à celui du refroidissement de la craie, au point de pouvoir les tenir : : 12 : $9\frac{1}{2}$ par les présentes expériences, et : : $43\frac{1}{3}$: 12 par les expériences précédentes (art. LXIV); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, $25\frac{1}{2}$ à $21\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences étant : : 42 : 30, et : : 50 : 38 par les expériences précédentes (art. LXIV); on aura, en ajoutant ces temps, 92 à 68 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'antimoine et de la craie;

7° Que le temps de refroidissement de l'antimoine est à celui du refroidissement du gypse, au point de pouvoir les tenir : : 12 : 7, et : : 42 : 23 pour leur entier refroidissement;

8° Que le temps du refroidissement de la pierre tendre est à celui du refroidissement de la craie, au point de pouvoir les tenir : : $15\frac{1}{2}$: $9\frac{1}{2}$ par les présentes expériences, et : : 14 : 12 par les expériences précédentes (art. LXIV); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, $29\frac{1}{2}$ à $21\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences étant : : 30, et : : 49 : 38 par les expériences précédentes (art. LXIV); on aura, en ajoutant ces temps, 93 à 68 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de la pierre tendre et de la craie;

9° Que le temps du refroidissement de la pierre calcaire tendre est à celui du refroidissement du gypse, au point de les tenir : : $15\frac{1}{2}$: 7 par les présentes expériences, et : : 12 : $4\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. XXXVIII); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, $27\frac{1}{2}$ à $11\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les expériences présentes étant : : 44 : 23, et : : 27 : 14 par les expériences précédentes (art. XXXVIII); on aura, en ajoutant ces temps, 71 à 37 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de la pierre tendre et du gypse;

10° Que le temps du refroidissement de la craie est à celui du refroidissement du gypse, au point de pouvoir les tenir : : $9\frac{1}{2}$: 7 par les présentes expériences, et : : 25 : 16 par les expériences précédentes (art. LVI); ainsi on aura, en ajoutant ces temps, $34\frac{1}{2}$ à 23 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences étant : : 30 : 23, et : : 71 à 57 par les expériences précédentes (art. LVI); on aura, en ajoutant ces temps, 108 à 80 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de la craie et du gypse.

Je borne ici cette suite d'expériences assez longues à faire et fort ennuyeuses à lire; j'ai cru devoir les donner telles que les ai faites à plusieurs reprises dans l'espace de six

ans : si je m'étais contenté d'en additionner les résultats, j'aurais à la vérité fort abrégé ce Mémoire; mais on n'aurait pas été en état de les répéter, et c'est cette considération qui m'a fait préférer de donner l'énumération et le détail des expériences mêmes, au lieu d'une table abrégée que j'aurai pu faire de leurs résultats accumulés. Je vais néanmoins donner par forme de récapitulation la table générale de ces rapports, tous comparés à 10,000, afin que d'un coup d'œil on puisse en saisir les différences.

TABLE

DES RAPPORTS DU REFROIDISSEMENT DES DIFFÉRENTES
SUBSTANCES MINÉRALES.

FER.

	Premier refroidissement.	Entier refroidissement.
Émeril.....	10000 à 9117	9020
Cuivre.....	10000 à 8512	8702
Or.....	10000 à 8160	8148
Zinc.....	10000 à 7654	6020
	6804	
Argent.....	10000 à 7619	7423
Marbre blanc.....	10000 à 6774	6704
Marbre commun.....	10000 à 6636	6746
Pierre calcaire dure...	10000 à 6617	6274
Grès.....	10000 à 5796	6926
Verre.....	10000 à 5576	5805
Plomb.....	10000 à 5143	6482
Étain.....	10000 à 4898	4921
Pierre calcaire tendre.	10000 à 4194	4659
Glaise.....	10000 à 4198	4490
Bismuth.....	10000 à 3580	4081
Craie.....	10000 à 3086	3878
Gypse.....	10000 à 2335	2817
Bois.....	10000 à 1860	1549
Pierre ponce.....	10000 à 1627	1268

ÉMERIL.

Cuivre.....	10000 à 8519	8148
Or.....	10000 à 8513	8560
Zinc.....	10000 à 8390	7692
	7458	
Argent.....	10000 à 7778	7895
Pierre calcaire dure...	10000 à 7304	6963
Grès.....	10000 à 6552	6517
Verre.....	10000 à 5862	5504
Plomb.....	10000 à 5718	6643
Étain.....	10000 à 5658	6000
Glaise.....	10000 à 5185	5185
Bismuth.....	10000 à 4949	6060
Antimoine.....	10000 à 4540	5827
Ocre.....	10000 à 4259	3827
Craie.....	10000 à 3684	4105
Gypse.....	10000 à 2368	2947
Bois.....	10000 à 1552	3146

CUIVRE.

	Premier refroidissement.	Entier refroidissement.	
Or	10000 à 9135	9194	
Zinc	10000 à 8571	9250	
	7619		
Argent	10000 à 8395	7823	
Marbre commun.....	10000 à 7638	8019	
Grès.....	10000 à 7333	8160	
Verre.....	10000 à 6667	6567	
Cuivre et.....	Plomb.....	10000 à 6179	7367
	Étain.....	10000 à 5746	6916
	Pierre calcaire tendre..	10000 à 5168	5633
	Glaise.....	10000 à 5652	6363
	Bismuth.....	10000 à 5686	5959
	Antimoine.....	10000 à 5130	5808
	Ocre.....	10000 à 5000	4697
	Craie.....	10000 à 4068	4368

OR.

	Zinc	10000 à 9474	9304
		8422	
	Argent.....	10000 à 8936	8686
	Marbre blanc.....	10000 à 8101	7863
	Marbre commun.....	10000 à 7342	7435
	Pierre calcaire dure...	10000 à 7383	7516
	Grès.....	10000 à 7368	7687
	Verre.....	10000 à 7103	5932
	Plomb.....	10000 à 6526	7500
Or.....	Étain.....	10000 à 6324	6051
	Pierre calcaire tendre..	10000 à 6087	5841
	Glaise.....	10000 à 5814	5077
	Bismuth.....	10000 à 5658	7043
	Porcelaine.....	10000 à 5526	5593
	Antimoine.....	10000 à 5395	6348
	Ocre.....	10000 à 5349	4462
	Craie.....	10000 à 4571	4452
	Gypse.....	10000 à 2989	3293

ZINC.

	Argent	10000 à 8904	8990
		10015	
	Marbre blanc..	10000 à 8305	8424
		7194	
	Grès.....	10000 à 6949	7333
		5838	
	Plomb.....	10000 à 6051	7947
		4940	
	Étain.....	10000 à 6777	6240
		5666	
Zinc et.....	Pierre calcaire tendre..	10000 à 5536	7719
		4425	
	Glaise.....	10000 à 5484	7458
		4373	
	Bismuth.....	10000 à 5343	7547
		4332	
	Antimoine.....	10000 à 5246	6608
		4135	
	Craie.....	10000 à 3729	5862
		2618	
	Gypse.....	10000 à 3409	4268
		2298	

ARGENT.

	Premier refroidissement.	Entier refroidissement.
Argent et.....	Marbre blanc.....	10000 à 8681 9200
	Marbre commun.....	10000 à 7912 9048
	Pierre calcaire dure...	10000 à 7436 8580
	Grès.....	10000 à 7361 7767
	Verre.....	10000 à 7230 7212
	Plomb.....	10000 à 7154 9184
	Étain.....	10000 à 6176 6289
	Pierre calcaire tendre..	10000 à 6178 6287
	Glaise.....	10000 à 6034 6710
	Bismuth.....	10000 à 6308 8877
	Porcelaine.....	10000 à 5556 5242
	Antimoine.....	10000 à 5692 7653
	Ocre.....	10000 à 5000 5658
	Craie.....	10000 à 4310 5000
	Gypse.....	10000 à 2879 3366
Bois.....	10000 à 2353 1864	
Pierre ponce.....	10000 à 2059 1525	

MARBRE BLANC.

Marbre blanc et.....	Marbre commun.....	10000 à 8992 9405
	Pierre dure.....	10000 à 8594 9130
	Grès.....	10000 à 8286 8990
	Plomb.....	10000 à 7604 5555
	Étain.....	10000 à 7143 6792
	Pierre calcaire tendre..	10000 à 6792 7218
	Glaise.....	10000 à 6400 6286
	Antimoine.....	10000 à 6286 6792
	Ocre.....	10000 à 5400 5571
	Gypse.....	10000 à 4920 5116
Bois.....	10000 à 2200 2857	

MARBRE COMMUN.

Marbre commun et..	Pierre dure.....	10000 à 9483 9655
	Grès.....	10000 à 8767 9273
	Plomb.....	10000 à 7671 8590
	Étain.....	10000 à 7424 6666
	Pierre tendre.....	10000 à 7327 7959
	Glaise.....	10000 à 7272 7213
	Antimoine.....	10000 à 6279 8333
	Ocre.....	10000 à 6136 6393
	Craie.....	10000 à 5581 6333
	Bois.....	10000 à 2500 3279

PIERRE CALCAIRE DURE.

Pierre dure et.....	Grès.....	10000 à 9268 9355
	Verre.....	10000 à 8710 8352
	Plomb.....	10000 à 8571 7931
	Étain.....	10000 à 8095 7931
	Pierre tendre.....	10000 à 8000 8095
	Glaise.....	10000 à 6190 6897
	Ocre.....	10000 à 4762 5517
Bois.....	10000 à 2195 4516	

GRÈS.

	Premier refroidissement.	Entier refroidissement.	
Grès et.....	Verre.....	10000 à 9324	7939
	Plomb.....	10000 à 8561	8950
	Étain.....	10000 à 7667	7633
	Pierre tendre.....	10000 à 7647	7193
	Porcelaine.....	10000 à 7364	7059
	Antimoine.....	10000 à 7333	6170
	Gypse.....	10000 à 4568	5000
	Bois.....	10000 à 2368	4888

VERRE.

Verre et... ..	Plomb.....	10000 à 9318	8548
	Étain.....	10000 à 9107	8679
	Glaise.....	10000 à 7938	7643
	Porcelaine.....	10000 à 7692	8863
	Ocre.....	10000 à 6289	6500
	Craie.....	10000 à 6104	6195
	Gypse.....	10000 à 4160	6014
	Bois.....	10000 à 2647	5514

PLOMB.

Plomb et.	Étain.....	10000 à 8695	8333
	Pierre tendre.....	10000 à 8437	7192
	Glaise.....	10000 à 7878	8536
	Bismuth.....	10000 à 8698	8750
	Antimoine.....	10000 à 8241	8201
	Ocre.....	10000 à 6060	7073
	Craie.....	10000 à 5714	6111
	Gypse.....	10000 à 4736	5714

ÉTAÏN.

Étain et.....	Glaise.....	10000 à 8823	9524
	Bismuth.....	10000 à 8888	9400
	Antimoine.....	10000 à 8710	9156
	Ocre.....	10000 à 5882	7619
	Craie.....	10000 à 6364	6842
	Gypse.....	10000 à 4090	4912

PIERRE CALCAIRE TENDRE.

Pierre tendre et.....	Antimoine.....	10000 à 7742	9545
	Craie.....	10000 à 7288	7312
	Gypse.....	10000 à 4182	5211

GLAISE.

Glaise et.....	Bismuth.....	10000 à 8870	9419
	Ocre.....	10000 à 8400	8571
	Craie.....	10000 à 7701	8000
	Gypse.....	10000 à 5185	8055
	Bois.....	10000 à 3437	4545

BISMUTH.

Bismuth et.. ..	Antimoine.....	10000 à 9349	9572
	Ocre.....	10000 à 8846	7380
	Craie.....	10000 à 8620	9500

PORCELAINE.

	Premier refroidissement.	Entier refroidissement.
Porcelaine et gypse	10000 à 5308	6500

ANTIMOINE.

Antimoine et.....	{ Craie.....	10000 à 8431	7391
	{ Gypse.....	10000 à 5833	5476

OCRE.

Ocre et.....	{ Craie.....	10000 à 8654	8889
	{ Gypse.....	10000 à 6364	9062
	{ Bois.....	10000 à 4074	5128

CRAIE.

Craie et gypse	10000 à 6667	7920
----------------------	--------------	------

GYPSE.

Gypse et.....	{ Bois.....	10000 à 8000	5250
	{ Pierre ponce.....	10000 à 7000	4500

BOIS.

Bois et pierre ponce.....	10000 à 8750	8182
---------------------------	--------------	------

Quelque attention que j'aie donnée a mes expériences, quelque soin que j'aie pris pour en rendre les rapports plus exacts, j'avoue qu'il y a encore quelques imperfections dans cette table qui les contient tous; mais ces défauts sont légers et n'influent pas beaucoup sur les résultats généraux: par exemple, on s'apercevra aisément que le rapport du zinc au plomb, étant de 10,000 à 6,051, celui du zinc à l'étain devrait être moindre de 6,000, tandis qu'il se trouve dans la table de 6,777. Il en est de même de celui de l'argent au bismuth, qui devrait être moindre que 6,308; et encore de celui du plomb à la glaise, qui devrait être de plus de 8,000, et qui ne se trouve être dans la table que de 7,878; mais cela provient de ce que les boulets de plomb et de bismuth n'ont pas toujours été les mêmes, ils se sont fondus aussi bien que ceux d'étain et d'antimoine, ce qui n'a pu manquer de produire des variations, dont les plus grandes sont les trois que je viens de remarquer. Il ne m'a pas été possible de faire mieux: les différents boulets de plomb, d'étain, de bismuth et d'antimoine dont je me suis successivement servi étaient faits, à la vérité, sur le même calibre, mais la matière de chacun pouvait être un peu différente, selon la quantité d'alliage du plomb et de l'étain, car je n'ai eu de l'étain pur que pour les deux premiers boulets; d'ailleurs il reste assez souvent une petite cavité dans ces boulets fondus, et ces petites causes suffisent pour produire les petites différences qu'on pourra remarquer dans ma table.

Il en est de même du rapport de l'étain à l'ocre, qui devrait être de plus de 6,088, et qui ne se trouve dans la table que de 5,882, parce que l'ocre étant une matière friable qui diminue par le frottement, j'ai été obligé de changer trois ou quatre fois les boulets d'ocre. J'avoue qu'en donnant à ces expériences le double du très long temps que j'y ai employé, j'aurais pu parvenir à un plus grand degré de précision, mais je me flatte qu'il y en a suffisamment pour qu'on soit convaincu de la vérité des résultats que l'on peut en tirer. Il n'y a guère que les personnes accoutumées à faire des expériences qui sachent combien il est difficile de constater un seul fait de la nature par tous les moyens que l'art peut

nous fournir ; il faut joindre la patience au génie, et souvent cela ne suffit pas encore ; il faut quelquefois renoncer malgré soi au degré de précision que l'on désirerait, parce que cette précision en exigerait une tout aussi grande dans toutes les mains dont on se sert, et demanderait en même temps une parfaite égalité dans toutes les matières que l'on emploie ; aussi tout ce que l'on peut faire en physique expérimentale ne peut pas nous donner des résultats rigoureusement exacts, et ne peut aboutir qu'à des approximations plus ou moins grandes ; et quand l'ordre général de ces approximations ne se dément que par de légères variations, on doit être satisfait.

Au reste, pour tirer de ces nombreuses expériences tout le fruit que l'on doit en attendre, il faut diviser les matières qui en font l'objet en quatre classes ou genres différents.

1^o Les métaux ; 2^o les demi-métaux et minéraux métalliques ; 3^o les substances vitrées et vitrescibles ; 4^o les substances calcaires et calcinables ; comparer ensuite les matières de chaque genre entre elles, pour tâcher de reconnaître la cause ou les causes de l'ordre que suit le progrès de la chaleur dans chacune ; et enfin comparer les genres même entre eux, pour essayer d'en déduire quelques résultats généraux.

I. — L'ordre des six métaux, suivant leur densité, est étain, fer, cuivre, argent, plomb, or ; tandis que l'ordre dans lequel ces métaux reçoivent et perdent la chaleur est étain, plomb, argent, or, cuivre, fer, dans lequel il n'y a que l'étain qui conserve sa place.

Le progrès et la durée de la chaleur dans les métaux ne suit donc pas l'ordre de leur densité, si ce n'est pour l'étain qui, étant le moins dense de tous, est en même temps celui qui perd le plus tôt sa chaleur ; mais l'ordre des cinq autres métaux nous démontre que c'est dans le rapport de leur fusibilité que tous reçoivent et perdent la chaleur, car le fer est plus difficile à fondre que le cuivre, le cuivre l'est plus que l'or, l'or plus que l'argent, l'argent plus que le plomb, et le plomb plus que l'étain ; on doit donc en conclure que ce n'est qu'un hasard si la densité et la fusibilité de l'étain se trouvent ici réunies pour le placer au dernier rang.

Cependant ce serait trop s'avancer que de prétendre qu'on doit tout attribuer à la fusibilité et rien du tout à la densité : la nature ne se dépouille jamais d'une de ses propriétés en faveur d'une autre d'une manière absolue, c'est-à-dire de façon que la première n'influe en rien sur la seconde ; ainsi la densité peut bien entrer pour quelque chose dans le progrès de la chaleur, mais au moins nous pouvons prononcer affirmativement que dans les six métaux elle n'y fait que très peu, au lieu que la fusibilité y fait presque le tout.

Cette première vérité n'était connue ni des chimistes ni des physiciens ; on n'aurait pas même imaginé que l'or, qui est plus de deux fois et demie plus dense que le fer, perd néanmoins sa chaleur un demi-tiers plus vite. Il en est du même du plomb, de l'argent et du cuivre, qui tous sont plus denses que le fer, et qui, comme l'or, s'échauffent et se refroidissent plus promptement : car, quoiqu'il ne soit question que du refroidissement dans ce second Mémoire, les expériences du Mémoire qui précède celui-ci démontrent, à n'en pouvoir douter, qu'il en est de l'entrée de la chaleur dans les corps comme de sa sortie, et que ceux qui la reçoivent le plus vite sont en même temps ceux qui la perdent le plus tôt.

Si l'on réfléchit sur les principes réels de la densité et sur la cause de la fusibilité, on sentira que la densité dépend absolument de la quantité de matière que la nature place dans un espace donné, que plus elle peut y en faire entrer, plus il y a de densité, et que l'or est à cet égard la substance qui de toutes contient le plus de matière relativement à son volume. C'est pour cette raison que l'on avait cru jusqu'ici qu'il fallait plus de temps pour échauffer ou refroidir l'or que les autres métaux ; il est en effet assez naturel de penser que, contenant sous le même volume le double ou le triple de matière, il faudrait

le double ou le triple du temps pour la pénétrer de chaleur, et cela serait vrai, si dans toutes les substances les parties constituantes étaient de la même figure, et en conséquence toutes arrangées de même. Mais dans les unes comme dans les plus denses, les molécules de la matière sont probablement de figure assez régulière pour ne pas laisser entre elles de très grands espaces vides; dans d'autres moins denses, leurs figures plus irrégulières laissent de vides plus nombreux et plus grands, et dans les plus légères les molécules étant en petit nombre et probablement de figure très irrégulière, il se trouve mille et mille fois plus de vide que de plein: car on peut démontrer par d'autres expériences que le volume de la substance, même la plus dense, contient encore beaucoup plus d'espace vide que de matière pleine.

Or, la principale cause de la fusibilité est la facilité que les particules de la chaleur trouvent à séparer les unes des autres ces molécules de la matière pleine: que la somme des vides soit plus ou moins grande, ce qui fait la densité ou la légèreté, cela est indifférent à la séparation des molécules qui constituent le plein, et la plus ou moins grande fusibilité dépend en entier de la force de cohérence qui tient unies ces parties massives et s'oppose plus ou moins à leur séparation. La dilatation du volume total est le premier degré de l'action de la chaleur, et dans les différents métaux elle se fait dans le même ordre que la fusion de la masse qui s'opère par un plus grand degré de chaleur ou de feu. L'étain, qui de tous se fond le plus promptement, est aussi celui qui se dilate le plus vite, et le fer, qui est de tous le plus difficile à fondre, est de même celui dont la dilatation est la plus lente.

D'après ces notions générales, qui paraissent claires, précises, et fondées sur des expériences que rien ne peut démentir, on serait porté à croire que la ductilité doit suivre l'ordre de la fusibilité, parce que la plus ou moins grande ductilité semble dépendre de la plus ou moins grande adhésion des parties dans chaque métal; cependant cet ordre de la ductilité des métaux paraît avoir autant de rapport à l'ordre de la densité qu'à celui de leur fusibilité. Je dirais volontiers qu'il est en raison composée des deux autres, mais ce n'est que par estime et par une présomption qui n'est peut-être pas assez fondée! car il n'est pas aussi facile de déterminer au juste les différents degrés de la fusibilité que ceux de la densité; et comme la ductilité participe des deux, et qu'elle varie suivant les circonstances, nous n'avons pas encore acquis les connaissances nécessaires pour prononcer affirmativement sur ce sujet, qui est d'une assez grande importance pour mériter des recherches particulières. Le même métal traité à froid ou à chaud donne des résultats tout différents: la malléabilité est le premier indice de la ductilité, mais elle ne nous donne néanmoins qu'une notion assez imparfaite du point auquel la ductilité peut s'étendre. Le plomb, le plus souple, le plus malléable des métaux, ne peut se tirer à la filière en fils aussi fins que l'or, ou même que le fer, qui de tous est le moins malléable. D'ailleurs il faut aider la ductilité des métaux par l'addition du feu, sans quoi ils s'écrouissent et deviennent cassants; le fer même, quoique le plus robuste de tous, s'écrouit comme les autres. Ainsi, la ductilité d'un métal et l'étendue de continuité qu'il peut supporter dépendent non seulement de sa densité et de sa fusibilité, mais encore de la manière dont on le traite, de la percussion plus lente ou plus prompte, et de l'addition de chaleur ou de feu qu'on lui donne à propos.

II. — Maintenant, si nous comparons les substances qu'on appelle *demi-métaux et minéraux métalliques* qui manquent de ductilité, nous verrons que l'ordre de leur densité est émeril, zinc, antimoine, bismuth, et que celui dans lequel ils reçoivent et perdent la chaleur est antimoine, bismuth, zinc, émeril, ce qui ne suit en aucune façon l'ordre de leur densité, mais plutôt celui de leur fusibilité. L'émeril, qui est un minéral ferrugineux, quoique une fois moins dense que le bismuth, conserve la chaleur une fois plus longtemps;

le zinc, plus léger que l'antimoine et le bismuth, conserve aussi la chaleur plus longtemps; l'antimoine et le bismuth la reçoivent et la gardent à peu près également. Il en est donc des demi-métaux et des minéraux métalliques comme des métaux: le rapport dans lequel ils reçoivent et perdent la chaleur est à peu près le même que celui de leur fusibilité, et ne tient que très peu ou point du tout à celui de leur densité.

Mais en joignant ensemble les six métaux et les quatre demi-métaux ou minéraux métalliques que j'ai soumis à l'épreuve, on verra que l'ordre des densités de ces dix substances est:

Émeril, zinc, antimoine, étain, fer, cuivre, bismuth, argent, plomb, or;

Et que l'ordre dans lequel ces substances s'échauffent et se refroidissent est

Antimoine, bismuth, étain, plomb, argent, zinc, or, cuivre, émeril, fer,

Dans lequel il y a deux choses qui ne paraissent pas bien d'accord avec l'ordre de la fusibilité:

1° L'antimoine qui devrait s'échauffer et se refroidir plus lentement que le plomb, puisqu'on a vu par les expériences de Newton, citées dans le Mémoire précédent, que l'antimoine demande pour se fondre dix degrés de la même chaleur dont il n'en faut que huit pour fondre le plomb; au lieu que, par mes expériences, il se trouve que l'antimoine s'échauffe et se refroidit plus vite que le plomb. Mais on observera que Newton s'est servi de régule d'antimoine, et que je n'ai employé dans mes expériences que de l'antimoine fondu; or, le régule d'antimoine ou l'antimoine naturel est bien plus difficile à fondre que l'antimoine qui a déjà subi une première fusion; ainsi cela ne fait point une exception à la règle. Au reste, j'ignore quel rapport il y aurait entre l'antimoine naturel ou régule d'antimoine et les autres matières que j'ai fait chauffer et refroidir; mais je présume, d'après l'expérience de Newton, qu'il s'échaufferait et se refroidirait plus lentement que le plomb;

2° L'on prétend que le zinc se fond bien plus aisément que l'argent: par conséquent il devrait se trouver avant l'argent dans l'ordre indiqué par mes expériences, si cet ordre était dans tous les cas relatif à celui de la fusibilité; et j'avoue que ce demi-métal semble, au premier coup d'œil, faire une exception à cette loi que suivent tous les autres; mais il faut observer: 1° que la différence donnée par mes expériences entre le zinc et l'argent est fort petite; 2° que le petit globe d'argent dont je me suis servi était de l'argent le plus pur, sans la moindre partie de cuivre, ni d'autre alliage, et l'argent pur doit se fondre plus aisément et s'échauffer plus vite que l'argent mêlé de cuivre; 3° quoique le petit globe de zinc m'ait été donné par un de nos habiles chimistes (a), ce n'est peut-être pas du zinc absolument pur et sans mélange de cuivre, ou de quelque autre matière encore moins fusible. Comme ce soupçon m'était resté après toutes mes expériences faites, j'ai remis le globe de zinc à M. Rouelle qui me l'avait donné, en le priant de s'assurer s'il ne contenait pas du fer ou du cuivre, ou quelque autre matière qui s'opposerait à sa fusibilité. Les épreuves en ayant été faites, M. Rouelle a trouvé dans ce zinc une quantité assez considérable de fer ou safran de mars: j'ai donc eu la satisfaction de voir que non seulement mon soupçon était bien fondé, mais encore que mes expériences ont été faites avec assez de précision pour faire reconnaître un mélange dont il n'était pas aisé de se douter; ainsi le zinc suit aussi exactement que les autres métaux et demi-métaux dans le progrès de la chaleur l'ordre de la fusibilité, et ne fait point une exception à la règle. On peut donc dire, en général, que le progrès de la chaleur dans les métaux, demi-métaux et minéraux métalliques est en même raison, ou du moins en raison très voisine de celle de leur fusibilité (b).

(a) M. Rouelle, démonstrateur de chimie aux écoles du Jardin du Roi.

(b) Le globe de zinc sur lequel ont été faites toutes ces expériences s'étant trouvé mêlé d'une portion de fer, j'ai été obligé de substituer dans la table générale aux premiers rap-

III. — Les matières vitrescibles et vitrées que j'ai mises à l'épreuve, étant rangées suivant l'ordre de leur densité, sont :

Pierre ponce, porcelaine, ocre, glaise, verre, cristal de roche et grès : car je dois observer que, quoique le cristal ne soit porté dans la table des poids de chaque matière que pour 6 gros 22 grains, il doit être supposé d'environ 1 gros, parce qu'il était sensiblement trop petit, et c'est par cette raison que je l'ai exclu de la table générale des rapports, ayant rejeté toutes les expériences que j'ai faites avec ce globe trop petit. Néanmoins le résultat général s'accorde assez avec les autres pour que je puisse le présenter. Voici donc l'ordre dans lequel ces différentes substances se sont refroidies :

Pierre ponce, ocre, porcelaine, glaise, verre, cristal et grès, qui, comme l'on voit, est le même que celui de la densité, car l'ocre ne se trouve ici avant la porcelaine que parce qu'étant une matière friable, il s'est diminué par le frottement qu'il a subi dans les expériences, et d'ailleurs sa densité diffère si peu de la porcelaine, qu'on peut les regarder comme égales.

Ainsi la loi du progrès de la chaleur dans les matières vitrescibles et vitrées est relative à l'ordre de leur densité, et n'a que peu ou point de rapport avec leur fusibilité, par la raison qu'il faut, pour fondre toutes ces substances, un degré presque égal du feu le plus violent, et que les degrés particuliers de leur différente fusibilité sont si près les uns des autres qu'on ne peut pas en faire un ordre composé de termes distincts. Ainsi leur fusibilité presque égale ne faisant qu'un terme, qui est l'extrême de cet ordre de fusibilité, on ne doit pas être étonné de ce que le progrès de la chaleur suit ici l'ordre de la densité, et que ces différentes substances, qui toutes sont également difficiles à fondre, s'échauffent et se refroidissent plus lentement et plus vite, à proportion de la quantité de matière qu'elles contiennent.

On pourra m'objecter que le verre se fond plus aisément que la glaise, la porcelaine, l'ocre et la pierre ponce, qui néanmoins s'échauffent et se refroidissent en moins de temps que le verre; mais l'objection tombera lorsqu'on réfléchira qu'il faut, pour fondre le verre, un feu très violent dont le degré est si éloigné des degrés de chaleur que reçoit le verre dans nos expériences sur le refroidissement qu'il ne peut influer sur ceux-ci. D'ailleurs, en pulvérisant la glaise, la porcelaine, l'ocre et la pierre ponce, et leur donnant des fondants analogues, comme l'on en donne au sable pour le convertir en verre, il est plus que probable qu'on ferait fondre toutes ces matières au même degré de feu, et que par conséquent on doit regarder comme égale ou presque égale leur résistance à la fusion, et c'est par cette raison que la loi du progrès de la chaleur dans ces matières se trouve proportionnelle à l'ordre de leur densité.

IV. — Les matières calcaires rangées suivant l'ordre de leur densité, sont :

Craie, pierre tendre, pierre dure, marbre commun, marbre blanc.

L'ordre dans lequel elles s'échauffent et se refroidissent est craie, pierre tendre, pierre dure, marbre commun et marbre blanc, qui, comme l'on voit, est le même que celui de leur densité. La fusibilité n'y entre pour rien, parce qu'il faut d'abord un très grand degré de feu pour les calciner, et que, quoique la calcination en divise les parties, on ne doit en regarder l'effet que comme un premier degré de fusion, et non pas comme une fusion complète; toute la puissance des meilleurs miroirs ardents suffit à peine pour

ports, de nouveaux rapports que j'ai placés sous les autres : par exemple, le rapport du fer au zinc de 10,000 à 7,654 n'est pas le vrai rapport, et c'est celui de 10,000 à 6,804 écrit au-dessous qu'il faut adopter; il en est de même de toutes les autres corrections que j'ai faites d'un neuvième sur chaque nombre, parce que j'ai reconnu que la portion de fer contenue dans ce zinc, avait diminué au moins d'un neuvième le progrès de la chaleur.

l'opérer : j'ai fondu et réduit en une espèce de verre quelques-unes de ces matières calcaires au foyer d'un de mes miroirs, et je me suis convaincu que ces matières peuvent, comme toutes les autres, se réduire ultérieurement en verre, sans y employer aucun fondant, et seulement par la force d'un feu bien supérieur à celui de nos fourneaux. Par conséquent le terme commun de leur fusibilité est encore plus éloigné et plus extrême que celui des matières vitrées, et c'est par cette raison qu'elles suivent aussi plus exactement dans le progrès de la chaleur l'ordre de la densité.

Le gypse blanc, qu'on appelle improprement albâtre, est une matière qui se calcine comme tous les autres plâtres, à un degré de feu plus médiocre que celui qui est nécessaire pour la calcination des matières calcaires ; aussi ne suit-il pas l'ordre de la densité dans le progrès de la chaleur qu'il reçoit ou qu'il perd, car, quoique beaucoup plus dense que la craie, et un peu plus dense que la pierre calcaire blanche, il s'échauffe et se refroidit néanmoins bien plus promptement que l'une et l'autre de ces matières. Ceci nous démontre que la calcination et la fusion plus ou moins facile produisent le même effet relativement au progrès de la chaleur. Les matières gypseuses ne demandent pas pour se calciner autant de feu que les matières calcaires, et c'est par cette raison que, quoique plus denses, elles s'échauffent et se refroidissent plus vite.

Ainsi on peut assurer, en général, que le *progrès de la chaleur dans toutes les substances minérales est toujours à très peu près en raison de leur plus ou moins grande facilité à se calciner ou à se fondre* ; mais que, quand leur calcination ou leur fusion sont également difficiles, et qu'elles exigent un degré de chaleur extrême, alors le progrès de la chaleur se fait suivant l'ordre de leur densité.

Au reste, j'ai déposé au Cabinet du Roi les globes d'or, d'argent et de toutes les autres substances métalliques et minérales qui ont servi aux expériences précédentes, afin de les rendre plus authentiques, en mettant à portée de les vérifier ceux qui voudraient douter de la vérité de leurs résultats et de la conséquence générale que je viens d'en tirer.

TROISIÈME MÉMOIRE

OBSERVATIONS SUR LA NATURE DU PLATINE (*).

On vient de voir que de toutes les substances minérales que j'ai mises à l'épreuve, ce ne sont pas les plus denses, mais les moins fusibles auxquelles il faut le plus de temps pour recevoir et perdre la chaleur ; le fer et l'émeril, qui sont les matières métalliques les plus difficiles à fondre, sont en même temps celles qui s'échauffent et se refroidissent le plus lentement. Il n'y a dans la nature que le platine qui pourrait être encore moins accessible à la chaleur, et qui la conserverait plus longtemps que le fer. Ce minéral, dont on ne parle que depuis peu, paraît être encore plus difficile à fondre ; le feu des meilleurs fourneaux n'est pas assez violent pour produire cet effet, ni même pour en agglutiner les petits grains qui sont tous anguleux, émoussés, durs, et assez semblables pour la forme à de la grosse limaille de fer, mais d'une couleur un peu jaunâtre ; et quoiqu'on puisse les faire couler sans addition de fondants, et les réduire en masse au foyer d'un bon miroir brûlant, le platine semble exiger plus de chaleur que la mine et la limaille de fer, que nous faisons aisément fondre à nos fourneaux de forge. D'ailleurs la densité du pla-

(*) Buffon met platine au féminin ; j'ai cru devoir corriger son texte et remplacer partout le féminin par le masculin qui est le genre aujourd'hui donné au platine.

platine étant beaucoup plus grande que celle du fer, les deux qualités de densité et de non-fusibilité se réunissent ici pour rendre cette matière la moins accessible de toutes au progrès de la chaleur. Je présume donc que le platine serait à la tête de ma table et avant le fer, si je l'avais mis en expérience; mais il ne m'a pas été possible de m'en procurer un globe d'un pouce de diamètre : on ne le trouve qu'en grains (a), et celui qui est en masse n'est pas pur, parce qu'on y a mêlé, pour la fondre, d'autres matières qui en ont altéré la nature. Un de mes amis (b) homme de beaucoup d'esprit, qui a la bonté de partager souvent mes vues, m'a mis à portée d'examiner cette substance métallique encore rare, et qu'on ne connaît pas assez. Les chimistes qui ont travaillé sur le platine l'ont regardé comme un métal nouveau, parfait, propre, particulier et différent de tous les autres métaux; ils ont assuré que sa pesanteur spécifique était à très peu près égale à celle de l'or, que néanmoins ce huitième métal différait d'ailleurs essentiellement de l'or, n'en ayant ni la ductilité ni la fusibilité. J'avoue que je suis dans une opinion différente et même tout opposée. Une matière qui n'a ni ductilité ni fusibilité ne doit pas être mise au nombre des métaux, dont les propriétés essentielles et communes sont d'être fusibles et ductiles. Et le platine, d'après l'examen que j'en ai pu faire, ne me paraît pas être un nouveau métal différent de tous les autres, mais un mélange, un alliage de fer et d'or formé par la nature, dans lequel la quantité d'or semble dominer sur la quantité de fer; et voici les faits sur lesquels je crois pouvoir fonder cette opinion (*).

De huit onces trente-cinq grains de platine que m'a fournis M. d'Angivillers, et que j'ai présentés à une forte pierre d'aimant, il ne m'en est resté qu'une once un gros vingt-neuf grains; tout le reste a été enlevé par l'aimant à deux gros près, qui ont été réduits en poudre qui s'est attachée aux feuilles de papier, et qui les a profondément noircies, comme je le dirai tout à l'heure; cela fait donc à très peu près six septièmes du total qui ont été attirés par l'aimant, ce qui est une quantité si considérable, relativement au tout, qu'il est impossible de se refuser à croire que le fer ne soit contenu dans la substance intime du platine, et qu'il n'y soit même en assez grande quantité. Il y a plus: c'est que si je ne m'étais pas lassé de ces expériences, qui ont duré plusieurs jours, j'aurais encore tiré par l'aimant une grande partie du restant de mes huit onces de platine, car l'aimant en attirait encore quelques grains un à un, et quelquefois deux quand on a cessé de le présenter. Il y a donc beaucoup de fer dans le platine; et il n'y est pas simplement mêlé comme matière étrangère, mais intimement uni, et faisant partie de sa substance, ou, si l'on veut le nier, il faudra supposer qu'il existe dans la nature une seconde matière qui, comme le fer, est attirable par l'aimant; mais cette supposition gratuite tombera par les autres faits que je vais rapporter.

Tout le platine que j'ai eu occasion d'examiner m'a paru mélangé de deux matières différentes, l'une noire et très attirable par l'aimant, l'autre en plus gros grains d'un blanc livide un peu jaunâtre et beaucoup moins magnétique que la première; entre ces deux matières, qui sont les deux extrêmes de cet espèce de mélange, se trouvent toutes les nuances intermédiaires, soit pour le magnétisme, soit pour la couleur et la grosseur des

(a) Un homme digne de foi m'a néanmoins assuré qu'on trouve quelquefois du platine en masse, et qu'il en avait vu un morceau de vingt livres pesant qui n'avait point été fondu, mais tiré de la mine même.

(b) M. le comte de la Billarderie d'Angivillers, de l'Académie des Sciences, intendant en survivance du Jardin et du Cabinet du Roi.

(*) Le platine est un corps simple et non un alliage de fer et d'or, comme le pensait Buffon.

grains. Les plus magnétiques, qui sont en même temps les plus noirs et les plus petits, se réduisent aisément en poudre par un frottement assez léger, et laissent sur le papier blanc la même couleur que le plomb frotté. Sept feuilles de papier dont on s'est servi successivement pour exposer le platine à l'action de l'aimant ont été noircies sur toute l'étendue qu'occupait le platine, les dernières feuilles moins que les premières à mesure qu'il se triait, et que les grains qui restaient étaient moins noirs et moins magnétiques. Les plus gros grains, qui sont les plus colorés et les moins magnétiques, au lieu de se réduire en poussière comme les petits grains noirs, sont au contraire très durs et résistent à toute trituration ; néanmoins ils sont susceptibles d'extension dans un mortier d'agate (a), sous les coups réitérés d'un pilon de même matière, et j'en ai aplati et étendu plusieurs grains au double et au triple de l'étendue de leur surface ; cette partie du platine a donc un certain degré de malléabilité et de ductilité, tandis que la partie noire ne paraît être ni malléable ni ductile. Les grains intermédiaires participent des qualités des deux extrêmes ; ils sont aigres et durs, ils se cassent ou s'étendent plus difficilement sous les coups du pilon, et donnent un peu de poudre noire, mais moins noire que la première.

Ayant recueilli cette poudre noire et les grains les plus magnétiques que l'aimant avait attirés les premiers, j'ai reconnu que le tout était du vrai fer, mais dans un état différent du fer ordinaire. Celui-ci, réduit en poudre et en limaille, se charge de l'humidité et se rouille aisément ; à mesure que la rouille le gagne, il devient moins magnétique et finit absolument par perdre cette qualité magnétique lorsqu'il est entièrement et intimement rouillé : au lieu que cette poudre de fer, ou, si l'on veut, ce sablon ferrugineux qui se trouve dans le platine, est au contraire inaccessible à la rouille, quelque longtemps qu'il soit exposé à l'humidité ; il est aussi plus infusible et beaucoup moins dissoluble que le fer ordinaire, mais ce n'en est pas moins du fer, qui ne m'a paru différer du fer connu que par une plus grande pureté. Ce sablon est en effet du fer absolument dépouillé de toutes les parties combustibles, salines et terreuses qui se trouvent dans le fer ordinaire et même dans l'acier ; il paraît enduit et recouvert d'un vernis vitreux qui le défend de toute altération. Et ce qu'il y a de très remarquable, c'est que ce sablon de fer pur n'appartient pas exclusivement à beaucoup près à la mine de platine ; j'en ai trouvé, quoique toujours en petite quantité, dans plusieurs endroits où l'on a fouillé les mines de fer qui se consomment à mes forges. Comme je suis dans l'usage de soumettre à plusieurs épreuves toutes les mines que je fais exploiter avant de me déterminer à les faire travailler en grand pour l'usage de mes fourneaux, je fus assez surpris de voir que dans quelques-unes de ces mines, qui toutes sont en grains, et dont aucune n'est attirable par l'aimant, il se trouvait néanmoins des particules de fer un peu arrondies et luisantes comme de la limaille de fer, et tout à fait semblables au sablon ferrugineux du platine ; elles sont tout aussi magnétiques, tout aussi peu fusibles, tout aussi difficilement dissolubles. Tel fut le résultat de la comparaison que je fis du sablon du platine et de ce sablon trouvé dans deux de mes mines de fer à trois pieds de profondeur, dans des terrains où l'eau pénètre assez facilement : j'avais peine à concevoir d'où pouvaient provenir ces particules de fer, comment elles avaient pu se défendre de la rouille, depuis des siècles qu'elles sont exposées à l'humidité de la terre, enfin comment ce fer très magnétique pouvait avoir été produit dans des veines de mines qui ne le sont point du tout. J'ai appelé l'expérience à mon secours, et je me suis assez éclairé sur tous ces points pour être satisfait. Je savais, par un grand nombre d'observations, qu'aucune de nos mines de fer en grains n'est attirable par l'aimant ; j'étais bien persuadé, comme je le suis encore, que toutes les mines de fer qui sont magnétiques n'ont acquis cette propriété que par l'action du feu ; que les mines

(a) Je n'ai pas voulu les étendre sur le tas d'acier, dans la crainte de leur communiquer plus de magnétisme qu'ils n'en ont naturellement

du Nord, qui sont assez magnétiques pour qu'on les cherche avec la boussole, doivent leur origine à l'élément du feu, tandis que toutes nos mines en grains, qui ne sont point du tout magnétiques, n'ont jamais subi l'action du feu, et n'ont été formées que par le moyen ou l'intermède de l'eau. Je pensai donc que ce sablon ferrugineux et magnétique que je trouvais en petite quantité dans mes mines de fer devait son origine au feu, et ayant examiné le local, je me confirmai dans cette idée. Le terrain où se trouve ce sablon magnétique est en bois; de temps immémorial, on y a fait très anciennement et on y fait tous les jours des fourneaux de charbon; il est aussi plus que probable qu'il y a eu dans ces bois des incendies considérables. Le charbon et le bois brûlé, surtout en grande quantité, produisent du mâchefer, et ce mâchefer renferme la partie la plus fixe du fer que contiennent les végétaux; c'est ce fer fixe qui forme le sablon dont il est question lorsque le mâchefer se décompose par l'action de l'air, du soleil et des pluies, car alors ces particules de fer pur, qui ne sont point sujettes à la rouille ni à aucune autre espèce d'altération, se laissent entraîner par l'eau et pénètrent dans la terre avec elle à quelques pieds de profondeur. On pourra vérifier ce que j'avance ici en faisant broyer du mâchefer bien brûlé; on y trouvera toujours une petite quantité de ce fer pur, qui, ayant résisté à l'action du feu, résiste également à celle des dissolvants, et ne donne point de prise à la rouille (a).

M'étant satisfait sur ce point, et après avoir comparé le sablon tiré de mes mines de fer et du mâchefer avec celui du platine assez pour ne pouvoir douter de leur identité, je ne fus pas longtemps à penser, vu la pesanteur spécifique du platine, que si ce sablon de fer pur, provenant de la décomposition du mâchefer, au lieu d'être dans une mine de fer, se trouvait dans le voisinage d'une mine d'or, il aurait, en s'unissant à ce dernier métal, formé un alliage qui serait absolument de la même nature que le platine. On sait que l'or et le fer ont un grand degré d'affinité; on sait que la plupart des mines de fer contiennent une petite quantité d'or; on sait donner à l'or la teinte, la couleur et même l'aigre du fer en les faisant fondre ensemble; on emploie cet or couleur de fer sur différents bijoux d'or, pour en varier les couleurs; et cet or mêlé de fer est plus ou moins gris et plus ou moins aigre, suivant la quantité de fer qui entre dans le mélange. J'en ai vu d'une teinte absolument semblable à la couleur du platine. Ayant demandé à un orfèvre quelle était la proportion de l'or et du fer dans ce mélange qui était de la couleur du platine, il me dit que l'or de 24 karats n'était plus qu'à 18 karats, et qu'il y entraient un quart de fer. On verra que c'est à peu près la proportion qui se trouve dans le platine naturel, si l'on en juge par la pesanteur spécifique. Cet or mêlé de fer est plus dur, plus aigre et spécifiquement moins pesant que l'or pur; toutes ces convenances, toutes ces qualités communes avec le platine m'ont persuadé que ce prétendu métal n'est dans le vrai qu'un alliage d'or et de fer, et non pas une substance particulière, un métal nouveau, parfait et différent de tous les autres métaux, comme les chimistes l'ont avancé.

On peut d'ailleurs se rappeler que l'alliage aigrit tous les métaux, et que quand il y a

(a) J'ai reconnu, dans le cabinet d'Histoire naturelle, des sables ferrugineux de même espèce que celui de mes mines, qui m'ont été envoyés de différents endroits et qui sont également magnétiques. On en trouve à Quimper en Bretagne, en Danemark, en Sibérie, à Saint-Domingue, et les ayant tous comparés, j'ai vu que le sablon ferrugineux de Quimper était celui qui ressemblait le plus au mien, et qu'il n'en différait que par un peu plus de pesanteur spécifique. Celui de Saint-Domingue est plus léger, celui de Danemark est moins pur et plus mélangé de terre, et celui de Sibérie est en masse et en morceaux gros comme le pouce, solides, pesants, et que l'aimant soulève à peu près comme si c'était une masse de fer pur. On peut donc présumer que ces sables magnétiques provenant du mâchefer se trouvent aussi communément que le mâchefer même, mais seulement en bien plus petite quantité. Il est rare qu'on en trouve des amas un peu considérables, et c'est par cette raison qu'ils ont échappé, pour la plupart, aux recherches des minéralogistes.

pénétration, c'est-à-dire augmentation dans la pesanteur spécifique, l'alliage en est d'autant plus aigre que la pénétration est plus grande, et le mélange devenu plus intime, comme on le reconnaît dans l'alliage appelé *métal des cloches*, quoiqu'il soit composé de deux métaux très ductiles. Or, rien n'est plus aigre ni plus pesant que le platine ; cela seul aurait dû faire soupçonner que ce n'est qu'un alliage fait par la nature, un mélange de fer et d'or, qui doit sa pesanteur spécifique en partie à ce dernier métal, et peut-être aussi en grande partie à la pénétration des deux matières dont il est composé.

Néanmoins cette pesanteur spécifique du platine n'est pas aussi grande que nos chimistes l'ont publié. Comme cette matière traitée seule et sans addition de fondants est très difficile à réduire en masse, qu'on n'en peut obtenir au feu du miroir brûlant que de très petites masses et que les expériences hydrostatiques faites sur des petits volumes sont si défectueuses qu'on n'en peut rien conclure, il me paraît qu'on s'est trompé sur l'estimation de la pesanteur spécifique de ce minéral. J'ai mis de la poudre d'or dans un petit tuyau de plume que j'ai pesé très exactement, j'ai mis dans le même tuyau un égal volume de platine, il pesait près d'un dixième de moins, mais cette poudre d'or était beaucoup trop fine en comparaison du platine. M. Tillet, qui joint à une connaissance approfondie des métaux, le talent rare de faire des expériences avec la plus grande précision, a bien voulu répéter, à ma prière, celle de la pesanteur spécifique du platine comparé à l'or pur. Pour cela, il s'est servi comme moi d'un tuyau de plume, et il a fait couper à la cisaille de l'or à 24 karats, réduit autant qu'il était possible à la grosseur des grains du platine, et il a trouvé par huit expériences, que la pesanteur du platine différait de celle de l'or pur d'un quinzième à très peu près ; mais nous avons observé tous deux que les grains d'or coupés à la cisaille avaient les angles beaucoup plus vifs que le platine ; celui-ci, vu à la loupe, est à peu près de la forme des galets roulés par l'eau, tous les angles sont émoussés, il est même doux au toucher, au lieu que les grains de cet or coupés à la cisaille avaient des angles vifs et des pointes tranchantes, en sorte qu'ils ne pouvaient pas s'ajuster ni s'entasser les uns sur les autres aussi aisément que ceux du platine ; tandis qu'au contraire la poudre d'or dont je me suis servi était de l'or en paillettes, telles que les arpailleurs les trouvent dans le sable des rivières. Ces paillettes s'ajustent beaucoup mieux les unes contre les autres ; j'ai trouvé environ un dixième de différence entre le poids spécifique de ces paillettes et celui du platine ; néanmoins ces paillettes ne sont pas ordinairement d'or pur, il s'en faut souvent plus de deux ou trois karats, ce qui en doit diminuer en même rapport la pesanteur spécifique ; ainsi tout bien considéré et comparé, nous avons cru qu'on pouvait maintenir le résultat de mes expériences, et assurer que le platine en grains et tel que la nature le produit, est au moins d'un onzième ou d'un douzième moins pesant que l'or. Il y a toute apparence que cette erreur de fait sur la densité du platine, vient de ce qu'on ne l'aura pas pesé dans son état de nature, mais seulement après l'avoir réduit en masse : et comme cette fusion ne peut se faire que par l'addition d'autres matières et à un feu très violent, ce n'est plus du platine pur, mais un composé dans lequel sont entrées des matières fondantes, et duquel le feu a enlevé toutes les parties les plus légères.

Ainsi le platine, au lieu d'être d'une densité égale ou presque égale à celle de l'or pur, comme l'ont avancé les auteurs qui en ont écrit, n'est que d'une densité moyenne entre celle de l'or et celle du fer, et seulement plus voisine de celle de ce premier métal que de celle du dernier. Supposons donc que le pied cube d'or pèse treize cent vingt-six livres, et celui du fer pur cinq cent quatre-vingts livres, celui du platine en grains se trouvera peser environ onze cent quatre-vingt-quatorze livres, ce qui supposerait plus des trois quarts d'or sur un quart de fer dans cet alliage, s'il n'y a pas de pénétration ; mais comme on en tire six septièmes à l'aimant, on pourrait croire que le fer y est en quantité de plus d'un quart, d'autant plus qu'en s'obstinant à cette expérience, je suis persuadé qu'on viendrait

à bout d'enlever avec un fort aimant tout le platine jusqu'au dernier grain. Néanmoins, on n'en doit pas conclure que le fer y soit contenu en si grande quantité : car, lorsqu'on le mêle par la fonte avec l'or, la masse qui résulte de cet alliage est attirable par l'aimant, quoique le fer n'y soit qu'en petite quantité; j'ai vu, entre les mains de M. Baumé, un bouton de cet alliage, pesant soixante-six grains, dans lequel il n'était entré que six grains, c'est-à-dire un onzième de fer, et ce bouton se laissait enlever aisément par un bon aimant. Dès lors, le platine pourrait bien ne contenir qu'un onzième de fer sur dix onzièmes d'or, et donner néanmoins tous les mêmes phénomènes, c'est-à-dire être attiré en entier par l'aimant; et cela s'accorderait parfaitement avec la pesanteur spécifique, qui est d'un dixième ou d'un douzième moindre que celle de l'or.

Mais ce qui me fait présumer que le platine contient plus d'un onzième de fer sur dix onzièmes d'or, c'est que l'alliage qui résulte de cette proportion est encore couleur d'or et beaucoup plus jaune que ne l'est le platine le plus coloré, et qu'il faut un quart de fer sur trois quarts d'or pour que l'alliage ait précisément la couleur naturelle du platine. Je suis donc très porté à croire qu'il pourrait bien y avoir cette quantité d'un quart de fer dans le platine. Nous nous sommes assurés, M. Tillet et moi, par plusieurs expériences, que le sablon de ce fer pur, que contient le platine, est plus pesant que la limaille de fer ordinaire; ainsi, cette cause ajoutée à l'effet de la pénétration suffit pour rendre raison de cette grande quantité de fer contenue sous le petit volume indiqué par la pesanteur spécifique du platine.

Au reste, il est très possible que je me trompe dans quelques-unes des conséquences que j'ai cru devoir tirer de mes observations sur cette substance métallique; je n'ai pas été à portée d'en faire un examen aussi approfondi que j'aurais voulu; ce que j'en dis n'est que ce que j'ai vu, et pourra peut-être servir à faire voir mieux.

PREMIÈRE ADDITION

Comme j'étais sur le point de livrer ces feuilles à l'impression, le hasard fit que je parlai de mes idées sur le platine à M. le comte de Milly, qui a beaucoup de connaissances en physique et en chimie; il me répondit qu'il pensait à peu près comme moi sur la nature de ce minéral; je lui donnai le Mémoire ci-dessus pour l'examiner, et deux jours après il eut la bonté de m'envoyer les observations suivantes, que je crois aussi bonnes que les miennes, et qu'il m'a permis de publier ensemble.

« J'ai pesé exactement trente-six grains de platine; je l'ai étendu sur une feuille de papier blanc pour pouvoir mieux l'observer avec une bonne loupe, j'y ai aperçu ou j'ai cru y apercevoir très distinctement trois substances différentes : la première avait le brillant métallique, elle était la plus abondante; la seconde vitriforme, tirant sur le noir, ressemble assez à une matière métallique ferrugineuse qui aurait subi un degré de feu considérable, telles que les scories de fer, appelées vulgairement *mâchefer*; la troisième, moins abondante que les deux premières, est du sable de toutes couleurs où cependant le jaune, couleur de topaze, domine; chaque grain de sable, considéré à part, offre à la vue des cristaux réguliers de différentes couleurs; j'en ai remarqué de cristallisés en aiguilles hexagones, se terminant en pyramide comme le cristal de roche, et il m'a semblé que ce sable n'était qu'un *détritus* de cristaux de roche ou de quartz de différentes couleurs.

« Je formai le projet de séparer, le plus exactement possible, ces différentes substances par le moyen de l'aimant, et de mettre à part la partie la plus attirable à l'aimant d'avec

» celle qui l'était moins, et enfin de celle qui ne l'était pas du tout; ensuite d'examiner
 » chaque substance en particulier et de les soumettre à différentes épreuves chimiques et
 » mécaniques.

» Je mis à part les parties du platine qui furent attirées avec vivacité à la distance de
 » deux ou trois lignes, c'est-à-dire sans le contact de l'aimant, et je me servis, pour cette
 » expérience, d'un bon aimant factice de M. l'abbé ...; ensuite, je touchai avec ce même
 » aimant le métal, et j'en enlevai tout ce qui voulut céder à l'effort magnétique, que je mis
 » à part; je pesai ce qui était resté et qui n'était presque plus attirable; cette matière non
 » attirable, et que je nommerai n° 4, pesait vingt-trois grains; n° 1^{er}, qui était le plus sen-
 » sible à l'aimant, pesait quatre grains; n° 2 pesait de même quatre grains; et n° 3 cinq
 » grains.

» N° 1^{er}, examiné à la loupe, n'offrait à la vue qu'un mélange de parties métalliques
 » d'un blanc sale tirant sur le gris, aplaties et arrondies en forme de galets et de sable
 » noir vitriforme, ressemblant à du mâchefer pilé, dans lequel on aperçoit des parties très
 » rouillées, enfin telles que les scories de fer en présentent lorsqu'elles ont été exposées à
 » l'humidité.

» N° 2 présentait à peu près la même chose, à l'exception que les parties métalliques
 » dominaient, et qu'il n'y en avait que très peu de rouillées.

» N° 3 était la même chose, mais les parties métalliques étaient plus volumineuses :
 » elles ressemblaient à du métal fondu, et qui a été jeté dans l'eau pour le diviser en gre-
 » nailles; elles sont aplaties, elles affectent toutes sortes de figures, mais arrondies sur les
 » bords, à la manière des galets qui ont été roulés et polis par les eaux.

» N° 4, qui n'avait point été enlevé par l'aimant, mais dont quelques parties donnaient
 » encore des marques de sensibilité au magnétisme, lorsqu'on passait l'aimant sous le pa-
 » pier où elles étaient étendues, était un mélange de sable, de parties métalliques et de
 » vrai mâchefer friable sous les doigts, qui noircissait à la manière du mâchefer ordinaire.
 » Le sable semblait être composé de petits cristaux de topaze, de cornaline et de cristal de
 » roche; j'en écrasai quelques cristaux sur un tas d'acier, et la poudre qui en résulta était
 » comme du vernis réduit en poudre; je fis la même chose au mâchefer, il s'écrasa avec
 » la plus grande facilité, et il m'offrit une poudre noire ferrugineuse qui noircissait le pa-
 » pier comme le mâchefer ordinaire.

» Les parties métalliques de ce dernier (n° 4) me parurent plus ductiles sous le mar-
 » teau que celles du n° 1^{er}, ce qui me fit croire qu'elles contenaient moins de fer que les
 » premières; d'où il s'ensuit que le platine pourrait fort bien n'être qu'un mélange de fer
 » et d'or fait par la nature, ou peut-être de la main des hommes, comme je le dirai par la
 » suite.

» Je tâcherai d'examiner, par tous les moyens qui me seront possibles, la nature du
 » platine, si je peux en avoir à ma disposition en suffisante quantité; en attendant, voici
 » les expériences que j'ai faites.

» Pour m'assurer de la présence du fer dans le platine par des moyens chimiques, je
 » pris les deux extrêmes, c'est-à-dire n° 1^{er}, qui était très attirable à l'aimant, et n° 4, qui
 » ne l'était pas; je les arrosai avec de l'esprit de nitre un peu fumant, j'observai avec la
 » loupe ce qui en résulterait, mais je n'y aperçus aucun mouvement d'effervescence; j'y
 » ajoutai de l'eau distillée, et il ne se fit encore aucun mouvement, mais les parties métal-
 » liques se décapèrent, et elles prirent un brillant nouveau semblable à celui de l'argent;
 » j'ai laissé ce mélange tranquille pendant cinq ou six minutes, et ayant encore ajouté de
 » l'eau, j'y laissai tomber quelques gouttes de la liqueur alcaline saturée de la matière colo-
 » rante du bleu de Prusse, et sur-le-champ le n° 1^{er} me donna un très beau bleu de Prusse.

» Le n° 4 ayant été traité de même, et quoiqu'il se fût refusé à l'action de l'aimant et à
 » celle de l'esprit de nitre, me donna, de même que le n° 1^{er}, du très beau bleu de Prusse.

» Il y a deux choses fort singulières à remarquer dans ces expériences : 1^o il passe pour constant, parmi les chimistes qui ont traité le platine, que l'eau forte ou l'esprit de nitre n'a aucune action sur lui ; cependant, comme on vient de le voir, il s'en dissout assez, quoique sans effervescence, pour donner du bleu de Prusse lorsqu'on y ajoute de la liqueur alcaline phlogistiquée et saturée de la matière colorante, qui, comme on sait, précipite le fer en bleu de Prusse.

» 2^o Le platine, qui n'est pas sensible à l'aimant, n'en contient pas moins du fer, puisque l'esprit de nitre en dissout assez, sans occasionner d'effervescence, pour former du bleu de Prusse.

» D'où il s'ensuit que cette substance que les chimistes modernes, peut-être trop avides du merveilleux et de vouloir donner du nouveau, regardent comme un huitième métal, pourrait bien n'être, comme je l'ai dit, qu'un mélange d'or et de fer.

» Il reste sans doute bien des expériences à faire pour pouvoir déterminer comment ce mélange a pu avoir lieu ; si c'est l'ouvrage de la nature et comment ; ou si c'est le produit de quelque volcan, ou simplement le produit des travaux que les Espagnols ont fait dans le nouveau monde pour retirer l'or du Pérou ; je ferai mention par la suite de mes conjectures là-dessus.

» Si l'on frotte du platine naturel sur un linge blanc, il le noircit comme pourrait le faire le mâchefer ordinaire, ce qui m'a fait soupçonner que ce sont les parties de fer réduit en mâchefer qui se trouve dans le platine qui donnent cette couleur, et qui ne sont dans cet état que pour avoir éprouvé l'action d'un feu violent. D'ailleurs, ayant examiné une seconde fois le platine avec ma loupe, j'y aperçus différents globules de mercure coulant, ce qui me fit imaginer que le platine pourrait bien être un produit de la main des hommes, et voici comment :

» Le platine, à ce qu'on m'a dit, se tire des mines les plus anciennes du Pérou, que les Espagnols ont exploitées après la conquête du nouveau monde : dans ces temps reculés on ne connaissait guère que deux manières d'extraire l'or des sables qui le contiennent : 1^o par l'amalgame du mercure ; 2^o par le départ à sec : on triturait le sable aurifère avec du mercure, et lorsqu'on jugeait qu'il s'était chargé de la plus grande partie de l'or, on rejetait le sable, qu'on nommait *crasse*, comme inutile et de nulle valeur.

» Le départ à sec se faisait avec aussi peu d'intelligence : pour y vaquer, on commençait par minéraliser les métaux aurifères par le moyen du soufre qui n'a point d'action sur l'or, dont la pesanteur spécifique est plus grande que celle des autres métaux ; mais pour faciliter sa précipitation on ajoute du fer en limaille qui s'empare du soufre surabondant, méthode qu'on suit encore aujourd'hui (a). La force du feu vitrifie une partie du fer ; l'autre se combine avec une petite portion d'or et même d'argent qui le mêle avec les scories, d'où on ne peut le retirer que par plusieurs fontes, et sans être bien instruit des intermédiaires convenables que les docimasites emploient. La chimie, qui s'est perfectionnée de nos jours, donne à la vérité les moyens de retirer cet or et cet argent en plus grande partie ; mais dans le temps où les Espagnols exploitaient les mines du Pérou, ils ignoraient sans doute l'art de traiter les mines avec le plus grand profit ; et d'ailleurs ils avaient de si grandes richesses à leur disposition qu'ils négligeaient vraisemblablement les moyens qui leur auraient coûté de la peine, des soins et du temps ; ainsi il y a apparence qu'ils se contentaient d'une première fonte et jetaient les scories comme inutiles, ainsi que le sable qui avait passé par le mercure, peut-être même ne faisaient-ils qu'un tas de ces deux mélanges qu'ils regardaient comme de nulle valeur.

(a) Voyez les *Eléments docimastiques* de Cramer ; l'*Art de traiter les mines*, par Schultzer, Schindeler, etc.

» Ces scories contenaient encore de l'or, beaucoup de fer sous différents état, et cela
 » en des proportions différentes qui nous sont inconnues, mais qui sont telles peut-être
 » qu'elles peuvent avoir donné l'existence au platine. Les globules de mercure que j'ai
 » observés, et les paillettes d'or que j'ai vues distinctement, à l'aide d'une bonne loupe,
 » dans le platine que j'ai eu entre les mains, m'ont fait naître les idées que je viens
 » d'écrire sur l'origine de ce métal; mais je ne les donne que comme conjectures hasar-
 » dées; il faudrait, pour en acquérir quelque certitude, savoir au juste où sont situées
 » les mines du platine; si elles ont été exploitées anciennement, si on le tire d'un terrain
 » neuf ou si ce ne sont que des décombres, à quelle profondeur on le trouve, et enfin si
 » la main des hommes y est exprimée ou non. Tout cela pourrait aider à vérifier ou à
 » détruire les conjectures que j'ai avancées (a). »

REMARQUES.

Ces observations de M. le comte Milly confirment les miennes dans presque tous les points. La nature est une, et se présente toujours la même à ceux qui la savent observer; ainsi l'on ne doit pas être surpris que sans aucune communication M. de Milly ait vu les mêmes choses que moi, et qu'il en ait tiré la même conséquence: que le platine n'est point un nouveau métal, différent de tous les autres métaux, mais un mélange de fer et d'or. Pour concilier encore de plus près ses observations avec les miennes et pour éclaircir en même temps les doutes qui restent en grand nombre sur l'origine et sur la formation du platine, j'ai cru devoir ajouter les remarques suivantes.

1^o M. le comte de Milly distingue dans le platine trois espèces de matières, savoir, deux métalliques et la troisième non métallique, de substances et de forme quartzeuse ou cristalline; il a observé comme moi que des deux matières métalliques, l'une est très attirable par l'aimant, et que l'autre est très peu ou point du tout. J'ai fait mention de ces deux matières comme lui, mais je n'ai pas parlé de la troisième qui n'est pas métallique, parce qu'il n'y en avait point ou très peu dans le platine sur lequel j'ai fait mes observations. Il y a apparence que le platine dont s'est servi M. de Milly était moins pur que le mien que j'ai observé avec soin, et dans lequel je n'ai vu que quelques petits globules transparents comme du verre blanc fondu, qui étaient unis à des particules de platine ou de sablon ferrugineux, et qui se laissaient enlever ensemble par l'aimant. Ces globules transparents étaient en très petit nombre, et dans huit onces de platine que j'ai bien regardé et fait regarder à d'autres avec une loupe très forte, on n'a point aperçu de cristaux réguliers. Il m'a paru au contraire que toutes les particules transparentes étaient globuleuses comme du verre fondu, et toutes attachées à des parties métalliques, comme le laitier s'attache au fer lorsqu'on le fond. Néanmoins comme je ne doutais point du tout de la vérité de l'observation de M. de Milly, qui avait vu dans son platine des particules quartzeuses et cristallines de forme régulière et en grand nombre, j'ai cru ne devoir pas me borner à l'examen du seul platine dont j'ai parlé ci-devant; j'en ai trouvé au Cabinet du Roi, que j'ai examiné avec M. Daubenton de l'Académie des Sciences, et qui nous a paru à tous deux bien moins pur que le premier, et nous y avons en effet remarqué un grand nombre de petits cristaux prismatiques et transparents, les uns couleur de rubis balais, d'autres couleur de topaze, et d'autres enfin parfaitement blancs: ainsi M. le comte de Milly ne s'était point trompé dans son observation; mais ceci prouve seulement qu'il

(a) M. le baron de Sickingen, ministre de l'électeur Palatin, a dit à M. de Milly avoir actuellement entre les mains deux mémoires qui lui ont été remis par M. Kellner, chimiste et métallurgiste, attaché à M. le prince de Birckenfeld, à Manheim, qui offre à la cour d'Espagne de rendre à peu près autant d'or pesant qu'on lui livrera de platine.

Y a des mines de platine bien plus pures les unes que les autres, et que dans celles qui le sont le plus, il ne se trouve point de ces corps étrangers. M. Daubenton a aussi remarqué quelques grains aplatis par-dessous et renflés par-dessus, comme serait une goutte de métal fondu qui se serait refroidie sur un plan. J'ai vu très distinctement un de ces grains hémisphériques, et cela pourrait indiquer que le platine est une matière qui a été fondue par le feu ; mais il est bien singulier que dans cette matière fondue par le feu, on trouve de petits cristaux, des topazes et des rubis, et je ne sais si l'on ne doit pas soupçonner de la fraude de la part de ceux qui ont fourni ce platine, et qui, pour en augmenter la quantité, auront pu le mêler avec ces sables cristallins, car, je le répète, je n'ai point trouvé de ces cristaux dans plus d'une demi-livre de platine que m'a donnée M. le comte d'Angivillers.

2° J'ai trouvé, comme M. de Milly, des paillettes d'or dans le platine ; elles sont aisées à reconnaître par leur couleur, et parce qu'elles ne sont point du tout magnétiques ; mais j'avoue que je n'ai pas aperçu les globules de mercure qu'a vus M. de Milly. Je ne veux pas pour cela nier leur existence ; seulement il me semble que les paillettes d'or se trouvant avec ces globules de mercure dans la même matière, elles seraient bientôt amalgamées, et ne conserveraient pas la couleur jaune de l'or que j'ai remarqué dans toutes les paillettes d'or que j'ai pu trouver dans une demi-livre de platine (a). D'ailleurs les globules transparents, dont je viens de parler, ressemblent beaucoup à des globules de mercure vif et brillant, en sorte qu'au premier coup d'œil il est aisé de s'y tromper.

3° Il y avait beaucoup moins de parties ternes et rouillées dans mon premier platine que dans celui de M. de Milly, et ce n'est pas proprement de la rouille qui couvre la surface de ces particules ferrugineuses, mais une substance noire produite par le feu, et tout à fait semblable à celle qui couvre la surface du fer brûlé ; mais mon second platine, c'est-à-dire celui que j'ai pris au Cabinet du Roi, avait encore de commun avec celui de M. le comte de Milly, d'être mélangé de quelques parties ferrugineuses, qui, sous le marteau, se réduisaient en poussière jaune et avaient tous les caractères de la rouille. Ainsi ce platine du Cabinet du Roi et celui de M. de Milly se ressemblant à tous égards, il est vraisemblable qu'ils sont venus du même endroit et par la même voie ; je soupçonne même que tous deux ont été sophistiqués et mélangés de près de moitié, avec des matières étrangères cristallines et ferrugineuses rouillées, qui ne se trouvent pas dans le platine naturel.

4° La production du bleu de Prusse par le platine me paraît prouver évidemment la présence du fer dans la partie même de ce minéral qui est la moins attirable à l'aimant, et confirmer en même temps ce que j'ai avancé du mélange intime du fer dans sa substance. Le décapement du platine par l'esprit de nitre prouve que, quoiqu'il n'y ait point d'effervescence sensible, cet acide ne laisse pas d'agir sur le platine d'une manière évidente, et que les auteurs qui ont assuré le contraire ont suivi leur routine ordinaire, qui consiste à regarder comme nulle toute action qui ne produit pas l'effervescence. Ces deux expériences de M. de Milly me paraissent très importantes ; elles seraient même décisives si elles réussissaient toujours également.

5° Il nous manque en effet beaucoup de connaissances qui seraient nécessaires pour pouvoir prononcer affirmativement sur l'origine du platine. Nous ne savons rien de l'histoire naturelle de ce minéral, et nous ne pouvons trop exhorter ceux qui sont à portée de l'examiner sur les lieux, de nous faire part de leurs observations. En attendant nous sommes forcés de nous borner à des conjectures, dont quelques-unes me paraissent

(a) J'ai trouvé depuis dans d'autre platine des paillettes d'or qui n'étaient pas jaunes, mais brunes et mêmes noires comme le sablon ferrugineux du platine, qui probablement leur avait donné cette couleur noirâtre.

seulement plus vraisemblables que les autres. Par exemple, je ne crois pas que le platine soit l'ouvrage des hommes : les Mexicains et les Péruviens savaient fondre et travailler l'or avant l'arrivée des Espagnols, et ils ne connaissaient pas le fer qu'il aurait néanmoins fallu employer dans le départ à sec en grande quantité. Les Espagnols eux-mêmes n'ont point établi de fourneaux à fondre les mines de fer en cette contrée, dans les premiers temps qu'ils l'ont habitée ; il y a donc toute apparence qu'ils ne se sont pas servis de limaille de fer pour le départ de l'or, du moins dans les commencements de leurs travaux, qui d'ailleurs ne remontent pas à deux siècles et demi, temps beaucoup trop court pour une production aussi abondante que celle du platine, qu'on ne laisse pas de trouver en assez grande quantité et dans plusieurs endroits.

D'ailleurs lorsqu'on mêle de l'or avec du fer en les faisant fondre ensemble, on peut toujours, par les voies chimiques, les séparer et retirer l'or en entier ; au lieu que jusqu'à présent les chimistes n'ont pu faire cette séparation dans le platine, ni déterminer la quantité d'or contenue dans ce minéral : cela semble prouver que l'or y est uni d'une manière plus intime que dans l'alliage ordinaire, et que le fer y est aussi, comme je l'ai dit, dans un état différent de celui du fer commun. Le platine me paraît donc pas être l'ouvrage de l'homme, mais le produit de la nature, et je suis très porté à croire qu'il doit sa première origine au feu des volcans. Le fer brûlé, autant qu'il est possible, intimement uni avec l'or par la sublimation ou par la fusion, peut avoir produit ce minéral, qui, d'abord ayant été formé par l'action du feu le plus violent, aura ensuite éprouvé les impressions de l'eau et les frottements réitérés qui lui ont donné la forme qu'ils donnent à tous les autres corps, c'est-à-dire celle des galets et des angles émoussés. Mais il se pourrait aussi que l'eau seule eût produit le platine : car en supposant l'or et le fer tous deux divisés autant qu'ils peuvent l'être par la voie humide, leurs molécules, en se réunissant, auront pu former les grains qui le composent, et qui depuis les plus pesants jusqu'aux plus légers, contiennent tous de l'or et du fer. La proposition du chimiste qui offre de rendre à peu près autant d'or qu'on lui fournira de platine semblerait indiquer qu'il n'y a eu effet qu'un onzième de fer sur dix onzièmes d'or dans ce minéral ou peut-être encore moins ; mais l'à peu près de ce chimiste est probablement d'un cinquième ou d'un quart, et ce serait toujours beaucoup si sa promesse pouvait se réaliser à un quart près.

SECONDE ADDITION

M'étant trouvé à Dijon, cet été 1773, l'Académie des sciences et belles-lettres de cette ville, dont j'ai l'honneur d'être membre, me parut désirer d'entendre la lecture de mes observations sur le platine ; je m'y prêtai d'autant plus volontiers, que sur une matière aussi neuve on ne peut trop s'informer ni consulter assez, et que j'avais lieu d'espérer de tirer quelques lumières d'une compagnie qui rassemble beaucoup de personnes instruites en tous genres. M. de Morveau, avocat général au parlement de Bourgogne, aussi savant physicien que grand jurisconsulte, prit la résolution de travailler sur le platine ; je lui donnai une portion de celui que j'avais attiré par l'aimant, et une autre portion de celui qui avait paru insensible au magnétisme, en le priant d'exposer ce minéral singulier au plus grand feu qu'il lui serait possible de faire, et quelque temps après il m'a remis les expériences suivantes, que j'ai trouvé bon de joindre ici avec les miennes.

EXPÉRIENCES FAITES PAR M. DE MORVEAU EN SEPTEMBRE 1773.

« M. le comte de Buffon, dans un voyage qu'il a fait à Dijon, cet été 1773, m'ayant
 » fait remarquer, dans un demi-gros de platine que M. Baumé m'avait remis en 1768, des
 » grains en forme de boutons, d'autres plus plats et quelques-uns noirs et écailleux, et
 » ayant séparé avec l'aimant ceux qui étaient attirables de ceux qui ne donnaient aucun
 » signe sensible de magnétisme, j'ai essayé de former le bleu de Prusse avec les uns et
 » les autres. J'ai versé de l'acide nitreux fumant sur les parties non attirables qui pesaient
 » deux grains et demi; six heures après, j'ai étendu l'acide par de l'eau distillée, et j'y ai
 » versé de la liqueur alcaline saturée de matière colorante: il n'y a pas eu un atome de
 » bleu, le platine avait seulement un coup d'œil plus brillant. J'ai pareillement versé de
 » l'acide fumant sur les 33 grains $\frac{1}{2}$ de platine restant, dont partie était attirable; la liqueur
 » étendue après le même intervalle de temps, le même alcali prussien en a précipité une
 » fécule bleue qui couvrait le fond d'un vase assez large. Le platine, après cette opération,
 » était bien décapé comme le premier; je l'ai lavé et séché, et j'ai vérifié qu'il n'avait
 » perdu qu'un quart de grain ou $\frac{1}{138}$; l'ayant examiné en cet état, j'y ai aperçu un grain
 » d'un beau jaune qui s'est trouvé une paillette d'or.

» M. de Fourcy avait nouvellement publié que la dissolution d'or était aussi précipitée
 » en bleu par l'alcali prussien, et avait consigné ce fait dans une table d'affinités; je fus
 » tenté de répéter cette expérience: je versai en conséquence de la liqueur alcaline phlo-
 » gistique dans de la dissolution d'or de départ, mais la couleur de cette dissolution ne
 » changea pas, ce qui me fait soupçonner que la dissolution d'or employée par M. de
 » Fourcy pouvait bien n'être pas aussi pure.

» Et dans le même temps, M. le comte de Buffon m'ayant donné une assez grande
 » quantité d'autre platine pour en faire quelques essais, j'ai entrepris de le séparer de tous
 » les corps étrangers par une bonne fonte: voici la manière dont j'ai procédé et les résul-
 » tats que j'ai eus.

PREMIÈRE EXPÉRIENCE.

» Ayant mis un gros de platine dans une petite coupelle, sous le moufle du fourneau
 » donné par M. Macquer dans les *Mémoires de l'Académie des Sciences*, année 1758, j'ai sou-
 » tenu le feu pendant deux heures; le moufle s'est affaissé, les supports avaient coulé;
 » cependant le platine s'est trouvé seulement agglutiné, il tenait à la coupelle et y avait
 » laissé des taches couleur de rouille; le platine était alors terne, même un peu noir, et
 » n'avait pris qu'un quart de grain d'augmentation de poids, quantité bien faible en com-
 » paraison de celle que d'autres chimistes ont observée; ce qui me surprit d'autant plus,
 » que ce gros de platine ainsi que tout celui que j'ai employé aux autres expériences avait
 » été enlevé successivement par l'aimant, et faisait portion des six septièmes de 8 onces
 » dont M. de Buffon a parlé dans le Mémoire ci-dessus.

DEUXIÈME EXPÉRIENCE.

» Un demi-gros du même platine, exposé au même feu dans une coupelle, s'est aussi
 » agglutiné; il était adhérent à la coupelle, sur laquelle il avait laissé des taches de couleur
 » de rouille; l'augmentation de poids s'est trouvée à peu près dans la même proportion,
 » et la surface aussi noire.

TROISIÈME EXPÉRIENCE.

» J'ai remis ce même demi-gros dans une nouvelle coupelle, mais au lieu de moufle
 » j'ai renversé sur le support un creuset de plomb noir de Passaw ; j'avais eu l'attention
 » de n'employer pour support que des têts d'argile pure très réfractaire ; par ce moyen je
 » pouvais augmenter la violence du feu et prolonger sa durée, sans craindre de voir
 » couler les vaisseaux ni obstruer l'argile par les scories. Cet appareil ainsi placé dans le
 » fourneau, j'y ai entretenu pendant quatre heures un feu de la dernière violence ; lorsque
 » tout a été refroidi, j'ai trouvé le creuset bien conservé, soudé au support ; ayant brisé
 » cette soudure vitreuse, j'ai reconnu que rien n'avait pénétré dans l'intérieur du creuset,
 » qui paraissait seulement plus luisant qu'il n'était auparavant. La coupelle avait conservé
 » sa forme et sa position ; elle était un peu fendillée, mais pas assez pour se laisser péné-
 » trer ; aussi le bouton de platine n'y était-il pas adhérent. Ce bouton n'était encore
 » qu'agglutiné, mais d'une manière bien plus serrée que la première fois : les grains
 » étaient moins saillants, la couleur en était plus claire, le brillant plus métallique ; et ce
 » qu'il y eut de plus remarquable, c'est qu'il s'était élancé de sa surface, pendant l'opéra-
 » tion, et probablement dans les premiers instants du refroidissement, trois jets de verre,
 » dont l'un plus élevé, parfaitement sphérique, était porté sur un pédicule d'une ligne de
 » hauteur, de la même matière transparente et vitreuse ; ce pédicule avait à peine un
 » sixième de ligne, tandis que le globule avait une ligne de diamètre, d'une couleur uni-
 » forme, avec une légère teinte de rouge qui ne dérobaient rien à sa transparence ; des deux
 » autres jets de verre, le plus petit avait un pédicule comme le plus gros, et le moyen
 » n'avait point de pédicule, et était seulement attaché au platine par sa surface extérieure.

QUATRIÈME EXPÉRIENCE.

» J'ai essayé de coupeller le platine, et pour cela j'ai mis dans une coupelle 1 gros
 » des mêmes grains enlevés par l'aimant, avec 2 gros de plomb. Après avoir donné
 » un très grand feu pendant deux heures, j'ai trouvé dans la coupelle un bouton adhérent,
 » couvert d'une croûte jaunâtre et un peu spongieuse, du poids de 2 gros 12 grains, ce qui
 » annonçait que le platine avait retenu 1 gros 12 grains de plomb.

» J'ai remis ce bouton dans une autre coupelle au même fourneau, observant de le
 » retourner : il n'a perdu que 12 grains dans un feu de deux heures ; sa couleur et sa
 » forme avaient très peu changé.

» Je lui ai appliqué ensuite le vent du soufflet, après l'avoir placé dans une nouvelle
 » coupelle couverte d'un creuset de Passaw, dans la partie inférieure d'un fourneau de
 » fusion dont j'avais ôté la grille ; le bouton a pris alors un coup d'œil plus métallique,
 » toujours un peu terne, et cette fois il a perdu 18 grains.

» Le même bouton ayant été remis dans le fourneau de M. Macquer, toujours placé
 » dans une coupelle couverte d'un creuset de Passaw, je soutins le feu pendant trois
 » heures, après lesquelles je fus obligé de l'arrêter, parce que les briques qui servaient de
 » support avaient entièrement coulé ; le bouton était devenu de plus en plus métallique,
 » il adhérait pourtant à la coupelle ; il avait perdu cette fois 34 grains. Je le jetai dans
 » l'acide nitreux fumant pour essayer de le décaper ; il y eut un peu d'effervescence lors-
 » que j'ajoutai de l'eau distillée ; le bouton y perdit effectivement 2 grains, et j'y remar-
 » quai quelques petits trous, comme ceux que laisse le départ.

» Il ne restait plus que 22 grains de plomb alliés au platine, à en juger par l'excédant
 » de son poids ; je commençai à espérer de vitrifier cette dernière portion de plomb, et

» pour cela je mis ce bouton dans une coupelle neuve; je disposai le tout comme dans la
 » troisième expérience, je me servis du même fourneau, en observant de dégager conti-
 » nuellement la grille, d'entretenir au-devant, dans le courant d'air qu'il attirait, une
 » évaporation continuelle par le moyen d'une capsule que je remplissais d'eau de temps
 » en temps, et de laisser un moment la chape entr'ouverte lorsqu'on venait de remplir le
 » fourneau de charbon; ces précautions augmentèrent tellement l'activité du feu, qu'il fal-
 » lait recharger de dix minutes en dix minutes; je le soutins au même degré pendant
 » quatre heures, et je laissai refroidir.

» Je reconnus le lendemain que le creuset de plomb noir avait résisté, que les supports
 » n'étaient que faïencés par les cendres; je trouvai dans la coupelle un bouton bien ras-
 » semblé, nullement adhérent, d'une couleur continue et uniforme, approchant plus de la
 » couleur de l'étain que de tout autre métal, seulement un peu raboteux; en un mot pesant
 » 4 gros très juste, rien de plus, rien de moins.

» Tout annonçait donc que ce platine avait éprouvé une fusion parfaite, qu'il était
 » parfaitement pur, car, pour supposer qu'il tenait encore du plomb, il faudrait supposer
 » aussi que ce minéral avait justement perdu de sa propre substance autant qu'il avait
 » retenu de matière étrangère, et une telle précision ne peut être l'effet d'un pur hasard.

» Je devais passer quelques jours avec M. le comte de Buffon, dont la société a, je puis
 » le dire, le même charme que son style, dont la conversation est aussi pleine que ses
 » livres; je me fis un plaisir de lui porter les produits de ces essais, et je me remis à les
 » examiner ultérieurement avec lui.

» 1° Nous avons observé que le gros de platine agglutiné de la première expérience
 » n'était pas attiré en bloc par l'aimant, que cependant le barreau magnétique avait une
 » action marquée sur les grains que l'on en détachait.

» 2° Le demi-gros de la troisième expérience n'était non seulement pas attirable en
 » masse, mais les grains que l'on en séparait ne donnaient plus eux-mêmes aucun signe
 » de magnétisme.

» 3° Le bouton de la quatrième expérience était aussi absolument insensible à l'approche
 » de l'aimant, ce dont nous nous assurâmes en mettant le bouton en équilibre dans une
 » balance très sensible, et en lui présentant un très fort aimant jusqu'au contact, sans que
 » son approche ait le moindrement dérangé l'équilibre.

» 4° La pesanteur spécifique de ce bouton fut déterminée par une bonne balance hydro-
 » statique, et, pour plus de sûreté, comparée à l'or de monnaie et au globe d'or très pur
 » employé par M. de Buffon à ses belles expériences sur le progrès de la chaleur; leur
 » densité se trouva avoir les rapports suivants avec l'eau dans laquelle ils furent plongés :

» Le globe d'or.....	19 $\frac{1}{34}$
» L'or de monnaie.....	17 $\frac{1}{24}$
» Le bouton de platine.....	14 $\frac{2}{3}$

» 5° Ce bouton fut porté sur un tas d'acier pour essayer sa ductilité; il soutint fort
 » bien quelques coups de marteau; sa surface devint plane et même un peu polie dans
 » les endroits frappés, mais il se fendit bientôt après, et il s'en détacha une portion, fai-
 » sant à peu près le sixième de la totalité; la fracture présenta plusieurs cavités, dont
 » quelques-unes d'environ une ligne de diamètre avaient la blancheur et le brillant de
 » l'argent; on remarquait dans d'autres de petites pointes élancées, comme les cristalli-
 » sations dans les géodes; le sommet de l'une de ces pointes, vu à la loupe, était un glo-
 » bule absolument semblable, pour la forme, à celui de la troisième expérience et aussi
 » de matière vitreuse transparente, autant que son extrême petitesse permettrait d'en
 » juger. Au reste, toutes les parties du bouton étaient compactes, bien liées, et le grain

» plus fin, plus serré que celui du meilleur acier après la plus forte trempe, auquel il
 » ressemblait d'ailleurs par la couleur.

» 6° Quelques portions de ce bouton, ainsi réduites en parcelles à coups de marteau
 » sur le tas d'acier, nous leur avons présenté l'aimant, et aucune n'a été attirée; mais les
 » ayant encore pulvérisées dans un mortier d'agate, nous avons remarqué que le barreau
 » magnétique en enlevait quelques-unes des plus petites toutes les fois qu'on le posait
 » immédiatement dessus.

» Cette nouvelle apparition du magnétisme était d'autant plus surprenante, que les
 » grains détachés de la masse agglutinée de la deuxième expérience nous avaient paru
 » avoir perdu eux-mêmes toute sensibilité à l'approche et au contact de l'aimant; nous
 » reprîmes en conséquence quelques-uns de ces grains, ils furent de même réduits en
 » poussière dans le mortier d'agate, et nous vîmes bientôt les parties les plus petites s'atta-
 » cher sensiblement au barreau aimanté; il n'est pas possible d'attribuer cet effet au poli
 » de la surface du barreau ni à aucune autre cause étrangère au magnétisme : un morceau
 » de fer aussi poli, appliqué de la même manière sur les parties de ce platine n'en a jamais
 » pu enlever une seule.

» Par le récit exact de ces expériences et des observations auxquelles elles ont donné
 » lieu, on peut juger de la difficulté de déterminer la nature du platine; il est bien certain
 » que celui-ci contenait quelques parties vitrifiables, et vitrifiables même sans addition
 » à un grand feu; il est bien sûr que tout platine contient du fer et des parties attirables;
 » mais si l'alcali prussien ne donnait jamais du bleu qu'avec les grains que l'aimant a
 » enlevés, il semble qu'on en pourrait conclure que ceux qui lui résistent absolument sont
 » du platine pur, qui n'a par lui-même aucune vertu magnétique, et que le fer n'en fait
 » pas partie essentielle. On devait espérer qu'une fusion aussi avancée, une coupellation
 » aussi parfaite, décideraient au moins cette question; tout annonçait qu'en effet ces opé-
 » rations l'avaient dépouillé de toute vertu magnétique en le séparant de tous corps
 » étrangers; mais la dernière observation prouve, d'une manière invincible, que cette
 » propriété magnétique n'y était réellement qu'affaiblie, et peut-être masquée ou ensevelie,
 » puisqu'elle a reparu lorsqu'on l'a broyé. »

REMARQUES.

De ces expériences de M. de Morveau, et des observations que nous avons ensuite faites ensemble, il résulte :

1° Qu'on peut espérer de fondre le platine sans addition dans nos meilleurs fourneaux, en lui appliquant le feu plusieurs fois de suite, parce que les meilleurs creusets ne pourraient résister à l'action d'un feu aussi violent, pendant tout le temps qu'exigerait l'opération complète;

2° Qu'en le fondant avec le plomb, et le coupellant successivement et à plusieurs reprises, on vient à bout de vitrifier tout le plomb, et que cette opération pourrait à la fin le purger d'une partie des matières étrangères qu'il contient;

3° Qu'en le fondant sans addition, il paraît se purger lui-même en partie des matières vitrescibles qu'il renferme, puisqu'il s'élance à sa surface de petits jets de verre qui forment des masses assez considérables, et qu'on en peut séparer aisément après le refroidissement;

4° Qu'en faisant l'expérience du bleu de Prusse avec les grains de platine qui paraissent les plus insensibles à l'aimant, on n'est pas toujours sûr d'obtenir de ce bleu, comme cela ne manque jamais d'arriver avec les grains qui ont plus ou moins de sensibilité au magnétisme; mais comme M. de Morveau a fait cette expérience sur une très petite quantité de platine, il se propose de la répéter.

5° Il paraît que ni la fusion ni la coppellation ne peuvent détruire dans le platine tout le fer dont il est intimement pénétré; les boutons fondus ou coupelés paraissaient à la vérité également insensibles à l'action de l'aimant, mais les ayant brisés dans un mortier d'agate et sur un tas d'acier, nous y avons retrouvé des parties magnétiques, d'autant plus abondantes que le platine était réduit en poudre plus fine : le premier bouton, dont les grains ne s'étaient qu'agglutinés, rendit, étant broyé, beaucoup plus de parties magnétiques que le second et le troisième, dont les grains avaient subi une plus forte fusion; mais néanmoins tous deux, étant broyés, fournirent des parties magnétiques, en sorte qu'on ne peut douter qu'il n'y ait encore du fer dans le platine, après qu'il a subi les plus violents efforts du feu et l'action dévorante du plomb dans la coupelle : ceci semble achever de démontrer que ce minéral est réellement un mélange intime d'or et de fer, que jusqu'à présent l'art n'a pu séparer;

6° Je fis encore, avec M. de Morveau, une autre observation sur ce platine fondu et ensuite broyé, c'est qu'il reprend, en se brisant, précisément la forme de galets arrondis et aplatis qu'il avait avant d'être fondu; tous les grains de ce platine fondu et brisé sont semblables à ceux du platine naturel, tant pour la forme que pour la variété de grandeur, et ils ne paraissent en différer que parce qu'il n'y a que les plus petits qui se laissent enlever à l'aimant, et en quantité d'autant moindre que le platine a subi plus de feu. Cela paraît prouver aussi que, quoique le feu ait été assez fort, non seulement pour brûler et vitrifier, mais même pour chasser au dehors une partie du fer avec les autres matières vitrescibles qu'il contient, la fusion néanmoins n'est pas aussi complète que celle des autres métaux parfaits, puisqu'en le brisant les grains reprennent la même figure qu'ils avaient avant la fonte.

QUATRIÈME MÉMOIRE

EXPÉRIENCES SUR LA TÉNACITÉ ET SUR LA DÉCOMPOSITION DU FER.

On a vu, dans le premier Mémoire, que le fer perd de sa pesanteur à chaque fois qu'on le chauffe à un feu violent, et des boulets, chauffés trois fois jusqu'au blanc, ont perdu la douzième partie de leur poids; on serait d'abord porté à croire que cette perte ne doit être attribuée qu'à la diminution du volume du boulet, par les scories qui se détachent de la surface et tombent en petites écailles; mais si l'on fait attention que les petits boulets, dont par conséquent la surface est plus grande, relativement au volume, que celle des gros, perdent moins, et que les gros boulets perdent proportionnellement plus que les petits, on sentira bien que la perte totale de poids ne doit pas être simplement attribuée à la chute des écailles qui se détachent de la surface, mais encore à une altération intérieure de toutes les parties de la masse que le feu violent diminue, et rend d'autant plus légère qu'il est appliqué plus souvent et plus longtemps (a).

Et en effet, si l'on recueille à chaque fois les écailles qui se détachent de la surface des boulets, on trouvera que sur un boulet de cinq pouces qui, par exemple aura perdu huit onces par une première chaude, il n'y aura pas une once de ces écailles détachées, et que

(a) Une expérience familière et qui semble prouver que le fer perd de sa masse à mesure qu'on le chauffe, même à un feu très médiocre, c'est que les fers à friser, lorsqu'on les a souvent trempés dans l'eau pour les refroidir, ne conservent pas le même degré de chaleur au bout d'un temps. Il s'en élève aussi des écailles lorsqu'on les a souvent chauffés et trempés; ces écailles sont du véritable fer.

tout le reste de la perte de poids ne peut être attribué qu'à cette altération intérieure de la substance du fer qui perd de sa densité à chaque fois qu'on le chauffe; en sorte que si l'on réitérait souvent cette même opération, on réduirait le fer à n'être plus qu'une matière friable et légère dont on ne pourrait faire aucun usage : car j'ai remarqué que les boulets non seulement avaient perdu de leur poids, c'est-à-dire de leur densité, mais qu'en même temps ils avaient aussi beaucoup perdu de leur solidité, c'est-à-dire de cette qualité dont dépend la cohérence des parties; car j'ai vu, en les faisant frapper, qu'on pouvait les casser d'autant plus aisément qu'il avaient été chauffés plus souvent et plus longtemps.

C'est sans doute parce que l'on ignorait jusqu'à quel point va cette altération du fer, ou plutôt parce qu'on ne s'en doutait point du tout, que l'on imagina, il y a quelques années, dans notre artillerie, de chauffer les boulets dont il était question de diminuer le volume (a). On m'a assuré que le calibre des canons nouvellement fondus étant plus étroit que celui des anciens canons, il a fallu diminuer les boulets, et que pour y parvenir on a fait rougir ces boulets à blanc afin de les ratisser ensuite plus aisément en les faisant tourner; on m'a ajouté que souvent on est obligé de les faire chauffer cinq, six et même huit et neuf fois, pour les réduire autant qu'il est nécessaire. Or il est évident, par mes expériences, que cette pratique est mauvaise, car un boulet chauffé à blanc neuf fois doit perdre au moins le quart de son poids, et peut-être les trois quarts de sa solidité. Devenu cassant et friable, il ne peut servir pour faire brèche, puisqu'il se brise contre les murs; et, devenu léger, il a aussi pour les pièces de campagne le grand désavantage de ne pouvoir aller aussi loin que les autres.

En général, si l'on veut conserver au fer sa solidité et son nerf, c'est-à-dire sa masse et sa force, il ne faut l'exposer au feu ni plus souvent ni plus longtemps qu'il est nécessaire il suffira, pour la plupart des usages, de le faire rougir sans pousser le feu jusqu'au blanc; ce dernier degré de chaleur ne manque jamais de le détériorer; et dans les ouvrages où il importe de lui conserver tout son nerf, comme dans les bandes que l'on forge pour les canons de fusil, il faudrait, s'il était possible, ne les chauffer qu'une fois pour les battre, plier et souder par une seule opération : car, quand le fer a acquis sous le marteau toute la force dont il est susceptible, le feu ne fait plus que la diminuer; c'est aux artistes à voir jusqu'à quel point ce métal doit être malléé pour acquérir tout son nerf, et cela ne serait pas impossible à déterminer par des expériences; j'en ai fait quelques-unes que je vais rapporter ici.

I. — Une boucle de fer de 18 lignes $\frac{2}{3}$ de grosseur, c'est-à-dire 348 lignes carrées pour chaque montant de fer, ce qui fait pour le tout 696 lignes carrées de fer, a cassé sous le poids de 28 milliers qui tirait perpendiculairement : cette boucle de fer avait environ 10 pouces de largeur, sur 13 pouces de hauteur, et elle était à très peu près de la même grosseur partout. Cette boucle a cassé presque au milieu des branches perpendiculaires, et non pas dans les angles.

Si l'on voulait conclure du grand au petit sur la force du fer par cette expérience, il se trouverait que chaque ligne carrée de fer tirée perpendiculairement, ne pourrait porter qu'environ 40 livres.

II. — Cependant ayant mis à l'épreuve un fil de fer d'une ligne un peu forte de diamètre, ce morceau de fil de fer a porté, avant de se rompre, 482 livres. Et un pareil morceau de fil de fer n'a rompu que sous la charge 495 livres; en sorte qu'il est à présumer qu'une verge carrée d'une ligne de ce même fer aurait porté encore davantage, puisqu'elle

(a) M. le marquis de Vallière ne s'occupait point alors des travaux de l'artillerie.

aurait contenu quatre segments aux quatre coins du carré inscrit au cercle, de plus que le fil de fer rond, d'une ligne de diamètre.

Or cette disproportion dans la force du fer en gros et du fer en petit est énorme. Le gros fer, que j'avais employé, venait de la forge d'Aisy-sous-Rougemont; il était sans nerf et à gros grain, et j'ignore de quelle forge était mon fil de fer; mais la différence de la qualité du fer, quelque grande qu'on voulût la supposer, ne peut pas faire celle qui se trouve ici dans leur résistance, qui, comme l'on voit, est douze fois moindre dans le gros fer que dans le petit.

III. — J'ai fait rompre une autre boucle de fer de 18 lignes $\frac{1}{2}$ de grosseur, du même fer de la forge d'Aisy; elle ne supporta de même 28,450 livres, et rompit encore presque dans le milieu des deux montants.

IV. — J'avais fait faire en même temps une boucle du même fer que j'avais fait reforger pour le partager en deux, en sorte qu'il se trouva réduit à une barre de 9 lignes sur 18; l'ayant mise à l'épreuve, elle supporta avant de rompre, la charge de 17,300 livres, tandis qu'elle n'aurait dû porter, tout au plus que 14 milliers, si elle n'eût pas été forgée une seconde fois.

V. — Une autre boucle de fer de 16 lignes $\frac{3}{4}$ de grosseur, ce qui fait pour chaque montant à peu près 280 lignes carrées, c'est-à-dire 560, a porté 24,600 livres, au lieu qu'elle n'aurait dû porter que 22,400 livres, si je ne l'eusse pas fait forger une seconde fois.

VI. — Un cadre de fer de la même qualité, c'est-à-dire sans nerf et à gros grains, et venant de la même forge d'Aisy, que j'avais fait établir pour empêcher l'écartement des murs du haut fourneau de mes forges, et qui avait 26 pieds d'un côté sur 22 pieds de l'autre, ayant cassé par l'effort de la chaleur du fourneau dans les deux points milieux des deux plus longs côtés, j'ai vu que je pouvais comparer ce cadre aux boucles des expériences précédentes, parce qu'il était du même fer, et qu'il a cassé de la même manière: or ce fer avait 21 lignes de gros, ce qui fait 441 lignes carrées, et ayant rompu comme les boucles aux deux côtés opposés, cela fait 882 lignes carrées qui se sont séparées par l'effort de la chaleur. Et comme nous avons trouvé par les expériences précédentes, que 696 lignes carrées du même fer ont cassé sous le poids de 28 milliers, on doit en conclure que 882 lignes de ce même fer n'auraient rompu que sous un poids de 35,480 livres, et que par conséquent l'effort de la chaleur devait être estimé comme un poids de 35,480 livres. Ayant fait fabriquer pour contenir le mur intérieur de mon fourneau, dans le fondage qui se fit après la rupture de ce cadre, un cercle de 26 pieds $\frac{1}{2}$ de circonférence, avec du fer nerveux provenant de la fonte et de la fabrique de mes forges, cela m'a donné le moyen de comparer la ténacité du bon fer avec celle du fer commun. Ce cercle de 26 pieds $\frac{1}{2}$ de circonférence était de deux pièces, retenues et jointes ensemble par deux clavettes de fer passées dans les anneaux forgés au bout des deux bandes de fer; la largeur de ces bandes était de 30 lignes sur 5 d'épaisseur: cela fait 150 lignes carrées qu'on ne doit pas doubler, parce que si ce cercle eût rompu, ce n'aurait été qu'en un seul endroit, et non pas en deux endroits opposés comme les boucles et le grand cadre carré. Mais l'expérience me démontra que pendant un fondage de quatre mois, où la chaleur était même plus grande que dans le fondage précédent, ces 150 lignes de bon fer résistèrent à son effort qui était de 35,480 livres; d'où l'on doit conclure avec certitude entière, que le bon fer, c'est-à-dire le fer qui est presque tout nerf, est au moins cinq fois aussi tenace que le fer sans nerf à gros grains.

Que l'on juge par là de l'avantage qu'on trouverait à n'employer que du fer nerveux

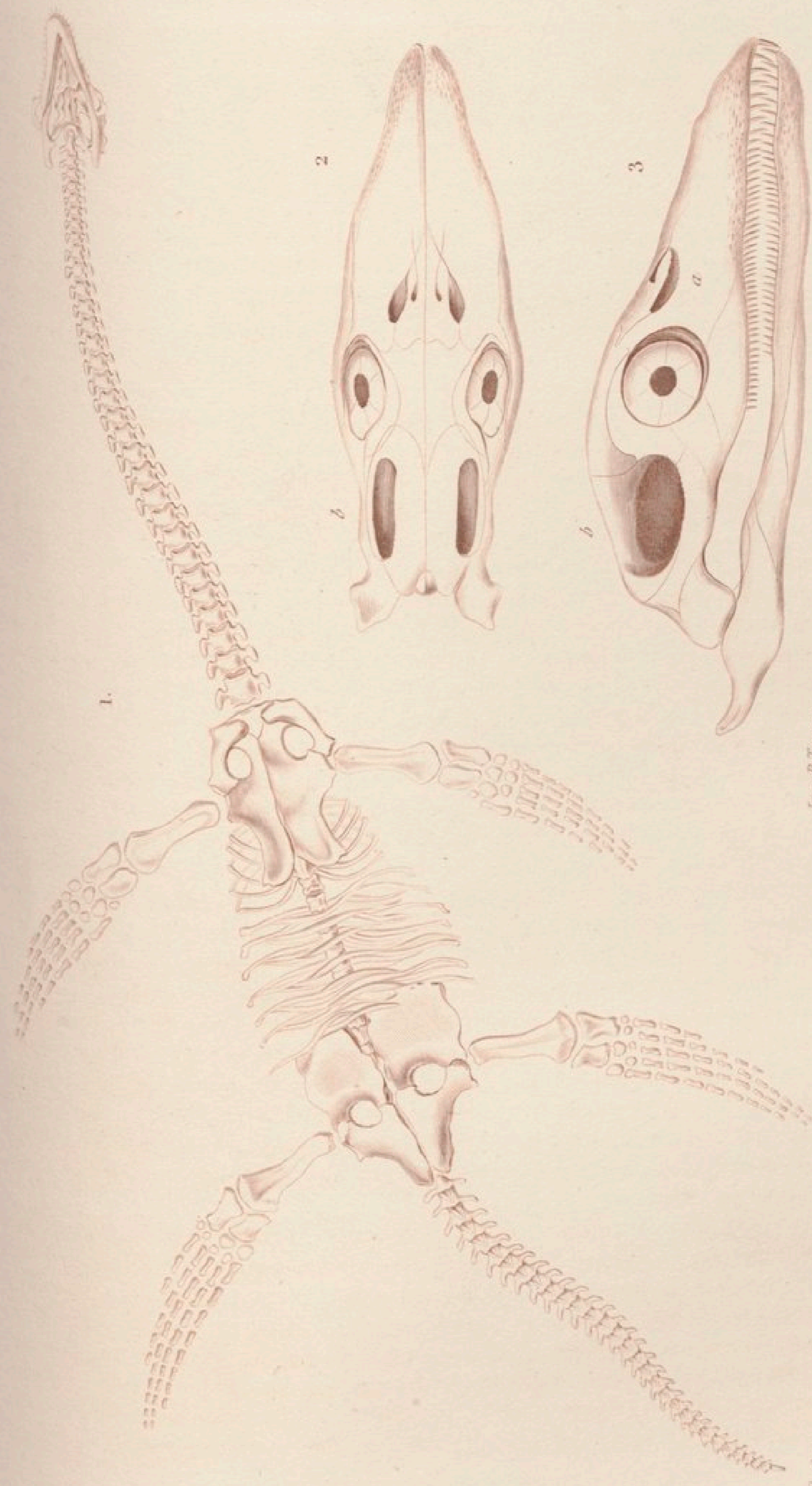
dans les bâtiments et dans la construction des vaisseaux, il en faudrait les trois quarts moins, et l'on aurait encore un quart de solidité de plus.

Par de semblables expériences, et en faisant malléer une fois, deux fois, trois fois des verges de fer de différentes grosseurs, on pourrait s'assurer du *maximum* de la force du fer, combiner d'une manière certaine la légèreté des armes avec leur solidité, ménager la matière dans les autres ouvrages sans craindre la rupture, en un mot, travailler ce métal sur des principes uniformes et constants. Ces expériences sont le seul moyen de perfectionner l'art de la manipulation du fer; l'État en tirerait de très grands avantages, car il ne faut pas croire que la qualité du fer dépende de celle de la mine, que, par exemple, le fer d'Angleterre, ou d'Allemagne, ou de Suède soit meilleur que celui de France; que le fer de Berri soit plus doux que celui de Bourgogne : la nature des mines n'y fait rien; c'est la manière de les traiter qui fait tout, et ce que je puis assurer pour l'avoir vu par moi-même, c'est qu'en malléant beaucoup et chauffant peu, on donne au fer plus de force, et qu'on approche de ce *maximum* dont je ne puis que recommander la recherche, et auquel on peut arriver par les expériences que je viens d'indiquer.

Dans les boulets que j'ai soumis plusieurs fois à l'épreuve du plus grand feu, j'ai vu que le fer perd de son poids et de sa force d'autant plus qu'on le chauffe plus souvent et plus longtemps; sa substance se décompose, sa qualité s'altère, et enfin il dégénère en une espèce de mâchefer ou de matière poreuse, légère, qui se réduit en une sorte de chaux par la violence et la longue application du feu : le mâchefer commun est d'une autre espèce, et, quoique vulgairement on croie que le mâchefer ne provient et même ne peut provenir que du fer, j'ai la preuve du contraire. Le mâchefer est, à la vérité, une matière produite par le feu, mais, pour le former, il n'est pas nécessaire d'employer du fer ni aucun autre métal : avec du bois et du charbon brûlé et poussé à un feu violent, on obtiendra du mâchefer en assez grande quantité; et si l'on prétend que ce mâchefer ne vient que du fer contenu dans le bois (parce que tous les végétaux en contiennent plus ou moins), je demande pourquoi l'on ne peut pas en tirer du fer même une plus grande quantité qu'on en tire du bois, dont la substance est si différente de celle du fer. Dès que ce fait me fut connu par l'expérience, il me fournit l'intelligence d'un autre fait qui m'avait paru inexplicable jusqu'alors. On trouve dans les terres élevées, et surtout dans des forêts où il n'y a ni rivières ni ruisseaux, et où par conséquent il n'y a jamais eu de forges, non plus qu'aucun indice de volcans ou de feux souterrains; on trouve, dis-je, souvent de gros blocs de mâchefer que deux hommes auraient peine à enlever : j'en ai vu pour la première fois en 1743, à Montigny-l'Encoupe, dans les forêts de M. de Trudaine; j'en ai fait chercher et trouvé depuis dans nos bois de Bourgogne, qui sont encore plus éloignés de l'eau que ceux de Montigny; on en a trouvé en plusieurs endroits : les petits morceaux m'ont paru provenir de quelques fourneaux de charbon qu'on aura laissés brûler, mais les gros ne peuvent venir que d'un incendie dans la forêt lorsqu'elle était en pleine venue, et que les arbres y étaient assez voisins pour produire un feu très violent et très longtemps nourri.

Le mâchefer qu'on peut regarder comme un résidu de la combustion du bois, contient du fer; et l'on verra, dans un autre Mémoire, les expériences que j'ai faites pour reconnaître par ce résidu la quantité de fer qui entre dans la composition des végétaux. Et cette terre morte ou cette chaux dans laquelle le fer se réduit par la trop longue action du feu, ne m'a pas paru contenir plus de fer que le mâchefer du bois, ce qui semble prouver que le fer est comme le bois une matière combustible que le feu peut également dévorer en l'appliquant seulement plus violemment et plus longtemps. Pline dit, avec grande raison, *ferrum accensum igni, nisi duretur ictibus, corrumpitur* (a). On en sera

(a) *Hist. nat.*, lib. xxxiv, cap. xv.



1.

2

3

Imp. R. Tancour.

Goumier. 50.

1. SQUELETTE DE PLESIOSAURUS dolichodeus 2 et 3. La tête vue en dessus et de profil, $\frac{1}{2}$ de gr. natur.



A. Le Vasseur. Editeur.

Oudart. p. 100.

persuadé, si l'on observe dans une forge la première loupe que l'on tire de la gueuse : cette loupe est un morceau de fer fondu pour la seconde fois, et qui n'a pas encore été forgé, c'est-à-dire consolidé par le marteau; lorsqu'on le tire de la chaufferie où il vient de subir le feu le plus violent, il est rougi à blanc, il jette non seulement des étincelles ardentes, mais il brûle réellement d'une flamme très vive qui consumerait une partie de sa substance, si on tardait trop de temps à porter cette loupe sous le marteau; ce fer serait, pour ainsi dire, détruit avant que d'être formé, il subirait l'effet complet de la combustion si le coup du marteau, en rapprochant ses parties trop divisées par le feu, ne commençait à lui faire prendre le premier degré de sa ténacité. On le tire dans cet état et encore tout rouge de dessous le marteau, et on le reporte au foyer de l'affinerie où il se pénètre d'un nouveau feu; lorsqu'il est blanc, on le transporte de même et le plus promptement possible au marteau, sous lequel il se consolide et s'étend beaucoup plus que la première fois; enfin on remet encore cette pièce au feu et on la reporte au marteau, sous lequel on l'achève en entier. C'est ainsi qu'on travaille tous les fers communs; on ne leur donne que deux ou tout au plus trois volées de marteau: aussi n'ont-ils pas à beaucoup près la ténacité qu'ils pourraient acquérir si on les travaillait moins précipitamment. La force du marteau non seulement comprime les parties du fer trop divisées par le feu, mais en les rapprochant elle chasse les matières étrangères et le purifie en le consolidant. Le déchet du fer en gueuse est ordinairement d'un tiers, dont la plus grande partie se brûle, et le reste coule en fusion et forme ce qu'on appelle *les crasses du fer*: ces crasses sont plus pesantes que le mâchefer du bois, et contiennent encore une assez grande quantité de fer, qui est, à la vérité, très impur et très aigre, mais dont on peut néanmoins tirer parti en mêlant ces crasses broyées et en petite quantité avec la mine que l'on jette au fourneau; j'ai l'expérience qu'en mêlant un sixième de ces crasses avec cinq sixièmes de mine épurée par mes cribles, la fonte ne change pas sensiblement de qualité, mais si l'on en met davantage elle devient plus cassante, sans néanmoins changer de couleur ni de grain. Mais si les mines sont moins épurées, ces crasses gâtent absolument la fonte, parce qu'étant déjà très aigre et très cassante par elle-même, elle le devient encore plus par cette addition de mauvaise matière, en sorte que cette pratique, qui peut devenir utile entre les mains d'un habile maître de l'art, produira dans d'autres mains de si mauvais effets qu'on ne pourra se servir ni des fers ni des fontes qui en proviendront.

Il y a néanmoins des moyens, je ne dis pas de changer, mais de corriger un peu la mauvaise qualité de la fonte et d'adoucir à la chaufferie l'aigreur du fer qui en provient. Le premier de ces moyens est de diminuer la force du vent, soit en changeant l'inclinaison de la tuyère, soit en ralentissant le mouvement des soufflets, car plus on presse le feu plus le fer devient aigre. Le second moyen, et qui est encore plus efficace, c'est de jeter sur la loupe de fer qui se sépare de la gueuse une certaine quantité de gravier calcaire ou même de chaux toute faite; cette chaux sert de fondant aux parties vitrifiables que le fer aigre contient en trop grande quantité, et le purge de ses impuretés. Mais ce sont de petites ressources auxquelles il ne faut pas se mettre dans le cas d'avoir recours, ce qui n'arriverait jamais si l'on suivait les procédés que j'ai donnés pour faire de bonne fonte (a).

Lorsqu'on fait travailler les affineurs à leur compte et qu'on les paye au millier, ils font, comme les fondeurs, le plus de fer qu'ils peuvent dans leur semaine, ils construisent le foyer de leur chaufferie de la manière la plus avantageuse pour eux; ils pressent le feu, trouvent que les soufflets de donnent jamais assez de vent, ils travaillent moins la loupe et font ordinairement en deux chaudes ce qui en exigerait au moins trois; on ne sera donc jamais sûr d'avoir du fer d'une bonne et même qualité qu'en payant les

(a) On trouvera ces procédés dans mes Mémoires sur la fusion des mines de fer.

ouvriers au mois, et en faisant casser à la fin de chaque semaine quelques barres du fer qu'ils livrent, pour reconnaître s'ils ne sont pas ou trop pressés ou négligés. Le fer en bandes plates est toujours plus nerveux que le fer en barreaux; s'il se trouve deux tiers de nerf sur un tiers de grain dans les bandes, on ne trouvera dans les barreaux, quoique faits de même étoffe, qu'environ un tiers de nerf sur deux tiers de grain, ce qui prouve bien clairement que la plus ou moins grande force du fer vient de la différente application du marteau; s'il frappe plus constamment, plus fréquemment sur un même plan, comme celui des bandes plates, il en rapproche et en réunit mieux les parties que s'il frappe presque alternativement sur deux plans différents pour faire les barreaux carrés: aussi est-il plus difficile de bien souder du barreau que de la bande, et lorsqu'on veut faire du fer de *tirerie*, qui doit être en barreaux de 13 lignes et d'un fer très nerveux et assez ductile pour être converti en fil de fer, il faut le travailler plus lentement à l'affinerie, ne le tirer du feu que quand il est presque fondant et le faire suer sous le marteau le mieux qu'il est possible, afin de lui donner tout le nerf dont il est susceptible sous cette forme carrée, qui est la plus ingrate, mais qui paraît nécessaire ici, parce qu'il faut ensuite tirer de ces barreaux, qu'on coupe environ à 4 pieds, une verge de 18 ou 20 pieds par le moyen du martinet, sous lequel on l'allonge après l'avoir chauffée; c'est ce qu'on appelle de la *verge crénelée*: elle est carrée comme le barreau dont elle provient, et porte sur les quatre faces des enfoncements successifs, qui sont les empreintes profondes de chaque coup du martinet ou petit marteau sous lequel on la travaille. Ce fer doit être de la plus grande ductilité pour passer jusqu'à la plus petite filière, et en même temps il ne faut pas qu'il soit trop doux, mais assez ferme pour ne pas donner trop de déchet; ce point est assez difficile à saisir, aussi n'y a-t-il en France que deux ou trois forges dont on puisse tirer ces fers pour les fileries.

La bonne fonte est, à la vérité, la base de tout bon fer, mais il arrive souvent que par des mauvaises pratiques on gâte ce bon fer. Une de ces mauvaises pratiques, la plus généralement répandue, et qui détruit le plus le nerf et la ténacité du fer, c'est l'usage où sont les ouvriers de presque toutes les forges de tremper dans l'eau la première portion de la pièce qu'ils viennent de travailler, afin de pouvoir la manier et la reprendre plus promptement; j'ai vu, avec quelque surprise, la prodigieuse différence qu'occasionne cette trempe, surtout en hiver et lorsque l'eau est froide: non seulement elle rend cassant le meilleur fer, mais même elle en change le grain et en détruit le nerf, au point qu'on n'imaginerait pas que c'est le même fer, si l'on n'en était pas convaincu par ses yeux en faisant casser l'autre bout du même barreau, qui, n'ayant point été trempé, conserve son nerf et son grain ordinaire. Cette trempe, en été, fait beaucoup moins de mal, mais en fait toujours un peu: et, si l'on veut avoir du fer toujours de la même bonne qualité, il faut absolument proscrire cet usage, ne jamais tremper le fer chaud dans l'eau, et attendre, pour le manier, qu'il se refroidisse à l'air.

Il faut que la fonte soit bonne pour produire du fer aussi nerveux, aussi tenace que celui qu'on peut tirer des vieilles ferrailles refondues, non pas en les jetant au fourneau de fusion, mais en les mettant au feu de l'affinerie; tous les ans on achète pour mes forges une assez grande quantité de ces vieilles ferrailles, dont, avec un peu de soin, l'on fait d'excellent fer. Mais il y a du choix dans ces ferrailles: celles qui proviennent des rognures de la tôle ou des morceaux cassés du fil de fer, qu'on appelle des *riblons*, sont les meilleures de toutes, parce qu'elles sont d'un fer plus pur que les autres: on les achète aussi quelque chose de plus, mais en général ces vieux fers, quoique de qualité médiocre, en produisent de très bon lorsqu'on sait les traiter. Il ne faut jamais les mêler avec la fonte; si même il s'en trouve quelques morceaux parmi les ferrailles, il faut les séparer; il faut aussi mettre une certaine quantité de crasses dans le foyer, et le feu doit être moins poussé, moins violent, que pour le travail du fer en gueuse, sans quoi l'on brûlerait une

grande partie de sa ferraille, qui, quand elle est bien traitée et de bonne qualité, ne donne qu'un cinquième de déchet, et consomme moins de charbon que le fer de la gueuse. Les crasses qui sortent de ces vieux fers sont en bien moindre quantité, et ne conservent pas à beaucoup près autant de particules de fer que les autres. Avec des riblons qu'on renvoie des fileries que fournissent mes forges, et des rognures de tôle cisailées que je fais fabriquer, j'ai souvent fait du fer qui était tout nerf, et dont le déchet n'était presque que d'un sixième; tandis que le déchet du fer en gueuse est communément du double, c'est-à-dire d'un tiers, et souvent de plus du tiers si on veut obtenir du fer d'excellente qualité.

M. de Montbeillard, lieutenant-colonel au régiment royal d'artillerie, ayant été chargé pendant plusieurs années de l'inspection des manufactures d'armes à Charleville, Maubeuge et Saint-Étienne, a bien voulu me communiquer un Mémoire qu'il a présenté au ministre, et dans lequel il traite de cette fabrication du fer avec de vieilles ferrailles; il dit, avec grande raison, « que les ferrailles qui ont beaucoup de surface, et celles qui proviennent des vieux fers et clous de chevaux ou fragments de petits cylindres ou carrés tors, ou des anneaux et boucles, toutes pièces qui supposent que le fer qu'on a employé pour les fabriquer était souple, liant et susceptible d'être plié, étendu ou tordu, doivent être préférées et recherchées pour la fabrication des canons de fusil. » On trouve, dans ce même Mémoire de M. de Montbeillard, d'excellentes réflexions sur les moyens de perfectionner les armes à feu et d'en assurer la résistance par le choix du bon fer et par la manière de le traiter : l'auteur rapporte une très bonne expérience (a), qui prouve clairement que les vieilles ferrailles et même les écailles ou exfoliations qui se détachent de la surface du fer, et que bien des gens prennent pour des scories, se soudent ensemble de la manière la plus intime, et que par conséquent le fer qui en provient est d'aussi bonne, et peut-être de meilleure qualité qu'aucun autre. Mais en même temps il conviendra avec moi, et il observe même, dans la suite de son Mémoire, que cet excellent fer ne doit pas être employé seul, par la raison même qu'il est trop parfait; et en effet, un fer qui, sortant de la forge, a toute sa perfection, n'est excellent que pour être employé tel qu'il est, ou pour des ouvrages qui ne demandent que des chaudes douces : car toute chaude vive, toute chaleur à blanc la dénature; j'en ai fait des épreuves plus que réitérées sur des morceaux de toute grosseur; le petit fer se dénature un peu moins que le gros, mais tous deux perdent la plus grande partie de leur nerf dès la première chaude à blanc; une seconde chaude pareille change et achève de détruire le nerf; elle altère même la qualité du grain, qui, de fin qu'il était, devient grossier et brillant comme celui du fer le plus commun; une troisième chaude rend ces grains encore plus gros, et laisse déjà voir entre leurs interstices des parties noires de matière brûlée; enfin, en continuant de lui donner des chaudes, on arrive au dernier degré de sa décomposition, et on le réduit en une terre morte qui ne paraît plus contenir de substance métallique, et dont on ne peut faire aucun usage : car

(a) Qu'on prenne une barre de fer, large de deux à trois pouces, épaisse de deux à trois lignes, qu'on la chauffe au rouge, et qu'avec la panne du marteau on y pratique dans sa longueur une cannelure ou cavité, qu'on la plie sur elle-même pour la doubler et corroyer, l'on remplira ensuite la cannelure des écailles ou pailles en question, on lui donnera une chaude douce d'abord en rabattant les bords, pour empêcher qu'elles ne s'échappent, et on battra la barre comme on le pratique pour corroyer le fer avant de la chauffer au blanc; on la chauffera ensuite blanche et fondante, et la pièce soudera à merveille; on la cassera à froid et l'on n'y verra rien qui annonce que la soudure n'ait pas été complète et parfaite, et que toutes les parties du fer ne se soient pas pénétrées réciproquement sans laisser aucun espace vide. J'ai fait cette expérience aisée à répéter, qui doit rassurer sur les pailles, soit qu'elles soient plates ou qu'elles aient la forme d'aiguilles, puisqu'elles ne sont autre chose que du fer, comme la barre avec laquelle on les incorpore, où elles ne forment plus qu'une même masse avec elle.

cette terre morte n'a pas, comme la plupart des autres chaux métalliques, la propriété de se revivifier par l'application des matières combustibles; elle ne contient guère plus de fer que le mâchefer commun tiré du charbon des végétaux, au lieu que les chaux des autres métaux se revivifient presque en entier ou du moins en très grande partie, et cela achève de démontrer que le fer est une matière presque entièrement combustible.

Ce fer, que l'on tire tant de cette terre ou chaux de fer que du mâchefer provenant du charbon, m'a paru d'une singulière qualité; il est très magnétique et très infusible; j'ai trouvé du petit sable noir aussi magnétique, aussi indissoluble, et presque infusible dans quelques-unes des mines que j'ai fait exploiter : ce sablon ferrugineux et magnétique se trouve mêlé avec les grains de mine qui ne le sont point du tout, et provient certainement d'une cause tout autre; le feu a produit ce sablon magnétique et l'eau les grains de mine; et lorsque par hasard ils se trouvent mélangés, c'est que le hasard a fait qu'on a brûlé de grands amas de bois, ou qu'on a fait des fourneaux de charbon sur le terrain qui renferme les mines, et que ce sablon ferrugineux, qui n'est que le détriment du mâchefer que l'eau ne peut ni rouiller ni dissoudre, a pénétré par la filtration des eaux auprès des lits de mine en grains, qui souvent ne sont qu'à deux ou trois pieds de profondeur. On a vu, dans le Mémoire précédent que ce sablon ferrugineux, qui provient du mâchefer des végétaux, ou, si l'on veut, du fer brûlé autant qu'il peut l'être, paraît être le même à tous égards que celui qui se trouve dans le platine.

Le fer le plus parfait est celui qui n'a presque point de grain et qui est entièrement d'un nerf de gris cendré; le fer à nerf noir est encore très bon, et peut-être est-il préférable au premier pour tous les usages où il faut chauffer plus d'une fois ce métal avant de l'employer; le fer de la troisième qualité, et qui est moitié nerf et moitié grain, est le fer par excellence pour le commerce, parce qu'on peut le chauffer deux ou trois fois sans le dénaturer; le fer sans nerf, mais à grain fin, sert aussi pour beaucoup d'usages, mais les fers sans nerf et à gros grains devraient être proscrits et font le plus grand tort dans la société, parce que malheureusement ils y sont cent fois plus communs que les autres. Il ne faut qu'un coup d'œil à un homme exercé pour connaître la bonne ou la mauvaise qualité du fer; mais les gens qui le font employer, soit dans leurs bâtiments, soit à leurs équipages, ne s'y connaissent ou n'y regardent pas, et payent souvent comme très bon du fer que le fardeau fait rompre ou que la rouille détruit en peu de temps.

Autant les chaudes vives et poussées jusqu'au blanc détériorent le fer, autant les chaudes douces, où l'on ne le rougit que couleur de cerise, semblent l'améliorer : c'est par cette raison que les fers destinés à passer à la fenderie ou à la batterie ne demandent pas à être fabriqués avec autant de soin que ceux qu'on appelle *fers marchands*, qui doivent avoir toute leur qualité. Le fer de tirerie fait une classe à part, il ne peut être trop pur; s'il contenait des parties hétérogènes, il deviendrait très cassant aux dernières filières : or, il n'y a d'autre moyen de le rendre pur que de le faire bien suer en le chauffant la première fois jusqu'au blanc et le martelant avec autant de force que de précaution, et ensuite en le faisant encore chauffer à blanc, afin d'achever de le dépurer sous le martinet en l'allongeant pour en faire de la verge crénelée. Mais les fers destinés à être refendus pour en faire de la verge ordinaire, des fers aplatis, des languettes pour la tôle, tous les fers, en un mot, qu'on doit passer sous les cylindres n'exigent pas le même degré de perfection, parce qu'ils s'améliorent au four de la fenderie, où l'on n'emploie que du bois, et dans lequel tous ces fers ne prennent une chaleur que du second degré, d'un rouge couleur de feu, qui est suffisant pour les amollir, et leur permet de s'aplatir et de s'étendre sous les cylindres et de se fendre ensuite sous les taillants. Néanmoins, si l'on veut avoir de la verge bien douce, comme celle qui est nécessaire pour les clous à maréchal; si l'on veut des fers aplatis qui aient beaucoup de nerf, comme doivent

être ceux qu'on emploie pour les roues, et particulièrement les bandages qu'on fait d'une pièce, dans lesquels il faut au moins un tiers de nerf; les fers qu'on livre à la fenderie doivent être de bonne qualité, c'est-à-dire avoir au moins un tiers de nerf, car j'ai observé que le feu doux du four et la forte compression des cylindres rendent, à la vérité, le grain de fer un peu plus fin et donnent même du nerf à celui qui n'avait que du grain très fin, mais ils ne convertissent jamais en nerf le gros grain des fers communs; en sorte qu'avec du mauvais fer à gros grain on pourra faire de la verge et des fers aplatis dont le grain sera moins gros, mais qui seront toujours trop cassants pour être employés aux usages dont je viens de parler.

Il en est de même de la tôle : on ne peut pas employer de trop bonne étoffe pour la faire, et il est bien fâcheux qu'on fasse tout le contraire, car presque toutes nos tôles, en France, se font avec du fer commun; elles se rompent en les pliant, et se brûlent et pourrissent en peu de temps; tandis que de la tôle faite, comme celle de Suède et d'Angleterre, avec du bon fer bien nerveux, se tordra cent fois sans rompre, et durera peut-être vingt fois plus que les autres. On en fait à mes forges de toute grandeur et de toute épaisseur; on en emploie à Paris pour les casseroles et autres pièces de cuisine qu'on étame, et qu'on a raison de préférer aux casseroles de cuivre. On a fait, avec cette même tôle, grand nombre de poêles, de chaineaux, de tuyaux, et j'ai, depuis quatre ans, l'expérience mille fois réitérée qu'elle peut durer comme je viens de le dire, soit au feu, soit à l'air, beaucoup plus que les tôles communes; mais comme elle est un peu plus chère, le débit en est moindre, et l'on n'en demande que pour de certains usages particuliers auxquels les autres tôles ne pourraient être employées. Lorsqu'on est au fait, comme j'y suis, du commerce des fers, on dirait qu'en France on a fait un pacte général de ne se servir que de ce qu'il y a de plus mauvais en ce genre.

Avec du fer nerveux on pourra toujours faire d'excellente tôle, en faisant passer le fer des languettes sous les cylindres de la fenderie : ceux qui aplatissent ces languettes sous le martinet, après les avoir fait chauffer au charbon, sont dans un très mauvais usage; le feu de charbon poussé par les soufflets gâte le fer de ces languettes, celui du four de la fenderie ne fait que le perfectionner. D'ailleurs, il en coûte plus de moitié moins pour faire les languettes au cylindre que pour les faire au martinet; ici l'intérêt s'accorde avec la théorie de l'art : il n'y a donc que l'ignorance qui puisse entretenir cette pratique, qui néanmoins est la plus générale, car il y a peut-être, sur toutes les tôles qui se fabriquent en France, plus des trois quarts dont les languettes ont été faites au martinet. Cela ne peut pas être autrement, me dira-t-on : toutes les batteries n'ont pas à côté d'elles une fenderie et des cylindres montés, je l'avoue, et c'est ce dont je me plains. On a tort de permettre ces petits établissements particuliers, qui ne subsistent qu'en achetant dans les grosses forges les fers au meilleur marché, c'est-à-dire tous les plus médiocres, pour les fabriquer ensuite en tôle et en petits fers de la plus mauvaise qualité.

Un autre objet fort important sont les fers de charrue : on ne saurait croire combien la mauvaise qualité du fer dont on les fabrique fait de tort aux laboureurs. On leur livre inhumainement des fers qui cassent au moindre effort, et qu'ils sont forcés de renouveler presque aussi souvent que leurs cultures; on leur fait payer bien cher du mauvais acier dont on arme la pointe de ces fers encore plus mauvais, et le tout est perdu pour eux au bout d'un an, et souvent en moins de temps; tandis qu'en employant pour ces fers de charrue, comme pour la tôle, le fer le meilleur et le plus nerveux, on pourrait les garantir pour un usage de vingt ans, et même se dispenser d'en aciérer la pointe : car j'ai fait faire plusieurs centaines de ces fers de charrue, dont j'ai fait essayer quelques-uns sans acier, et ils se sont trouvés d'une étoffe assez ferme pour résister au labour. J'ai fait la même expérience sur un grand nombre de pioches : c'est la mauvaise qualité de nos fers qui a établi chez les taillandiers l'usage général de mettre de l'acier à ces instruments de campagne,

qui n'en auraient pas besoin s'ils étaient de bon fer fabriqué avec des languettes passées sous les cylindres.

J'avoue qu'il y a de certains usages pour lesquels on pourrait fabriquer du fer aigre, mais encore ne faut-il pas qu'il soit à trop gros grain ni trop cassant ; les clous pour les petites lattes à tuile, les broquettes et autres petits clous plient lorsqu'ils sont faits d'un fer trop doux, mais à l'exception de ce seul emploi, qu'on ne remplira toujours que trop, je ne vois pas qu'on doive se servir de fer aigre. Et si, dans une bonne manufacture, on en veut faire une certaine quantité, rien n'est plus aisé : il ne faut qu'augmenter d'une mesure ou d'une mesure et demie de mine au fourneau, et mettre à part les gueuses qui en proviendront, la fonte en sera moins bonne et plus blanche. On les fera forger à part en ne donnant que deux chaudes à chaque bande, et l'on aura du fer aigre, qui se fendra plus aisément que l'autre et qui donnera de la verge cassante.

Le meilleur fer, c'est-à-dire celui qui a le plus de nerf, et par conséquent le plus de ténacité, peut éprouver cent et deux cents coups de masse sans se rompre ; et comme il faut néanmoins le casser pour tous les usages de la fenderie et de la batterie, et que cela demanderait beaucoup de temps, même en s'aidant du ciseau d'acier, il vaut mieux faire couper sous le marteau de la forge les barres encore chaudes à moitié de leur épaisseur, cela n'empêche pas le marteleur de les achever, et épargne beaucoup de temps au fendeur et au platineur. Tout le fer que j'ai fait casser à froid et à grands coups de masse s'échauffe d'autant plus qu'il est plus fortement et plus souvent frappé ; non seulement il s'échauffe au point de brûler très vivement, mais il s'aimante comme s'il eût été frotté sur un très bon aimant. M'étant assuré de la constance de cet effet par plusieurs observations successives, je voulus voir si sans percussion je pourrais de même produire dans le fer la vertu magnétique : je fis prendre pour cela une verge de 3 lignes de grosseur de mon fer le plus liant, et que je connaissais pour être très difficile à rompre, et l'ayant fait plier et replier, par les mains d'un homme fort, sept ou huit fois de suite sans pouvoir la rompre, je trouvai le fer très chaud au point où on l'avait plié, et il avait en même temps toute la vertu d'un barreau bien aimanté. J'aurai occasion dans la suite de revenir à ce phénomène, qui tient de très près à la théorie du magnétisme et de l'électricité, et que je ne rapporte ici que pour démontrer que plus une matière est tenace, c'est-à-dire plus il faut d'efforts pour la diviser, plus elle est près de produire de la chaleur et tous les autres effets qui peuvent en dépendre, et prouver en même temps que la simple pression, produisant le frottement des parties intérieures, équivaut à l'effet de la plus violente percussion.

On soude tous les jours le fer avec lui-même ou sur lui-même, mais il faut la plus grande précaution pour qu'il ne se trouve pas un peu plus faible aux endroits des soudures : car, pour réunir et souder les deux bouts d'une barre, on les chauffe jusqu'au blanc le plus vif ; le fer dans cet état est tout prêt à fondre, il n'y arrive pas sans perdre toute sa ténacité et par conséquent tout son nerf ; il ne peut donc en reprendre, dans toute cette partie qu'on soude, que par la percussion des marteaux dont deux ou trois ouvriers font succéder les coups le plus vite qu'il leur est possible, mais cette percussion est très faible et même lente en comparaison de celle du marteau de la forge ou même de celle du martinet : ainsi l'endroit soudé, quelque bonne que soit l'étoffe, n'aura que peu de nerf et souvent point du tout, si l'on a pas bien saisi l'instant où les deux morceaux sont également chauds, et si le mouvement du marteau n'a pas été assez prompt et assez fort pour les bien réunir. Aussi, quand on a des pièces importantes à souder, on fera bien de le faire sous les martinets les plus prompts. La soudure, dans les canons des armes à feu, est une des choses les plus importantes : M. de Montbeillard, dans le Mémoire que j'ai cité ci-dessus, donne de très bonnes vues sur cet objet, et même des expériences décisives. Je crois avec lui que, comme il faut chauffer à blanc nombre de fois la bande ou *maquette* pour souder le canon dans toute sa longueur, il ne faut pas employer du fer qui serait au

dernier degré de sa perfection, parce qu'il ne pourrait que se détériorer par ces fréquentes chaudes vives; qu'il faut au contraire choisir le fer qui, n'étant pas encore aussi épuré qu'il peut l'être, gagnera plutôt de la qualité qu'il n'en perdra par ces nouvelles chaudes; mais cet article seul demanderait un grand travail fait et dirigé par un homme aussi éclairé que M. de Montbeillard, et l'objet en est d'une si grande importance pour la vie des hommes et pour la gloire de l'État qu'il mérite la plus grande attention.

Le fer se décompose par l'humidité comme par le feu; il attire l'humidité de l'air, s'en pénètre et se rouille, c'est-à-dire se convertit en une espèce de terre sans liaison, sans cohérence; cette conversion se fait en assez peu de temps dans les fers qui sont de mauvaise qualité ou mal fabriqués: ceux dont l'étoffe est bonne, et dont les surfaces sont bien lisses ou polies, se défendent plus longtemps, mais tous sont sujets à cette espèce de mal, qui de la superficie gagne assez promptement l'intérieur, et détruit avec le temps le corps entier du fer. Dans l'eau, il se conserve beaucoup mieux qu'à l'air, et quoiqu'on s'aperçoive de son altération par la couleur noire qu'il y prend après un long séjour, il n'est point dénaturé, il peut être forgé, au lieu que celui qui a été exposé à l'air pendant quelques siècles, et que les ouvriers appellent du *fer luné*, parce qu'ils s'imaginent que la lune le mange, ne peut ni se forger ni servir à rien, à moins qu'on ne le revivifie comme les rouilles et les safrans de mars, ce qui coûte communément plus que le fer ne vaut. C'est en ceci que consiste la différence des deux décompositions du fer: dans celle qui se fait par le feu, la plus grande partie du fer se brûle et s'exhale en vapeurs comme les autres matières combustibles; il ne reste qu'un mâchefer qui contient, comme celui du bois, une petite quantité de matière très attirable par l'aimant, comme je l'ai dit, au sablon ferrugineux qui se trouve en si grande quantité dans le platine. La décomposition par l'humidité ne diminue pas à beaucoup près autant que la combustion la masse du fer, mais elle en altère toutes les parties au point de leur faire perdre leur vertu magnétique, leur cohérence et leur couleur métallique; c'est de cette rouille ou terre de fer que sont en grande partie composées les mines en grain: l'eau, après avoir atténué ces particules de rouille et les avoir réduites en molécules insensibles, les charrie et les dépose par filtration dans le sein de la terre, où elles se réunissent en grain par une sorte de cristallisation qui se fait comme toutes autres, par l'attraction mutuelle des molécules analogues; et comme cette rouille de fer était privée de la vertu magnétique, il n'est pas étonnant que les mines en grain qui en proviennent en soient également dépourvues. Ceci me paraît démontrer d'une manière assez claire que le magnétisme suppose l'action précédente du feu, que c'est une qualité particulière que le feu donne au fer, et que l'humidité de l'air lui enlève en le décomposant.

Si l'on met dans un vase une grande quantité de limaille de fer pure qui n'a pas encore pris de rouille, et si on la couvre d'eau, on verra, en la laissant sécher, que cette limaille se réunit par ce seul intermède, au point de faire une masse de fer assez solide pour qu'on ne puisse la casser qu'à coups de masse; ce n'est donc pas précisément l'eau qui décompose le fer et qui produit la rouille, mais plutôt les sels et les vapeurs sulfureuses de l'air, car on sait que le fer se dissout très aisément par les acides et par le soufre. En présentant une verge de fer bien rouge à une bille de soufre, le fer coule dans l'instant, et, en le recevant dans l'eau, on obtient des grenailles qui ne sont plus du fer ni même de la fonte, car j'ai éprouvé qu'on ne pouvait pas les réunir au feu pour les forger; c'est une matière qu'on ne peut comparer qu'à la pyrite martiale, dans laquelle le fer paraît être également décomposé par le soufre; et je crois que c'est par cette raison que l'on trouve presque partout à la surface de la terre et sous les premiers lits de ses couches extérieures une assez grande quantité de ces pyrites, dont le grain ressemble à celui du mauvais fer, mais qui n'en contiennent qu'une très petite quantité, mêlée avec beaucoup d'acide vitriolique et plus ou moins de soufre.

CINQUIÈME MÉMOIRE

EXPÉRIENCES SUR LES EFFETS DE LA CHALEUR OBSCURE.

Pour reconnaître les effets de la chaleur obscure, c'est-à-dire de la chaleur privée de lumière, de flamme et de feu libre, autant qu'il est possible, j'ai fait quelques expériences en grand, dont les résultats m'ont paru très intéressants.

PREMIÈRE EXPÉRIENCE.

On a commencé, sur la fin d'août 1772, à mettre des braises ardentes dans le creuset du grand fourneau qui sert à fondre la mine de fer pour la couler en gueuses; ces braises ont achevé de sécher les mortiers qui étaient faits de glaise mêlée par égale portion avec du sable vitrescible. Le fourneau avait 23 pieds de hauteur. On a jeté par le gueulard (c'est ainsi qu'on appelle l'ouverture supérieure du fourneau) les charbons ardents que l'on tirait des petits fourneaux d'expériences; on a mis successivement une assez grande quantité de ces braises pour remplir le bas du fourneau jusqu'à la cuve (c'est ainsi qu'on appelle l'endroit de la plus grande capacité du fourneau), ce qui dans celui-ci montait à 7 pieds 2 pouces de hauteur perpendiculaire depuis le fond du creuset. Par ce moyen, on a commencé de donner au fourneau une chaleur modérée qui ne s'est pas fait sentir dans la partie la plus élevée.

Le 10 septembre, on a vidé toutes ces braises réduites en cendres par l'ouverture du creuset, et lorsqu'il a été bien nettoyé on y a mis quelques charbons ardents et d'autres charbons par-dessus, jusqu'à la quantité de 600 livres pesant; ensuite on a laissé prendre le feu, et le lendemain 11 septembre, on a achevé de remplir le fourneau avec 4,000 livres de charbon: ainsi il contient en tout 5,400 livres de charbon, qui ont été portées en cent trente-cinq corbeilles de 40 livres chacune, tare faite.

On a laissé pendant ce temps l'entrée du creuset ouverte, et celle de la tuyère bien bouchée pour empêcher le feu de se communiquer aux soufflets. La première impression de la grande chaleur, produite par le long séjour des braises ardentes et par cette première combustion du charbon, s'est marquée par une petite fente qui s'est faite dans la pierre du fond à l'entrée du creuset, et par une autre fente qui s'est faite dans la pierre de la tympe. Le charbon, néanmoins, quoique fort allumé dans le bas, ne l'était encore qu'à une très petite hauteur, et le fourneau ne donnait au gueulard qu'assez peu de fumée, ce même jour 12 septembre à six heures du soir: car cette ouverture supérieure n'était pas bouchée, non plus que l'ouverture du creuset.

A neuf heures du soir du même jour, la flamme a percé jusque au-dessus du fourneau, et comme elle est devenue très vive en peu de temps, on a bouché l'ouverture du creuset à dix heures du soir. La flamme, quoique fort ralentie par cette suppression du courant d'air, s'est soutenue pendant la nuit et le jour suivant; en sorte que le lendemain 13 septembre, vers les quatre heures du soir, le charbon avait baissé d'un peu plus de 4 pieds. On a rempli ce vide à cette même heure avec onze corbeilles de charbon, pesant ensemble 440 livres; ainsi le fourneau a été chargé en tout de 5,840 livres de charbon.

Ensuite on a bouché l'ouverture supérieure du fourneau avec un large couvercle de forte tôle, garni tout autour avec du mortier de glaise et sable mêlé de poudre de char-

bon, et chargé d'un pied d'épaisseur de cette poudre de charbon mouillée; pendant que l'on bouchait, on a remarqué que la flamme ne laissait pas de retentir assez fortement dans l'intérieur du fourneau; mais en moins d'une minute la flamme a cessé de retentir, et l'on n'entendait plus aucun bruit ni murmure, en sorte qu'on aurait pu penser que l'air n'ayant point d'accès dans la cavité du fourneau, le feu y était entièrement étouffé.

On a laissé le fourneau ainsi bouché partout, tant au-dessus qu'au-dessous, depuis le 13 septembre jusqu'au 28 du même mois, c'est-à-dire pendant quinze jours. J'ai remarqué pendant ce temps, que, quoiqu'il n'y eût point de flamme dans le fourneau, ni même de feu lumineux, la chaleur ne laissait pas d'augmenter et de se communiquer autour de la cavité du fourneau.

Le 28 septembre, à dix heures du matin, on a débouché l'ouverture supérieure du fourneau avec précaution, dans la crainte d'être suffoqué par la vapeur du charbon; j'ai remarqué, avant de l'ouvrir, que la chaleur avait gagné jusqu'à 4 pieds $\frac{1}{2}$ dans l'épaisseur du massif qui forme la tour du fourneau; cette chaleur n'était pas fort grande aux environs de la *bure* (c'est ainsi qu'on appelle la partie supérieure du fourneau qui s'élève au-dessus de son terre-plein). Mais à mesure qu'on approchait de la cavité, les pierres étaient déjà si fort échauffées, qu'il n'était pas possible de les toucher un instant: les mortiers dans les joints des pierres étaient en partie brûlés, et il paraissait que la chaleur était beaucoup plus grande encore dans le bas du fourneau, car les pierres du dessus de la tympe et de la tuyère étaient excessivement chaudes dans toute leur épaisseur jusqu'à 4 ou 5 pieds.

Au moment qu'on a débouché le gueulard du fourneau, il en est sorti une vapeur suffocante, dont il a fallu s'éloigner, et qui n'a pas laissé de faire mal à la tête à la plupart des assistants. Lorsque cette vapeur a été dissipée, on a mesuré de combien le charbon enfermé et privé d'air courant pendant quinze jours avait diminué, et l'on a trouvé qu'il avait baissé de 14 pieds 5 pouces de hauteur; en sorte que le fourneau était vide dans toute sa partie supérieure jusqu'au près de la cuve.

Ensuite j'ai observé la surface de ce charbon, et j'y ai vu une petite flamme qui venait de naître; il était absolument noir et sans flamme auparavant. En moins d'une heure cette petite flamme bleuâtre est devenue rouge dans le centre, et s'élevait alors d'environ 2 pieds au-dessus du charbon.

Une heure après avoir débouché le gueulard, j'ai fait déboucher l'entrée du creuset: la première chose qui s'est présentée à cette ouverture n'a pas été du feu comme on aurait pu le présumer, mais des scories provenant du charbon, et qui ressemblaient à du mâchefer léger; ce mâchefer était en assez grande quantité et remplissait tout l'intérieur du creuset, depuis la tympe à la rustine; et ce qu'il y a de singulier, c'est que, quoiqu'il ne se fût formé que par une grande chaleur, il avait intercepté cette même chaleur au-dessus du creuset, en sorte que les parties de ce mâchefer qui étaient au fond n'étaient, pour ainsi dire, que tièdes; néanmoins elles s'étaient attachées au fond et aux parois du creuset, et elles en avaient réduit en chaux quelques portions jusqu'à plus de 3 ou 4 pouces de profondeur.

J'ai fait tirer ce mâchefer et l'ai fait mettre à part pour l'examiner; on a aussi tiré la chaux du creuset et des environs, qui était en assez grande quantité. Cette calcination, qui s'est faite par ce feu sans flamme, m'a paru provenir en partie de l'action de ces scories du charbon. J'ai pensé que ce feu sourd et sans flamme était trop sec, et je crois que si j'avais mêlé quelque portion de laitier ou de terre vitrescible avec le charbon, cette terre aurait servi d'aliment à la chaleur, et aurait rendu des matières fondantes qui auraient préservé de la calcination la surface de l'ouvrage du fourneau.

Quoi qu'il en soit, il résulte de cette expérience, que la chaleur seule, c'est-à-dire la cha-

leur obscure, renfermée et privée d'air autant qu'il est possible, produit néanmoins avec le temps des effets semblables à ceux du feu le plus actif et le plus lumineux. On sait qu'il doit être violent pour calciner la pierre. Ici c'était de toutes les pierres calcaires la moins calcifiable, c'est-à-dire la plus résistante au feu, que j'avais choisie pour faire construire l'ouvrage et la cheminée de mon fourneau : toute cette pierre d'ailleurs avait été taillée et posée avec soin ; les plus petits quartiers avaient 1 pied d'épaisseur, 1 pied 1/2 de largeur, sur 3 et 4 pieds de longueur, et dans ce gros volume la pierre est encore bien plus difficile à calciner que quand elle est réduite en moellons. Cependant cette seule chaleur a non seulement calciné ces pierres à près de 1/2 pied de profondeur dans la partie la plus étroite et la plus froide du fourneau, mais encore a brûlé en même temps les mortiers faits de glaise et de sable sans les faire fondre, ce que j'aurais mieux aimé, parce qu'alors les joints de la bâtisse du fourneau se seraient conservés pleins, au lieu que la chaleur ayant suivi la route de ces joints a encore calciné les pierres sur toutes les faces des joints. Mais pour faire mieux entendre les effets de cette chaleur obscure et concentrée, je dois observer : 1° que le massif du fourneau étant de 28 pieds d'épaisseur de deux faces et de 24 pieds d'épaisseur des deux autres faces, et la cavité où était contenu le charbon n'ayant que 6 pieds dans sa plus grande largeur, les murs pleins qui environnent cette cavité avaient 9 pieds d'épaisseur de maçonnerie à chaux et sable aux parties les moins épaisses ; que par conséquent on ne peut pas supposer qu'il ait passé de l'air à travers ces murs de 9 pieds ; 2° que cette cavité qui contenait le charbon, ayant été bouchée en bas à l'endroit de la coulée avec un mortier de glaise mêlé de sable d'un pied d'épaisseur, et à la tuyère qui n'a que quelques pouces d'ouverture, avec ce même mortier dont on se sert pour tous les bouchages, il n'est pas à présumer qu'il ait pu entrer de l'air par ces ouvertures ; 3° que le gueulard du fourneau ayant de même été fermé avec une plaque de forte tôle lutée, et recouverte avec le même mortier, sur environ 6 pouces d'épaisseur, et encore environnée et surmontée de poussière de charbon mêlée avec ce mortier, sur 6 autres pouces de hauteur, tout accès à l'air par cette dernière ouverture était interdit. On peut donc assurer qu'il n'y avait point d'air circulant dans toute cette cavité, dont la capacité était de 330 pieds cubes, et que l'ayant remplie de 5,400 livres de charbon, le feu étouffé dans cette cavité n'a pu se nourrir que de la petite quantité d'air contenue dans les intervalles que laissaient entre eux les morceaux de charbon ; et comme cette matière jetée l'une sur l'autre laisse de très grands vides, supposons moitié ou même trois quarts, il n'y a donc eu dans cette cavité que 165 ou tout au plus 248 pieds cubes d'air. Or, le fer du fourneau, excité par les soufflets, consomme cette quantité d'air en moins d'une demi-minute ; et cependant il semblerait qu'elle a suffi pour entretenir pendant quinze jours la chaleur, et l'augmenter à peu près au même point que celle du feu libre, puisqu'elle a produit la calcination des pierres à 4 pouces de profondeur dans le bas, et à plus de 2 pieds de profondeur dans le milieu et dans toute l'étendue du fourneau, ainsi que nous le dirons tout à l'heure. Comme cela me paraissait assez inconcevable, j'ai d'abord pensé qu'il fallait ajouter à ces 248 pieds cubes d'air contenus dans la cavité du fourneau, toute la vapeur de l'humidité des murs que la chaleur concentrée n'a pu manquer d'attirer, et de laquelle il n'est guère possible de faire une juste estimation. Ce sont là les seuls aliments, soit en air, soit en vapeurs aqueuses, que cette très grande chaleur a consommés pendant quinze jours ; car il ne se dégage que peu ou point d'air du charbon dans sa combustion, quoiqu'il s'en dégage plus d'un tiers du poids total du bois de chêne bien séché (a) ; cet air fixe contenu dans le bois en est chassé par la première opération du feu qui le convertit en charbon ; et, s'il en reste, ce n'est qu'en si petite quantité qu'on ne peut pas la regarder comme le supplé-

(a) Hales, *Statistique des végétaux*, p. 152.

ment de l'air qui manquait ici à l'entretien du feu. Ainsi cette chaleur très grande, et qui s'est augmentée au point de calciner profondément les pierres, n'a été entretenue que par 248 pieds cubes d'air et par les vapeurs de l'humidité des murs; et quand nous supposons le produit successif de cette humidité cent fois plus considérable que le volume d'air contenu dans la cavité du fourneau, cela ne ferait toujours que 24,800 pieds cubes de vapeurs propres à entretenir la combustion: quantité que le feu libre et animé par les soufflets consommerait en moins de trente minutes, tandis que la chaleur sourde ne la consomme qu'en quinze jours.

Et ce qu'il est nécessaire d'observer encore, c'est que le même feu, libre et animé, aurait consumé en onze ou douze heures les 3,600 livres de charbon que la chaleur obscure n'a consommées qu'en quinze jours; elle n'a donc eu que la trentième partie de l'aliment du feu libre, puisqu'il y a eu trente fois autant de temps employé à la consommation de la matière combustible, et en même temps il y a eu environ sept cent vingt fois moins d'air ou de vapeurs employées à la combustion. Néanmoins les effets de cette chaleur obscure ont été les mêmes que ceux du feu libre, car il aurait fallu quinze jours de ce feu violent et animé pour calciner les pierres au même degré qu'elles l'ont été par la chaleur seule: ce qui nous démontre, d'une part, l'immense déperdition de la chaleur lorsqu'elle s'exhale avec les vapeurs et la flamme, et d'autre part les grands effets qu'on peut attendre de sa concentration ou, pour mieux dire, de sa coercition, de sa détention; car cette chaleur retenue et concentrée ayant produit les mêmes effets que le feu libre et violent, avec trente fois moins de matière combustible, et sept cent vingt fois moins d'air, et étant supposée en raison composée de ces deux éléments, on doit en conclure que dans nos grands fourneaux à fondre les mines de fer, il se perd vingt-un mille fois plus de chaleur qu'il ne s'en applique soit à la mine, soit aux parois du fourneau, en sorte qu'on imaginerait que les fourneaux de réverbère, où la chaleur est plus concentrée, devraient produire le feu le plus puissant. Cependant j'ai acquis la preuve du contraire, nos mines de fer ne s'étant pas même agglutinées par le feu du réverbère de la glacerie de Rouelles en Bourgogne, tandis qu'elles fondent en moins de douze heures au feu de mes fourneaux à soufflets. Cette différence tient au principe que j'ai donné: le feu, par sa vitesse ou par son volume, produit des effets tout différents sur certaines substances telles que la mine de fer, tandis que sur d'autres substances, telles que la pierre calcaire, il peut en produire de semblables. La fusion est en général une opération prompte qui doit avoir plus de rapport avec la vitesse du feu que la calcination, qui est presque toujours lente, et qui doit, dans bien des cas, avoir plus de rapport au volume du feu ou à son long séjour qu'à sa vitesse. On verra, par l'expérience suivante, que cette même chaleur, retenue et concentrée, n'a fait aucun effet sur la mine de fer.

DEUXIÈME EXPÉRIENCE.

Dans ce même fourneau de 33 pieds de hauteur, après avoir fondu de la mine de fer pendant environ quatre mois, je fis couler les dernières gueuses en remplissant toujours avec du charbon, mais sans mine, afin d'en tirer toute la matière fondue; et quand je me fus assuré qu'il n'en restait plus, je fis cesser le vent, boucher exactement l'ouverture de la tuyère et celle de la coulée, qu'on maçonna avec de la brique et du mortier de glaise mêlé de sable. Ensuite je fis porter sur le charbon autant de mine qu'il pouvait en entrer dans le vide qui était au-dessus du fourneau; il y entra cette première fois vingt-sept mesures de 60 livres, c'est-à-dire 1,620 livres pour affleurer le niveau du gueulard; après quoi je fis boucher cette ouverture avec la même plaque de forte tôle et du mortier de glaise et sable, et encore de la poudre de charbon en grande quantité: on imagine bien quelle immense chaleur je renfermais ainsi dans le fourneau; tout le charbon en était allumé du

haut en bas lorsque je fis cesser le vent; toutes les pierres des parois étaient rouges du feu qui les pénétrait depuis quatre mois. Toute cette chaleur ne pouvait s'exhaler que par deux petites fentes qui s'étaient faites au mur du fourneau, et que je fis remplir de bon mortier afin de lui ôter encore ces issues; trois jours après je fis déboucher le gueulard, et je vis avec quelque surprise que, malgré cette chaleur immense renfermée dans le fourneau, le charbon ardent, quoique comprimé par la mine et chargé de 4,620 livres, n'avait baissé que de 16 pouces en trois jours ou soixante-douze heures. Je fis sur-le-champ remplir ces 16 pouces de vide avec vingt-cinq mesures de mine, pesant ensemble 4,500 livres. Trois jours après je fis déboucher cette même ouverture du gueulard, et je trouvai le même vide de 16 pouces, et par conséquent la même diminution, ou, si l'on veut, le même affaissement du charbon; je fis remplir de même avec 4,500 livres de mine; ainsi il y en avait déjà 4,620 livres sur le charbon, qui était tout embrasé lorsqu'on avait commencé de fermer le fourneau. Six jours après je fis déboucher le gueulard pour la troisième fois, et je trouvai que pendant ces six jours le charbon n'avait baissé que de 20 pouces, que l'on remplit avec 4,860 livres de mine; enfin neuf jours après on déboucha pour la quatrième fois, et je vis que pendant ces neuf derniers jours le charbon n'avait baissé que de 11 pouces, que je fis remplir de 1,920 livres de mine; ainsi il y en avait en tout 8,400 livres: on referma le gueulard avec les mêmes précautions, et le lendemain, c'est-à-dire vingt-deux jours après avoir bouché pour la première fois, je fis rompre la petite maçonnerie de briques qui bouchait l'ouverture de la coulée en laissant toujours fermée celle du gueulard, afin d'éviter le courant d'air qui aurait enflammé le charbon. La première chose que l'on tira par l'ouverture de la coulée furent des morceaux réduits en chaux dans l'ouvrage du fourneau; on y trouva aussi quelques petits morceaux de mâchefer, quelques autres d'une fonte mal dirigée, et environ 1 livre 1/2 de très bon fer qui s'était formé par coagulation. On tira près d'un tombereau de toutes ces matières, parmi lesquelles il y avait aussi quelques morceaux de mine brûlée, et presque réduite en mauvais laitier: cette mine brûlée ne provenait pas de celle que j'avais fait imposer sur les charbons après avoir fait cesser le vent, mais de celle qu'on y avait jetée sur la fin du fondage, qui s'était attachée aux parois du fourneau, et qui ensuite était tombée dans le creuset avec les parties de pierres calcinées auxquelles elle était unie.

Après avoir tiré ces matières on fit tomber le charbon; le premier qui parut était à peine rouge, mais dès qu'il eut de l'air il devint très rouge; on ne perdit pas un instant à le tirer, et on l'éteignait en même temps en jetant de l'eau dessus. Le gueulard étant toujours bien fermé, on tira tout le charbon par l'ouverture de la coulée, et aussi toute la mine dont je l'avais fait charger. La quantité de ce charbon tiré du fourneau montait à cent quinze corbeilles; en sorte que pendant ces vingt-deux jours d'une chaleur si violente, il paraissait qu'il ne s'en était consumé que dix-sept corbeilles, car toute la capacité du fourneau n'en contient que cent trente-cinq; et comme il y avait 16 pouces $\frac{1}{2}$ de vide lorsqu'on le boucha, il faut déduire deux corbeilles qui auraient été nécessaires pour remplir le vide.

Étonné de cette excessivement petite consommation du charbon pendant vingt-deux jours de l'action de la plus violente chaleur qu'on eût jamais enfermée, je regardai ces charbons de plus près, et je vis que quoiqu'ils eussent aussi peu perdu sur leur volume, ils avaient beaucoup perdu sur leur masse, et que, quoique l'eau avec laquelle on les avait éteints leur eût rendu du poids, ils étaient encore d'environ un tiers plus légers que quand on les avait jetés au fourneau; cependant les ayant fait transporter aux petites chaufferies des martinets et de la batterie, ils se trouvèrent encore assez bons pour chauffer, même à blanc, les petites barres de fer qu'on fait passer sous ces marteaux.

On avait tiré la mine en même temps que le charbon, et on l'avait soigneusement séparée et mise à part: la très violente chaleur qu'elle avait essuyée pendant un si long

temps ne l'avait ni fondue, ni brûlée, ni même agglutinée; le grain en était seulement devenu plus propre et plus luisant; le sable vitrescible et les petits cailloux dont elle était mêlée ne s'étaient point fondus, et il me parut qu'elle n'avait perdu que l'humidité qu'elle contenait auparavant, car elle n'avait guère diminué que d'un cinquième en poids et d'environ un vingtième en volume, et cette dernière quantité s'était perdue dans les charbons.

Il résulte de cette expérience : 1^o que la plus violente chaleur, et la plus concentrée pendant un très long temps, ne peut, sans le secours et le renouvellement de l'air, fondre la mine de fer, ni même le sable vitrescible, tandis qu'une chaleur de même espèce, et beaucoup moindre, peut calciner toutes les matières calcaires; 2^o que le charbon, pénétré de chaleur ou de feu, commence à diminuer de masse longtemps avant de diminuer de volume, et que ce qu'il perd le premier sont les parties les plus combustibles qu'il contient. Car en comparant cette seconde expérience avec la première, comment se pourrait-il que la même quantité de charbon se consume plus vite avec une chaleur très médiocre qu'avec une chaleur de la dernière violence, toutes deux également privées d'air, également retenues et concentrées dans le même vaisseau clos? Dans la première expérience, le charbon, qui, dans une cavité presque froide, n'avait éprouvé que la légère impression d'un feu qu'on avait étouffé au moment que la flamme s'était montrée, avait néanmoins diminué des deux tiers en quinze jours : tandis que le même charbon, enflammé autant qu'il pouvait l'être par le vent des soufflets, et recevant encore la chaleur immense des pierres rouges de feu dont il était environné, n'a pas diminué d'un sixième pendant vingt-deux jours. Cela serait inexplicable si l'on ne faisait pas attention que, dans le premier cas, le charbon avait toute sa densité et contenait toutes ses parties combustibles, au lieu que dans le second cas, où il était dans l'état de la plus forte incandescence, toutes ses parties les plus combustibles étaient déjà brûlées. Dans la première expérience, la chaleur, d'abord très médiocre, allait toujours en augmentant à mesure que la combustion augmentait et se communiquait de plus en plus à la masse entière du charbon. Dans la seconde expérience, la chaleur excessive allait en diminuant à mesure que le charbon achevait de brûler, et il ne pouvait plus donner autant de chaleur, parce que sa combustion était fort avancée au moment qu'on l'avait enfermée : c'est là la vraie cause de cette différence d'effets. Le charbon, dans la première expérience, contenant toutes ses parties combustibles, brûlait mieux et se consumait plus vite que celui de la seconde expérience, qui ne contenait presque plus de matière combustible et ne pouvait augmenter son feu ni même l'entretenir au même degré que par l'emprunt de celui des murs du fourneau; c'est par cette seule raison que la combustion allait toujours en diminuant, et qu'au total elle a été beaucoup moindre et plus lente que l'autre, qui allait toujours en augmentant et qui s'est faite en moins de temps. Lorsque tout accès est fermé à l'air et que les matières renfermées n'en contiennent que peu ou point dans leur substance, elles ne se consumeront pas, quelque violente que soit la chaleur; mais s'il reste une certaine quantité d'air entre les interstices de la matière combustible, elle se consumera d'autant plus vite et d'autant plus qu'elle pourra fournir elle-même une plus grande quantité d'air. 3^o Il résulte encore de ces expériences que la chaleur la plus violente, dès qu'elle n'est pas nourrie, produit moins d'effet que la plus petite chaleur qui trouve de l'aliment : la première est, pour ainsi dire, une chaleur morte qui ne se fait sentir que par sa déperdition; l'autre est un feu vivant qui s'accroît à proportion des éléments qu'il consume. Pour reconnaître ce que cette chaleur morte, c'est-à-dire cette chaleur dénuée de tout aliment pouvait produire, j'ai fait l'expérience suivante.

TROISIÈME EXPÉRIENCE.

Après avoir tiré du fourneau, par l'ouverture de la coulée, tout le charbon qui y était contenu et l'avoir entièrement vidé de mine et de toute autre matière, je fis maçonner de nouveau cette ouverture et boucher avec le plus grand soin celle du gueulard en haut, toutes les pierres des parois du fourneau étant encore excessivement chaudes; l'air ne pouvait donc entrer dans le fourneau pour le rafraîchir, et la chaleur ne pouvait en sortir qu'à travers des murs de plus de 9 pieds d'épaisseur; d'ailleurs il n'y avait dans sa cavité, qui était absolument vide, aucune matière combustible, ni même aucune autre matière. Observant donc ce qui arriverait, je m'aperçus que tout l'effet de la chaleur se portait en haut, et que, quoique cette chaleur ne fût pas du feu vivant ou nourri par aucune matière combustible, elle fit rougir en peu de temps la forte plaque de tôle qui couvrait le gueulard; que cette incandescence donnée par la chaleur obscure à cette large pièce de fer se communiqua par le contact à toute la masse de poudre de charbon qui recouvrait les mortiers de cette plaque et enflamma du bois que je fis mettre dessus. Ainsi la seule évaporation de cette chaleur obscure et morte, qui ne pouvait sortir que des pierres du fourneau, produisit ici le même effet que le feu vif et nourri. Cette chaleur, tendant toujours en haut et se réunissant toute à l'ouverture du gueulard au-dessous de la plaque de fer, la rendit rouge, lumineuse et capable d'enflammer des matières combustibles. D'où l'on doit conclure qu'en augmentant la masse de la chaleur obscure, on peut produire de la lumière de la même manière qu'en augmentant la masse de la lumière on produit de la chaleur; que dès lors ces deux substances sont réciproquement convertibles de l'une en l'autre, et toutes deux nécessaires à l'élément du feu.

Lorsqu'on enleva cette plaque de fer qui couvrait l'ouverture supérieure du fourneau et que la chaleur avait fait rougir, il en sortit une vapeur légère et qui parut enflammée, mais qui se dissipa dans un instant: j'observai alors les pierres des parois du fourneau; elles me parurent calcinées en très grande partie et très profondément; et en effet, ayant laissé refroidir le fourneau pendant dix jours, elles se sont trouvées calcinées jusqu'à 2 pieds, et même 2 pieds $\frac{1}{2}$ de profondeur, ce qui ne pouvait provenir que de la chaleur que j'y avait renfermée pour faire mes expériences, attendu que dans les autres fondages le feu animé par les soufflets n'avait jamais calciné les mêmes pierres à plus de 8 pouces d'épaisseur dans les endroits où il est le plus vif, et seulement à 2 ou 3 pouces dans tout le reste, au lieu que toutes les pierres, depuis le creuset jusqu'au terre-plein du fourneau, ce qui fait une hauteur de 20 pieds, étaient généralement réduites en chaux de 1 pied $\frac{1}{2}$, de 2 pieds, et même de 2 pieds $\frac{1}{2}$ d'épaisseur: comme cette chaleur renfermée n'avait pu trouver d'issue, elle avait pénétré les pierres bien plus profondément que la chaleur courante.

On pourrait tirer de cette expérience les moyens de cuire la pierre et de faire de la chaux à moindres frais, c'est-à-dire de diminuer de beaucoup la quantité de bois en se servant d'un fourneau bien fermé au lieu de fourneaux ouverts; il ne faudrait qu'une petite quantité de charbon pour convertir en chaux, dans moins de quinze jours, toutes les pierres contenues dans le fourneau, et les murs même du fourneau à plus d'un pied d'épaisseur, s'il était bien exactement fermé.

Dès que le fourneau fut assez refroidi pour permettre aux ouvriers d'y travailler, on fut obligé d'en démolir tout l'intérieur du haut en bas, sur une épaisseur circulaire de $\frac{1}{4}$ pieds; on en tira cinquante-quatre muids de chaux, sur laquelle je fis les observations suivantes: 1° toute cette pierre, dont la calcination s'était faite à feu lent et concentré, n'était pas devenue aussi légère que la pierre calcinée à la manière ordinaire: celle-ci, comme je l'ai dit, perd à très peu près la moitié de son poids, et celle de mon fourneau n'en avait

perdu qu'environ trois huitièmes; 2° elle ne saisit pas l'eau avec la même avidité que la chaux vive ordinaire : lorsqu'on l'y plonge, elle ne donne d'abord aucun signe de chaleur ni d'ébullition, mais peu après elle se gonfle, se divise et s'élève, en sorte qu'on n'a pas besoin de la remuer comme on remue la chaux vive ordinaire pour l'éteindre; 3° cette chaux a une saveur beaucoup plus âcre que la chaux commune, elle contient par conséquent beaucoup plus d'alcali fixe; 4° elle est infiniment meilleure, plus liante et plus forte que l'autre chaux, et tous les ouvriers n'en emploient qu'environ les deux tiers de l'autre, et assurent que le mortier est encore excellent; 5° cette chaux ne s'éteint à l'air qu'après un temps très long, tandis qu'il ne faut qu'un jour ou deux pour réduire la chaux vive commune en poudre à l'air libre : celle-ci résiste à l'impression de l'air pendant un mois ou cinq semaines; 6° au lieu de se réduire en farine ou en poussière sèche comme la chaux commune, elle conserve son volume, et lorsqu'on la divise en l'écrasant, toute la masse paraît ductile et pénétrée d'une humidité grasse et liante, qui ne peut provenir que de l'humidité de l'air que la pierre a puissamment attiré et absorbé pendant les cinq semaines de temps employées à son extinction. Au reste, la chaux que l'on tire communément des fourneaux de forge a toutes ces mêmes propriétés : ainsi la chaleur obscure et lente produit encore ici les mêmes effets que le feu le plus vif et le plus violent.

Il sortit de cette démolition de l'intérieur du fourneau deux cent trente-deux quartiers de pierre de taille, tous calcinés plus ou moins profondément; ces quartiers avaient communément 4 pieds de longueur, la plupart étaient en chaux jusqu'à 18 pouces, et les autres à 2 pieds, et même 2 pieds 1/2, et cette portion calcinée se séparait aisément du reste de la pierre qui était saine et même plus dure que quand on l'avait posée pour bâtir le fourneau. Cette observation m'engagea à faire les expériences suivantes.

QUATRIÈME EXPÉRIENCE.

Je fis peser dans l'air et dans l'eau trois morceaux de ces pierres qui, comme l'on voit, avaient subi la plus grande chaleur qu'elles pussent éprouver sans se réduire en chaux, et j'en comparai la pesanteur spécifique avec celle de trois autres morceaux à peu près du même volume, que j'avais fait prendre dans d'autres quartiers de cette même pierre qui n'avaient point été employés à la construction du fourneau, ni par conséquent chauffés, mais qui avaient été tirés de la même carrière neuf mois auparavant, et qui étaient restés à l'exposition du soleil et de l'air. Je trouvai que la pesanteur spécifique des pierres échauffées à ce grand feu pendant cinq mois avait augmenté, qu'elle était constamment plus grande que celle de la même pierre non échauffée, d'un 81° sur le premier morceau, d'un 90° sur le second et d'un 85° sur le troisième : donc la pierre chauffée au degré voisin de celui de sa calcination gagne au moins un 86° de masse, au lieu qu'elle en perd trois huitièmes par la calcination qui ne suppose que 1 degré de chaleur de plus. Cette différence ne peut venir que de ce qu'à un certain degré de violente chaleur ou de feu, tout l'air et toute l'eau transformés en matière fixe dans la pierre reprennent leur première nature, leur élasticité, leur volatilité, et que dès lors ils se dégagent de la pierre et s'élèvent en vapeurs, que le feu enlève et entraîne avec lui. Nouvelle preuve que la pierre calcaire est en très grande partie composée d'air fixe et d'eau fixe saisis et transformés en matière solide par le filtre animal.

Après ces expériences, j'en fis d'autres sur cette même pierre échauffée à un moindre degré de chaleur, mais pendant un temps aussi long; je fis détacher pour cela trois morceaux des parois extérieures de la lunette de la tuyère, dans un endroit où la chaleur était à peu près de 95 degrés, parce que le soufre appliqué contre la muraille s'y ramollissait et commençait à fondre, et que ce degré de chaleur est à très peu près celui auquel le soufre entre en fusion. Je trouvai, par trois épreuves semblables aux précédentes, que cette même

Pierre, chauffée à ce degré pendant cinq mois, avait augmenté en pesanteur spécifique d'un 65^e, c'est-à-dire de presque un quart de plus que celle qui avait éprouvé le degré de chaleur voisin de celui de la calcination, et je conclus de cette différence que l'effet de la calcination commençait à se préparer dans la pierre qui avait subi le plus grand feu, au lieu que celle qui n'avait éprouvé qu'une moindre chaleur avait conservé toutes les parties fixes qu'elle y avait déposées.

Pour me satisfaire pleinement sur ce sujet et reconnaître si toutes les pierres calcaires augmentent en pesanteur spécifique par une chaleur constamment et longtemps appliquée, je fis six nouvelles épreuves sur deux autres espèces de pierres. Celle dont était construit l'intérieur de mon fourneau, et qui a servi aux expériences précédentes, s'appelle dans le pays *pierre à feu*, parce qu'elle résiste plus à l'action du feu que toutes les autres pierres calcaires. Sa substance est composée de petits graviers calcaires liés ensemble par un ciment pierrenx qui n'est pas fort dur, et qui laisse quelques interstices vides; sa pesanteur est néanmoins plus grande que celle des autres pierres calcaires d'environ un 20^e. En ayant éprouvé plusieurs morceaux au feu de mes chaufferies, il a fallu pour les calciner plus du double du temps de celui qu'il fallait pour réduire en chaux les autres pierres: on peut donc être assuré que les expériences précédentes ont été faites sur la pierre calcaire la plus résistante au feu. Les pierres auxquelles je vais la comparer étaient aussi de très bonnes pierres calcaires dont on fait la plus belle taille pour les bâtiments: l'une a le grain fin et presque aussi serré que le marbre; l'autre a le grain un peu plus gros, mais toutes deux sont compactes et pleines, toutes deux font de l'excellente chaux grise, plus liante et plus forte que la chaux commune, qui est plus blanche.

En pesant dans l'air et dans l'eau trois morceaux chauffés et trois autres non chauffés de cette première pierre dont le grain était le plus fin, j'ai trouvé qu'elle avait gagné un 56^e en pesanteur spécifique, par l'application constante pendant cinq mois d'une chaleur d'environ 90 degrés, ce que j'ai reconnu, parce qu'elle était voisine de celle dont j'avais fait casser les morceaux dans la voûte extérieure du fourneau, et que le soufre ne fondait plus contre ses parois: en ayant donc fait enlever trois morceaux encore chauds pour les peser et comparer avec d'autres morceaux de la même pierre qui étaient restés exposés à l'air libre, j'ai vu que l'un des morceaux avait augmenté d'un 60^e, le second d'un 62^e, le troisième d'un 56^e. Ainsi cette pierre à grain très fin a augmenté en pesanteur spécifique de près d'un tiers de plus que la pierre à feu chauffée au degré voisin de celui de la calcination, et aussi d'environ un 7^e de plus que cette même pierre à feu chauffée à 95 degrés, c'est-à-dire à une chaleur à peu près égale.

La seconde pierre, dont le grain était moins fin, formait une assise entière de la voûte extérieure du fourneau, et je fus maître de choisir les morceaux dont j'avais besoin pour l'expérience, dans un quartier qui avait subi pendant le même temps de cinq mois le même degré 95 de chaleur que la pierre à feu: en ayant donc fait casser trois morceaux, et m'étant muni de trois autres qui n'avaient pas été chauffés, je trouvai que l'un de ces morceaux chauffés avait augmenté d'un 54^e, le second d'un 63^e et le troisième d'un 66^e; ce qui donne pour la mesure moyenne un 61^e d'augmentation en pesanteur spécifique.

Il résulte de ces expériences: 1^o que toute pierre calcaire, chauffée pendant longtemps, acquiert de la masse et devient plus pesante; cette augmentation ne peut venir que des particules de chaleur qui la pénètrent et s'y unissent par leur longue résidence, et qui dès lors en deviennent partie constituante sous une forme fixe; 2^o que cette augmentation de pesanteur spécifique étant d'un 61^e ou d'un 56^e ou d'un 65^e ne se trouve varier ici que par la nature des différentes pierres; que celles dont le grain est le plus fin, sont celles dont la chaleur augmente le plus la masse, et dans lesquelles les pores étant plus petits, elle se fixe plus aisément et en plus grande quantité; 3^o que la quantité de chaleur qui se fixe dans la pierre est encore bien plus grande que ne le désigne ici l'augmentation de la

masse ; car la chaleur, avant de se fixer dans la pierre, a commencé par en chasser toutes les parties humides qu'elle contenait : on sait qu'en distillant la pierre calcaire dans une cornue bien fermée, on tire de l'eau pure jusqu'à concurrence d'un seizième de son poids ; mais comme une chaleur de 95 degrés, quoique appliquée pendant cinq mois, pourrait néanmoins produire à cet égard de moindres effets que le feu violent qu'on applique au vaisseau dans lequel on distille la pierre, réduisons de moitié et même des trois quarts cette quantité d'eau enlevée à la pierre par la chaleur de 95 degrés, on ne pourra pas disconvenir que la quantité de chaleur qui s'est fixée dans cette pierre, ne soit d'abord d'un 60^e indiqué par l'augmentation de la pesanteur spécifique, et encore d'un 64^e pour le quart de la quantité d'eau qu'elle contenait, et que cette chaleur aura fait sortir ; en sorte qu'on peut assurer, sans craindre de se tromper, que la chaleur qui pénètre dans la pierre lui étant appliquée pendant longtemps, s'y fixe en assez grande quantité pour en augmenter la masse tout au moins d'un trentième, même dans la supposition qu'elle n'ait chassé pendant ce long temps que le quart de l'eau que la pierre contenait.

CINQUIÈME EXPÉRIENCE.

Toutes les pierres calcaires dont la pesanteur spécifique augmente par la longue application de la chaleur acquièrent, par cette espèce de dessèchement, plus de dureté qu'elles n'en avaient auparavant. Voulant reconnaître si cette dureté serait durable, et si elles ne perdraient avec le temps non seulement cette qualité, mais celle de l'augmentation de densité qu'elles avaient acquise par la chaleur, je fis exposer aux injures de l'air plusieurs parties des trois espèces de pierres qui avaient servi aux expériences précédentes, et qui toutes avaient été plus ou moins chauffées pendant cinq mois. Au bout de quinze jours, pendant lesquels il y avait eu des pluies, je les fis sonder et frapper au marteau par le même ouvrier qui les avait trouvées très dures quinze jours auparavant ; il reconnut avec moi que la pierre à feu qui était la plus poreuse, et dont le grain était le plus gros, n'était déjà plus aussi dure et qu'elle se laissait travailler plus aisément. Mais les deux autres espèces, et surtout celle dont le grain était le plus fin, avaient conservé la même dureté ; néanmoins elles la perdirent en moins de six semaines. Et les ayant fait alors éprouver à la balance hydrostatique, je reconnus qu'elles avaient aussi perdu une assez grande quantité de la matière fixe que la chaleur y avait déposée. Néanmoins au bout de plusieurs mois elles étaient toujours spécifiquement plus pesantes d'un 150^e ou d'un 160^e que celles qui n'avaient point été chauffées. La différence devenant alors trop difficile à saisir entre ces morceaux et ceux qui n'avaient pas été chauffés, et qui tous étaient également exposés à l'air, je fus forcé de borner là cette expérience, mais je suis persuadé qu'avec beaucoup de temps ces pierres auraient perdu toute leur pesanteur acquise. Il en est de même de la dureté : après quelques mois d'exposition à l'air, les ouvriers les ont traitées tout aussi aisément que les autres pierres de même espèce qui n'avaient point été chauffées.

Il résulte de cette expérience, que les particules de chaleur qui se fixent dans la pierre, n'y sont, comme je l'ai dit, unies que par force ; que, quoiqu'elle les conserve après son entier refroidissement et pendant assez longtemps, si on la préserve de toute humidité, elle les perd néanmoins peu à peu par les impressions de l'air et de la pluie, sans doute parce que l'air et l'eau ont plus d'affinité avec la pierre que les parties de la chaleur qui s'y étaient logées. Cette chaleur fixe n'est plus active ; elle est pour ainsi dire morte et entièrement passive : dès lors loin de pouvoir chasser l'humidité, celle-ci la chasse à son tour et reprend toutes les places qu'elle lui avait cédées. Mais dans d'autres matières qui n'ont pas avec l'eau autant d'affinité que la pierre calcaire, cette chaleur une fois fixée n'y demeure-t-elle pas constamment et à toujours ? C'est ce que j'ai cherché à constater par l'expérience suivante.

SIXIÈME EXPÉRIENCE.

J'ai pris plusieurs morceaux de fonte de fer que j'ai fait casser dans les gueuses qui avaient servi plusieurs fois à soutenir les parois de la cheminée de mon fourneau, et qui par conséquent avaient été chauffées trois fois pendant quatre ou cinq mois de suite au degré de chaleur qui calcine la pierre, car ces gueuses avaient soutenu les pierres ou les briques de l'intérieur du fourneau, et n'étaient défendues de l'action immédiate du feu que par une pierre épaisse de 3 ou 4 pouces qui formait le dernier rang des étalages du fourneau; ces dernières pierres, ainsi que toutes les autres dont les étalages étaient construits, s'étaient réduites en chaux à chaque fondage, et la calcination avait toujours pénétré de près de 8 pouces dans celles qui étaient exposées à la plus violente action du feu : ainsi les gueuses, qui n'étaient recouvertes que de 4 pouces par ces pierres, avaient certainement subi le même degré de feu que celui qui produit la parfaite calcination de la pierre, et l'avaient, comme je l'ai dit, subi trois fois pendant quatre ou cinq mois de suite. Les morceaux de cette fonte de fer que je fis casser ne se séparèrent du reste de la gueuse qu'à coups de masse très réitérés, au lieu que des gueuses de cette même fonte, mais qui n'avaient pas subi l'action du feu, étaient très cassantes et se séparaient en morceaux aux premiers coups de masse; je reconnus dès lors que cette fonte, chauffée à un aussi grand feu et pendant si longtemps, avait acquis beaucoup plus de dureté et de ténacité qu'elle n'en avait auparavant, beaucoup plus même à proportion que n'en avaient acquis les pierres calcaires. Par ce premier indice je jugeai que je trouverais une différence encore plus grande dans la pesanteur spécifique de cette fonte si longtemps chauffée. Et en effet, le premier morceau que j'éprouvai à la balance hydrostatique pesait dans l'air 4 livres 4 onces 3 gros, ou 547 gros; le même morceau pesait dans l'eau 3 livres 11 onces 2 gros $\frac{1}{2}$, c'est-à-dire 474 gros $\frac{1}{2}$: la différence est de 72 $\frac{1}{2}$; l'eau dont je me servais pour mes expériences pesait exactement 70 livres le pied cube et le volume d'eau déplacé par celui du morceau de cette fonte pesait 72 gros $\frac{1}{2}$: ainsi 72 gros $\frac{1}{2}$, poids du volume de l'eau déplacée par le morceau de fonte, sont à 70 livres, poids du pied cube de l'eau, comme 547 gros, poids du morceau de fonte, sont à 528 livres 2 onces 1 gros 47 grains, poids du pied cube de cette fonte, et ce poids excède beaucoup celui de cette même fonte lorsqu'elle n'a pas été chauffée : c'est une fonte blanche qui communément est très cassante et dont le poids n'est que de 495 ou 500 livres tout au plus. Ainsi la pesanteur spécifique se trouve augmentée de 28 sur 500 par cette très longue application de la chaleur, ce qui fait environ un dix-huitième de la masse; je me suis assuré de cette grande différence par cinq épreuves successives pour lesquelles j'ai eu attention de prendre toujours des morceaux pesant chacun 4 livres au moins, et comparés un à un avec des morceaux de même figure et d'un volume à peu près égal : car quoiqu'il paraisse qu'ici la différence du volume, quelque grande qu'elle soit, ne devrait rien faire, et ne peut influer sur le résultat de l'opération de la balance hydrostatique, cependant ceux qui sont exercés à la manier se seront aperçus, comme moi, que les résultats sont toujours plus justes lorsque les volumes des matières qu'on compare ne sont pas bien plus grands l'un que l'autre. L'eau, quelque fluide qu'elle nous paraisse, a néanmoins un certain petit degré de ténacité qui influe plus ou moins sur des volumes plus ou moins grands. D'ailleurs il y a très peu de matières qui soient parfaitement homogènes ou égales en pesanteur dans toutes les parties extérieures du volume qu'on soumet à l'épreuve : ainsi, pour obtenir un résultat sur lequel on puisse compter précisément, il faut toujours comparer des morceaux d'un volume approchant, et d'une figure qui ne soit pas bien différente; car si d'une part on pesait un globe de fer de 2 livres, et d'autre part une feuille de tôle du même poids,

on trouverait à la balance hydrostatique leur pesanteur spécifique, quoiqu'elle fût réellement la même.

Je crois que quiconque réfléchira sur les expériences précédentes et sur leurs résultats, ne pourra disconvenir que la chaleur très longtemps appliquée aux différents corps qu'elle pénètre ne dépose dans leur intérieur une très grande quantité de particules qui deviennent parties constituantes de leur masse, et qui s'y unissent et y adhèrent d'autant plus que les matières se trouvent avoir avec elles plus d'affinité et d'autres rapports de nature. Aussi me trouvant muni de ces expériences, je n'ai pas craint d'avancer, dans mon *Traité des éléments*, que les molécules de la chaleur se fixaient dans tous les corps, comme s'y fixent celles de la lumière et celles de l'air dès qu'il est accompagné de chaleur ou de feu.

SIXIÈME MÉMOIRE

EXPÉRIENCES SUR LA LUMIÈRE ET SUR LA CHALEUR QU'ELLE PEUT PRODUIRE.

ARTICLE PREMIER

INVENTION DE MIROIRS POUR BRULER A DE GRANDES DISTANCES.

L'histoire des miroirs ardents d'Archimède est fameuse : il les inventa pour la défense de sa patrie, et il lança, disent les anciens, le feu du soleil sur la flotte ennemie, qu'il réduisit en cendres lorsqu'elle approcha des remparts de Syracuse ; mais cette histoire, dont on n'a pas douté pendant quinze ou seize siècles, a d'abord été contredite, et ensuite traitée de fable pendant ces derniers temps. Descartes, né pour juger et même pour surpasser Archimède, a prononcé contre lui d'un ton de maître ; il a nié la possibilité de l'invention, et son opinion a prévalu sur les témoignages et sur la croyance de toute l'antiquité : les physiciens modernes, soit par respect pour leur philosophes, soit par complaisance pour leurs contemporains, ont été de même avis. On n'accorde guère aux anciens que ce qu'on ne peut leur ôter : déterminés peut-être par ces motifs, dont l'amour-propre ne se sert que trop souvent sans qu'on s'en aperçoive, n'avons-nous pas naturellement trop de penchant à refuser ce que nous devons à ceux qui nous ont précédés ? Et si notre siècle refuse plus qu'un autre, ne serait-ce pas, qu'étant plus éclairé, il croit avoir plus de droits à la gloire, plus de prétentions à la supériorité ?

Quoi qu'il en soit, cette invention était dans le cas de plusieurs autres découvertes de l'antiquité qui se sont évanouies, parce qu'on a préféré la facilité de les nier à la difficulté de les retrouver ; et les miroirs ardents d'Archimède étaient si décriés qu'il ne paraissait pas possible d'en rétablir la réputation ; car, pour rappeler du jugement de Descartes, il fallait quelque chose de plus fort que des raisons, et il ne restait qu'un moyen sûr et décisif, à la vérité, mais difficile et hardi, c'était d'entreprendre de trouver les miroirs, c'est-à-dire d'en faire qui pussent produire les mêmes effets : j'en avais conçu depuis longtemps l'idée, et j'avouerai volontiers que le plus difficile de la chose était de la voir possible, puisque dans l'exécution j'ai réussi au delà de mes espérances (*).

(*) Les premières expériences de Buffon sur les miroirs ardents furent faites en 1747. L'une d'elles eut lieu à la Muette en présence de Louis XV auquel Buffon offrit le miroir

J'ai donc cherché le moyen de faire des miroirs pour brûler à de grandes distances, comme de 100, de 200 et 300 pieds : je savais en général qu'avec les miroirs par réflexion l'on n'avait jamais brûlé qu'à 15 ou 20 pieds tout au plus, et qu'avec ceux qui sont réfringents, la distance était encore plus courte, et je sentais bien qu'il était impossible, dans la pratique, de travailler un miroir de métal ou de verre avec assez d'exactitude pour brûler à ces grandes distances ; que pour brûler, par exemple, à 200 pieds, la sphère ayant dans ce cas 800 pieds de diamètre, on ne pouvait rien espérer de la méthode ordinaire de travailler les verres, et je me persuadai bientôt que, quand même on pourrait en trouver une nouvelle pour donner à de grandes pièces de verre ou de métal une courbure aussi légère, il n'en résulterait encore qu'un avantage très peu considérable, comme je le dirai dans la suite.

Mais, pour aller par ordre, je cherchai d'abord combien la lumière du soleil perdait par la réflexion à différentes distances, et quelles sont les matières qui la réfléchissent le plus fortement. Je trouvai premièrement que les glaces étamées, lorsqu'elles sont polies avec un peu de soin, réfléchissent plus puissamment la lumière que les métaux les mieux polis, et même mieux que le métal composé dont on se sert pour faire des miroirs de télescopes ; et que, quoiqu'il y ait dans les glaces deux réflexions, l'une à la surface et l'autre à l'intérieur, elles ne laissent pas de donner une lumière plus vive et plus nette que le métal, qui produit une lumière colorée.

En second lieu, en recevant la lumière du soleil dans un endroit obscur, et en la comparant avec cette même lumière du soleil réfléchi par une glace, je trouvai qu'à de petites distances, comme 4 ou 5 pieds, elle ne perdait qu'environ moitié par la réflexion, ce que je jugeai en faisant tomber sur la première lumière réfléchi une seconde lumière aussi réfléchi : car la vivacité de ces deux lumières réfléchies me parut égale à celle de la lumière directe.

Troisièmement, ayant reçu à de grandes distances, comme à 100, 200 et 300 pieds, cette même lumière réfléchi par de grandes glaces, je reconnus qu'elle ne perdait presque rien de sa force par l'épaisseur de l'air qu'elle avait à traverser.

Ensuite je voulus essayer les mêmes choses sur la lumière des bougies ; et, pour m'assurer plus exactement de la quantité d'affaiblissement que la réflexion cause à cette lumière, je fis l'expérience suivante :

Je me mis vis-à-vis une glace de miroir, avec un livre à la main, dans une chambre où l'obscurité de la nuit était entière, et où je ne pouvais distinguer aucun objet : je fis allumer dans une chambre voisine, à 40 pieds de distance environ, une seule bougie, et je la fis approcher peu à peu, jusqu'à ce que je pusse distinguer les caractères et lire le livre que j'avais à la main ; la distance se trouva de 24 pieds du livre à la bougie : ensuite ayant retourné le livre du côté du miroir, je cherchai à lire par cette même lumière réfléchi, et je fis intercepter par un paravent la partie de la lumière directe qui ne tombait pas sur le miroir, afin de n'avoir sur mon livre que la lumière réfléchi. Il fallut approcher la bougie, ce qu'on fit peu à peu, jusqu'à ce que je pusse lire les mêmes caractères éclairés par la lumière réfléchi ; et alors la distance du livre à la bougie, y compris celle du livre au miroir, qui n'était que de 1/2 pied, se trouva être en tout de 15 pieds ; je répétai cela plusieurs fois, et j'eus toujours les mêmes résultats à très peu près : d'où je conclus que la force ou la quantité de la lumière directe est à celle de la lumière réfléchi comme 576 à 225 : ainsi l'effet de la lumière de cinq bougies reçues par une glace plane est à peu près égal à celui de la lumière directe de deux bougies.

La lumière des bougies perd donc plus par la réflexion que la lumière du soleil ; et

qui venait de servir. Ces expériences firent à l'époque beaucoup de bruit, un grand nombre de personnes les renouvelèrent et Buffon en retira une grande popularité.

cette différence vient de ce que les rayons de lumière qui partent de la bougie comme d'un centre tombent plus obliquement sur le miroir que les rayons du soleil, qui viennent presque parallèlement. Cette expérience confirma donc ce que j'avais trouvé d'abord, et je tins pour sûr que la lumière du soleil ne perd qu'environ moitié par sa réflexion sur une glace de miroir.

Ces premières connaissances dont j'avais besoin étant acquises, je cherchai ensuite ce que deviennent en effet les images du soleil lorsqu'on les reçoit à de grandes distances. Pour bien entendre ce que je vais dire, il ne faut pas, comme on le fait ordinairement, considérer les rayons du soleil comme parallèles; et il faut se souvenir que le corps du soleil occupe à nos yeux une étendue d'environ 32 minutes; que par conséquent les rayons qui partent du bord supérieur du disque, venant à tomber sur un point d'une surface réfléchissante, les rayons qui partent du bord inférieur, venant à tomber aussi sur le même point de cette surface, ils forment entre eux un angle de 32 minutes dans l'incidence et ensuite dans la réflexion, et que par conséquent l'image doit augmenter de grandeur à mesure qu'elle s'éloigne. Il faut de plus faire attention à la figure de ces images: par exemple, une glace plane carrée de $\frac{1}{2}$ pied, exposée aux rayons du soleil, formera une image carrée de 6 pouces lorsqu'on recevra cette image à une petite distance de la glace, comme de quelques pieds; en s'éloignant peu à peu, on voit l'image augmenter, ensuite se déformer, enfin s'arrondir et demeurer ronde, toujours en s'agrandissant à mesure qu'elle s'éloigne du miroir. Cette image est composée d'autant de disques du soleil qu'il y a de points physiques dans la surface réfléchissante; le point du milieu forme une image du disque; les points voisins en forment de semblables et de même grandeur qui excèdent un peu le disque du milieu; il en est de même de tous les autres points, et l'image est composée d'une infinité de disques qui, se surmontant régulièrement et anticipant circulairement les uns sur les autres, forment l'image réfléchie dont le point du milieu de la glace est le centre.

Si l'on reçoit l'image composée de tous ces disques à une petite distance, alors l'étendue qu'ils occupent n'étant qu'un peu plus grande que celle de la glace, cette image est de la même figure et à peu près de la même étendue que la glace: si la glace est carrée, l'image est carrée; si la glace est triangulaire, l'image est triangulaire; mais lorsqu'on reçoit l'image à une grande distance de la glace, où l'étendue qu'occupent les disques est beaucoup plus grande que celle de la glace, l'image ne conserve plus la figure carrée ou triangulaire de la glace, elle devient nécessairement circulaire; et, pour trouver le point de distance où l'image perd sa figure carrée, il n'y a qu'à chercher à quelle distance la glace nous paraît sous un angle égal à celui que forme le corps du soleil à nos yeux, c'est-à-dire sous un angle de 32 minutes, cette distance sera celle où l'image perdra sa figure carrée et deviendra ronde; car les disques ayant toujours pour diamètre une ligne égale à la corde de l'arc de cercle qui mesure un angle de 32 minutes, on trouvera par cette règle qu'une glace carrée de 6 pouces perd sa figure carrée à la distance d'environ 60 pieds, et qu'une glace de 1 pied en carré ne la perd qu'à 120 pieds environ, et ainsi des autres.

En réfléchissant un peu sur cette théorie, on ne sera plus étonné de voir qu'à de très grandes distances, une grande et une petite glace donnent à peu près une image de la même grandeur, et qui ne diffère que par l'intensité de la lumière; on ne sera plus surpris qu'une glace ronde, ou carrée, ou longue, ou triangulaire, ou de telle autre figure que l'on voudra (a), donne toujours des images rondes, et on verra clairement que les images

(a) C'est par cette même raison que les petites images du soleil qui passent entre les feuilles des arbres élevés et touffus, qui tombent sur le sable d'une allée, sont toutes ovales ou rondes.

ne s'agrandissent et ne s'affaiblissent pas par la dispersion de la lumière ou par la perte qu'elle fait en traversant l'air, comme l'ont cru quelques physiciens, et que cela n'arrive au contraire que par l'augmentation des disques, qui occupent toujours un espace de 32 minutes, à quelque éloignement qu'on les porte.

De même on sera convaincu, par la simple exposition de cette théorie, que les courbes, de quelque espèce qu'elles soient, ne peuvent être employées avec quelque avantage pour brûler de loin, parce que le diamètre du foyer de toutes les courbes ne peut jamais être plus petit que la corde de l'arc qui mesure un angle de 32 minutes, et que par conséquent le miroir concave le plus parfait dont le diamètre serait égal à cette corde ne ferait jamais le double de l'effet de ce miroir plan de même surface (a); et si le diamètre de ce miroir courbe était plus petit que cette corde, il ne ferait guère plus d'effet qu'un miroir plan de même surface.

Lorsque j'eus bien compris ce que je viens d'exposer, je me persuadai bientôt, à n'en pouvoir douter, qu'Archimède n'avait pu brûler de loin qu'avec des miroirs plans : car, indépendamment de l'impossibilité où l'on était alors et où l'on serait encore aujourd'hui d'exécuter des miroirs concaves d'un aussi long foyer, je sentis bien que les réflexions que je viens de faire ne pouvaient pas avoir échappé à ce grand mathématicien. D'ailleurs je pensai que, selon toutes les apparences, les anciens ne savaient pas faire de grandes masses de verre, qu'ils ignoraient l'art de le couler pour en faire de grandes glaces, qu'ils n'avaient tout au plus que celui de le souffler et d'en faire des bouteilles et des vases; et je me persuadai aisément que c'était avec des miroirs plans de métal poli et par la réflexion des rayons du soleil qu'Archimède avait brûlé au loin; mais comme j'avais reconnu que les miroirs de glace réfléchissent plus puissamment la lumière que les miroirs du métal le plus poli, le pensai à faire construire une machine pour faire coïncider au même point les images réfléchies par un grand nombre de ces glaces planes, bien convaincu que ce moyen était le seul par lequel il fût possible de réussir.

Cependant j'avais encore des doutes, et qui me paraissaient même très bien fondés, car voici comment je raisonnais. Supposons que la distance à laquelle je veux brûler soit de 240 pieds, je vois clairement que le foyer de mon miroir ne peut avoir moins de 2 pieds de diamètre à cette distance; dès lors quelle sera l'étendue que je serai obligé de donner à mon assemblage de miroirs plans pour produire du feu dans un aussi grand foyer? Elle pouvait être si grande que la chose eût été impraticable dans l'exécution; car en comparant le diamètre du foyer au diamètre du miroir, dans les meilleurs miroirs par réflexion que nous ayons, par exemple avec le miroir de l'Académie, j'avais observé que le diamètre de ce miroir, qui est de 3 pieds, était cent huit fois plus grand que le diamètre de son foyer, qui n'a qu'environ 4 lignes, et j'en conclusais, que, pour brûler aussi vivement à 240 pieds, il eût été nécessaire que mon assemblage de miroirs eût eu 216 pieds de diamètre, puisque le foyer aurait 2 pieds; or, un miroir de 216 pieds de diamètre était assurément une chose impossible.

A la vérité, ce miroir de 3 pieds de diamètre brûle assez vivement pour fondre l'or, et je voulus voir combien j'avais à gagner en réduisant son action à n'enflammer que du bois: pour cela, j'appliquai sur le miroir des zones circulaires de papier pour en diminuer le diamètre, et je trouvai qu'il n'avait plus assez de force pour enflammer du bois sec lorsque son diamètre fut réduit à 4 pouces 8 ou 9 lignes: prenant donc 5 pouces ou 60 lignes pour l'étendue du diamètre nécessaire pour brûler avec un foyer de 4 lignes, je ne pouvais me dispenser de conclure que, pour brûler également à 240 pieds,

(a) Si l'on se donne la peine de le supputer, on trouvera que le miroir courbe le plus parfait n'a d'avantage sur un miroir plan que dans la raison de 17 à 10, du moins à très peu près.

où le foyer aurait nécessairement 2 pieds de diamètre, il me faudrait un miroir de 30 pieds de diamètre; ce qui me paraissait encore une chose impossible, ou du moins impraticable.

A des raisons si positives, et que d'autres auraient regardées comme des démonstrations de l'impossibilité du miroir, je n'avais rien à opposer qu'un soupçon, mais un soupçon ancien, et sur lequel plus j'avais réfléchi, plus je m'étais persuadé qu'il n'était pas sans fondement : c'est que les effets de la chaleur pouvaient bien n'être pas proportionnels à la quantité de lumière, ou, ce qui revient au même, qu'à égale intensité de lumière les grands foyers devaient brûler plus vivement que les petits.

En estimant la chaleur mathématiquement, il n'est pas douteux que la force des foyers de même longueur ne soit proportionnelle à la surface des miroirs. Un miroir dont la surface est double de celle d'un autre doit avoir un foyer de la même grandeur, si la courbure est la même; et ce foyer de même grandeur doit contenir le double de la quantité de lumière que contient le premier foyer; et dans la supposition que les effets sont toujours proportionnels à leurs causes, on avait toujours cru que la chaleur de ce second foyer devait être double de celle du premier.

De même, et par la même estimation mathématique, on a toujours cru qu'à égale intensité de lumière un petit foyer devait brûler autant qu'un grand, et que l'effet de la chaleur devait être proportionnel à cette intensité de lumière; *en sorte*, disait Descartes, *qu'on peut faire des verres ou des miroirs extrêmement petits qui brûleront avec autant de violence que les plus grands*. Je pensai d'abord, comme je l'ai dit ci-dessus, que cette conclusion, tirée de la théorie mathématique, pourrait bien se trouver fautive dans la pratique, parce que la chaleur étant une qualité physique de l'action et de la propagation de laquelle nous ne connaissons pas bien les lois, il me semblait qu'il y avait quelque espèce de témérité à en estimer ainsi les effets par un raisonnement de simple spéculation.

J'eus donc recours une fois à l'expérience : je pris des miroirs de métal de différents foyers et de différents degrés de poliment; et en comparant l'action des différents foyers sur les mêmes matières fusibles ou combustibles, je trouvai qu'à égale intensité de lumière les grands foyers font constamment beaucoup plus d'effet que les petits, et produisent souvent l'inflammation ou la fusion, tandis que les petits ne produisent qu'une chaleur médiocre; je trouvai la même chose avec les miroirs par réfraction, tel que celui du sieur Segard, qui a 32 pouces de diamètre et un foyer de 8 lignes de largeur à 6 pieds de distance, auquel foyer le cuivre se fond en moins d'une minute, et faisons dans les mêmes proportions un petit verre ardent de 32 lignes de diamètre, dont le foyer sera de $\frac{8}{12}$ ou $\frac{2}{3}$ de ligne, et la distance à 6 pouces : puisque le grand miroir fond le cuivre en une minute dans l'étendue entière de son foyer, qui est de 8 lignes, le petit verre devrait, selon la théorie, fondre dans le même temps la même matière dans l'étendue de son foyer, qui est de $\frac{2}{3}$ de ligne. Ayant fait l'expérience, j'ai trouvé, comme je m'y attendais bien que, loin de fondre le cuivre, ce petit verre ardent pouvait à peine donner un peu de chaleur à cette matière.

La raison de cette différence est aisée à donner, si l'on fait attention que la chaleur se communique de proche en proche et se disperse, pour ainsi dire, lors même qu'elle est appliquée continuellement sur le même point : par exemple, si l'on fait tomber le foyer d'un verre ardent sur le centre d'un écu, et que ce foyer n'ait que 1 ligne de diamètre, la chaleur qu'il produit sur le centre de l'écu se disperse et s'étend dans le volume entier de l'écu, et il devient chaud jusqu'à la circonférence; dès lors toute la chaleur, quoique employée d'abord contre le centre de l'écu, ne s'y arrête pas et ne peut pas produire un aussi grand effet que si elle y demeurait tout entière. Mais si, au lieu d'un foyer

de 1 ligne qui tombe sur le milieu de l'écu, on fait tomber sur l'écu tout entier un foyer d'égalé intensité, toutes les parties de l'écu étant également échauffées dans ce dernier cas, non seulement il n'y a pas de perte de chaleur comme dans le premier, mais même il y a du gain et de l'augmentation de chaleur, car le point du milieu profitant de la chaleur des autres points qui l'environnent, l'écu sera fondu dans ce dernier cas, tandis que dans le premier il ne sera que légèrement échauffé.

Après avoir fait ces expériences et ces réflexions, je sentis augmenter prodigieusement l'espérance que j'avais de réussir à faire des miroirs qui brûleraient au loin; car je commençai à ne plus craindre autant que je l'avais craint d'abord la grande étendue des foyers; je me persuadai au contraire qu'un foyer d'une largeur considérable, comme de 2 pieds, et dans lequel l'intensité de la lumière ne serait pas à beaucoup près aussi grande que dans un petit foyer, comme de 4 lignes, pourrait cependant produire avec plus de force l'inflammation et l'embrasement, et que par conséquent ce miroir qui, par la théorie mathématique, devait avoir au moins 30 pieds de diamètre, se réduirait sans doute à un miroir de 8 ou 10 pieds tout au plus: ce qui est non seulement une chose possible, mais même très praticable.

Je pensai donc sérieusement à exécuter mon projet: d'abord j'avais dessein de brûler à 200 ou 300 pieds avec des glaces circulaires ou hexagones de 1 pied carré de surface, et je voulais faire quatre châssis de fer pour les porter, avec trois vis à chacune pour les mouvoir en tout sens, et un ressort pour les assujettir; mais la dépense trop considérable qu'exigeait cet ajustement me fit abandonner cette idée, et je me rabattis à des glaces communes de 6 pouces sur 8 pouces, et un ajustement en bois qui, à la vérité, est moins solide et moins précis, mais dont la dépense convenait mieux à une tentative. M. Passemant, dont l'habileté dans les mécaniques est connue même de l'Académie, se chargea de ce détail, et je n'en ferai pas la description, parce qu'un coup d'œil sur le miroir en fera mieux entendre la construction qu'un long discours (a).

Il suffira de dire qu'il a d'abord été composé de cent soixante-huit glaces étamées de 6 pouces sur 8 pouces chacune, éloignées les unes des autres d'environ 4 lignes: que chacune de ces glaces se peut mouvoir en tout sens, et indépendamment de toutes, et que les 4 lignes d'intervalle qui sont entre elles servent non seulement à la liberté de ce mouvement, mais aussi à laisser voir à celui qui opère l'endroit où il faut conduire ses images. Au moyen de cette construction l'on peut faire tomber sur le même point les cent soixante-huit images et par conséquent brûler à plusieurs distances, comme à 20, 30, et jusqu'à 150 pieds, et à toutes les distances intermédiaires; et en augmentant la grandeur du miroir, ou en faisant d'autres miroirs semblables au premier, on est sûr de porter le feu à de plus grandes distances encore, ou d'en augmenter autant qu'on voudra la force ou l'activité à ces premières distances.

Seulement il faut observer que le mouvement dont j'ai parlé n'est point trop aisé à exécuter, et que d'ailleurs il y a un grand choix à faire dans les glaces: elles ne sont pas toutes à beaucoup près également bonnes, quoiqu'elles paraissent telles à la première inspection; j'ai été obligé d'en prendre plus de cinq cents pour avoir les cent soixante-huit dont je me suis servi; la manière de les essayer est de recevoir à une grande distance, par exemple à 150 pieds, l'image réfléchie du soleil comme un plan vertical; il faut choisir celles qui donnent une image ronde et bien terminée, et rebuter toutes les autres qui sont en beaucoup plus grand nombre, et dont les épaisseurs étant inégales en différents endroits, ou la surface un peu concave ou convexe au lieu d'être plane, donnent des images mal terminées, doubles, triples, oblongues, chevelues, etc., suivant les différentes défauts qui se trouvent dans les glaces.

(a) Voyez les planches VII, VIII et IX, avec l'explication des figures 1, 2, 3, 4, 5, 6 et 7.

Pour la première expérience que j'ai faite le 2^e mars 1747 à midi, j'ai mis le feu, à 66 pieds de distance, à une planche de hêtre goudronnée, avec quarante glaces seulement, c'est-à-dire avec le quart du miroir environ ; mais il faut observer que, n'étant pas encore monté sur son pied, il était posé très désavantageusement, faisant avec le soleil un angle de près de 20 degrés de déclinaison, et un autre de plus de 10 degrés de déclinaison.

Le même jour j'ai mis le feu à une planche goudronnée et soufrée, à 126 pieds de distance, avec quatre-vingt-dix-huit glaces, le miroir étant posé encore plus désavantageusement. On sent bien que, pour brûler avec le plus d'avantage, il faut que le miroir soit directement opposé au soleil, aussi bien que les matières qu'on veut enflammer ; en sorte qu'en supposant un plan perpendiculaire sur le plan du miroir, il faut qu'il passe par le soleil, et en même temps par le milieu des matières combustibles.

Le 3 avril, à quatre heures du soir, le miroir étant monté et posé sur son pied, on a produit une légère inflammation sur une planche couverte de laine hachée, à 138 pieds de distance, avec cent douze glaces, quoique le soleil fût faible et que la lumière en fût fort pâle. Il faut prendre garde à soi lorsqu'on approche de l'endroit où sont les matières combustibles, et il ne faut pas regarder le miroir, car si malheureusement les yeux se trouvaient au foyer, on serait aveuglé par l'éclat de la lumière.

Le 4 avril, à onze heures du matin, le soleil étant fort pâle et couvert de vapeurs et de nuages légers, on n'a pas laissé de produire, avec cent cinquante-quatre glaces, à 150 pieds de distance, une chaleur si considérable qu'elle a fait en moins de deux minutes fumer une planche goudronnée qui se serait certainement enflammée, si le soleil n'avait pas disparu tout à coup.

Le lendemain 5 avril, à trois heures après midi, par un soleil encore plus faible que le jour précédent, on a enflammé, à 150 pieds de distance, des copeaux de sapin soufrés et mêlés de charbon, en moins d'une minute et demie, avec cent cinquante-quatre glaces. Lorsque le soleil est vif, il ne faut que quelques secondes pour produire l'inflammation.

Le 10 avril après midi, par un soleil assez net, on a mis le feu à une planche de sapin goudronnée, à 150 pieds, avec cent vingt-huit glaces seulement : l'inflammation a été très subite, et elle s'est fait dans toute l'étendue du foyer qui avait environ 16 pouces de diamètre à cette distance.

Le même jour, à deux heures et demie, on a porté le feu sur une planche de hêtre, goudronnée en partie et couverte en quelques endroits de laine hachée ; l'inflammation s'est faite très promptement, elle a commencé par les parties du bois qui étaient découvertes ; et le feu était si violent, qu'il a fallu tremper dans l'eau la planche pour l'éteindre : il y avait cent quarante-huit glaces, et la distance était de 150 pieds.

Le 11 avril, le foyer n'étant qu'à 20 pieds de distance du miroir, il n'a fallu que douze glaces pour enflammer de petites matières combustibles : avec vingt-une glaces on a mis le feu à une planche de hêtre qui avait déjà été brûlée en partie ; avec quarante-cinq glaces on a fondu un gros flocon d'étain qui pesait environ 6 livres ; et avec cent dix-sept glaces on a fondu des morceaux d'argent mince et rougi une plaque de tôle ; et je suis persuadé qu'à 50 pieds on fondra les métaux aussi bien qu'à 20, en employant toutes les glaces du miroir ; et comme le foyer à cette distance est large de 6 à 7 pouces, on pourra faire des épreuves en grand sur les métaux (a), ce qu'il n'était pas possible de faire

(a) Par des expériences subséquentes, j'ai reconnu que la distance la plus avantageuse pour faire commodément avec ces miroirs des épreuves sur les métaux était à 40 ou 45 pieds. Les assiettes d'argent que j'ai fondues à cette distance avec deux cent vingt-quatre glaces, étaient bien nettes, en sorte qu'il n'était pas possible d'attribuer la fumée très abondante qui en sortait à la graisse, ou à d'autres matières dont l'argent se serait imbibé, et comme se le persuadaient les gens témoins de l'expérience. Je la répétai néanmoins sur des plaques d'argent toutes neuves et j'eus le même effet. Le métal fumait très abondamment, quelque-

avec les miroirs ordinaires, dont le foyer est ou très faible, ou cent fois plus petit que celui de mon miroir. J'ai remarqué que les métaux, et surtout l'argent, fument beaucoup avant de se fondre : la fumée en était si sensible qu'elle faisait ombre sur le terrain ; et c'est là où je l'observai attentivement, car il n'est pas possible de regarder un instant le foyer, lorsqu'il tombe sur du métal : l'éclat en est beaucoup plus vif que celui du soleil.

Les expériences que j'ai rapportées ci-dessus, et qui ont été faites dans les premiers temps de l'invention de ces miroirs, ont été suivies d'un grand nombre d'autres expériences qui confirment les premières. J'ai enflammé du bois jusqu'à 200 et même 210 pieds avec ce même miroir, par le soleil d'été, toutes les fois que le ciel était pur, et je crois pouvoir assurer qu'avec quatre semblables miroirs on brûlerait à 400 pieds et peut-être plus loin. J'ai de même fondu tous les métaux et minéraux métalliques à 24, 30 et 40 pieds. On trouvera, dans la suite de cet article, les usages auxquels on peut appliquer ces miroirs, et les limites qu'on doit assigner à leur puissance pour la calcination, la combustion, la fusion, etc.

Il faut environ une demi-heure pour monter le miroir et pour faire coïncider toutes les images au même point ; mais, lorsqu'il est une fois ajusté, on peut s'en servir à toute heure, en tirant seulement un rideau ; il mettra le feu aux matières combustibles très promptement, et on ne doit pas le déranger à moins qu'on ne veuille changer la distance : par exemple, lorsqu'il est arrangé pour brûler à 100 pieds, il faut une demi-heure pour l'ajuster à la distance de 150 pieds, et ainsi des autres.

Ce miroir brûle en haut, en bas et horizontalement, suivant la différente inclinaison qu'on lui donne ; les expériences que je viens de rapporter ont été faites publiquement au Jardin du Roi, sur un terrain horizontal, contre des planches posées verticalement : je crois qu'il n'est pas nécessaire d'avertir qu'il aurait brûlé avec plus de force en haut, et moins de force en bas ; et, de même, il est plus avantageux d'incliner le plan des matières combustibles parallèlement au plan du miroir : ce qui fait qu'il a cet avantage de brûler en haut, en bas et horizontalement, sur les miroirs ordinaires de réflexion qui ne brûlent qu'en haut, c'est que son foyer est fort éloigné, et qu'il a si peu de courbure qu'elle est insensible à l'œil ; il est large de 7 pieds et haut de 8 pieds, ce qui ne fait qu'environ la 150^e partie de la circonférence de la sphère, lorsqu'on brûle à 150 pieds.

La raison qui m'a déterminé à préférer des glaces de 6 pouces de largeur sur 8 pouces de hauteur à des glaces carrées de 6 ou 8 pouces, c'est qu'il est beaucoup plus commode de faire des expériences sur un terrain horizontal et de niveau, que de les faire de bas en haut, et qu'avec cette figure plus haute que large, les images étaient plus rondes, au lieu qu'avec des glaces carrées, elles auraient été raccourcies surtout pour les petites distances, dans cette situation horizontale.

Cette découverte nous fournit plusieurs choses utiles pour la physique, et peut-être pour les arts. On sait que ce qui rend les miroirs ordinaires de réflexion presque inutiles pour les expériences, c'est qu'ils brûlent toujours en haut, et qu'on est fort embarrassé de trouver des moyens pour suspendre ou soutenir à leur foyer les matières qu'on veut fondre ou calciner. Au moyen de mon miroir, on fera brûler en bas les miroirs concaves, et avec

fois pendant plus de huit ou dix minutes avant de se fondre. J'avais dessein de recueillir cette fumée d'argent par le moyen d'un chapiteau et d'un ajustement semblable à celui dont on se sert dans les distillations, et j'ai toujours eu regret que mes autres occupations m'en aient empêché ; car cette manière de tirer l'eau du métal est peut-être la seule que l'on puisse employer. Et si l'on prétend que cette fumée qui m'a paru humide ne contient pas de l'eau, il serait toujours très utile de savoir ce que c'est, car il se peut aussi que ce ne soit que du métal volatilisé. D'ailleurs je suis persuadé qu'en faisant les mêmes épreuves sur l'or, on le verra fumer comme l'argent, peut-être moins, peut-être plus.

un avantage si considérable qu'on aura une chaleur de tel degré qu'on voudra : par exemple, en opposant à mon miroir un miroir concave de 1 pied carré de surface, la chaleur que ce dernier miroir produira à son foyer, en employant cent cinquante-quatre glaces, sera plus de douze fois plus grande que celle qu'il produit ordinairement, et l'effet sera le même que s'il existait douze soleils au lieu d'un, ou plutôt que si le soleil avait douze fois plus de chaleur.

Secondement, on aura par le moyen de mon miroir la vraie échelle de l'augmentation de la chaleur, et on fera un thermomètre réel, dont les divisions n'auront plus rien d'arbitraire, depuis la température de l'air jusqu'à tel degré de chaleur qu'on voudra, en faisant tomber une à une successivement les images du soleil les unes sur les autres, et en graduant les intervalles, soit au moyen d'une liqueur expansive, soit au moyen d'une machine de dilatation; et de là nous saurons en effet ce que c'est qu'une augmentation, double, triple, quadruple, etc., de chaleur (*a*), et nous connaîtrons les matières dont l'expansion ou les autres effets seront les plus convenables pour mesurer les augmentations de chaleur.

Troisièmement, nous saurons au juste combien de fois il faut la chaleur du soleil pour brûler, fondre ou calciner différentes matières, ce qu'on ne savait estimer jusqu'ici que d'une manière vague et fort éloignée de la vérité; et nous serons en état de faire des comparaisons précises de l'activité de nos feux avec celle du soleil, et d'avoir sur cela des rapports exacts, et des mesures fixes et invariables.

Enfin, on sera convaincu lorsqu'on aura examiné la théorie que j'ai donnée, et qu'on aura vu l'effet de mon miroir, que le moyen que j'ai employé était le seul par lequel il fût possible de réussir à brûler au loin : car, indépendamment de la difficulté physique de faire de grands miroirs concaves sphériques, paraboliques, ou d'une autre courbure quelconque assez régulière pour brûler à 150 pieds, on se démontrera aisément à soi-même qu'ils ne produiraient qu'à peu près autant d'effet que le mien, parce que le foyer en serait presque aussi large; que, de plus, ces miroirs courbes, quand même il serait possible de les exécuter, auraient le désavantage très grand de ne brûler qu'à une seule distance, au lieu que le mien brûle à toutes les distances; et par conséquent on abandonnera le projet de faire, par le moyen des courbes, des miroirs pour brûler au loin, ce qui a occupé inutilement un grand nombre de mathématiciens et d'artistes qui se trompaient toujours parce qu'ils considéraient les rayons du soleil comme parallèles, au lieu qu'il faut les considérer ici tels qu'ils sont, c'est-à-dire comme faisant des angles de toute grandeur, depuis zéro jusqu'à 32 minutes, ce qui fait qu'il est impossible, quelque courbure qu'on donne à un miroir, de rendre le diamètre du foyer plus petit que la corde de l'arc qui mesure cet angle de 32 minutes. Ainsi, quand même on pourrait faire un miroir concave pour brûler à une grande distance, par exemple, à 150 pieds, en le travaillant dans tous ses points sur une sphère de 600 pieds de diamètre, et en employant une masse énorme de verre ou de métal, il est clair qu'on aura à peu près autant d'avantage à n'employer au contraire que de petits miroirs plans.

Au reste, comme tout a des limites, quoique mon miroir soit susceptible d'une plus grande perfection, tant pour l'ajustement que pour plusieurs autres choses, et que je compte bien en faire un autre dont les effets seront supérieurs, cependant il ne faut pas espérer qu'on puisse jamais brûler à de très grandes distances; car pour brûler, par

(*a*) Feu M. de Mairan a fait une épreuve avec trois glaces seulement, et a trouvé que les augmentations du double et du triple de chaleur étaient comme les divisions du thermomètre de Réaumur; mais on ne doit rien conclure de cette expérience, qui n'a donné lieu à ce résultat que par une espèce de hasard. Voyez, sur ce sujet, ce que j'ai dit dans mon *Traité des éléments*.

exemple, à une demi-lieue, il faudrait un miroir deux mille fois plus grand que le mien; et tout ce qu'on pourra jamais faire est de brûler à 8 ou 900 pieds tout au plus. Le foyer dont le mouvement correspond toujours à celui du soleil marche d'autant plus vite qu'il est plus éloigné du miroir, et à 900 pieds de distance il ferait un chemin d'environ 6 pieds par minute.

Il n'est pas nécessaire d'avertir qu'on peut faire avec de petits morceaux plats de glace ou de métal des miroirs dont les foyers seront variables, et qui brûleront à de petites distances avec une grande vivacité; et en les montant à peu près comme l'on monte les parasols, il ne faudrait qu'un seul mouvement pour en ajuster le foyer.

Maintenant que j'ai rendu compte de ma découverte et du succès de mes expériences, je dois rendre à Archimède et aux anciens la gloire qui leur est due. Il est certain qu'Archimède a pu faire avec des miroirs de métal ce que je fais avec des miroirs de verre; il est sûr qu'il avait plus de lumières qu'il n'en faut pour imaginer la théorie qui m'a guidé et la mécanique que j'ai fait exécuter, et que par conséquent on ne peut lui refuser le titre du premier inventeur de ces miroirs, que l'occasion où il sut les employer rendit sans doute plus célèbres que le mérite de la chose même.

Pendant le temps que je travaillais à ces miroirs, j'ignorais le détail de tout ce qu'en ont dit les anciens; mais, après avoir réussi à les faire, je fus bien aise de m'en instruire. Feu M. Melot, de l'Académie des belles-lettres, et l'un des gardes de la Bibliothèque du Roi, dont la grande érudition et les talents étaient connus de tous les savants, eut la bonté de me communiquer une excellente dissertation qu'il avait faite sur ce sujet, dans laquelle il rapporte les témoignages de tous les auteurs qui ont parlé des miroirs ardents d'Archimède: ceux qui en parlent le plus clairement sont Zonaras et Tzetzés, qui vivaient tous deux dans le XIII^e siècle. Le premier dit qu'Archimède, avec ses miroirs ardents, mit en cendres toute la flotte des Romains: « Ce géomètre, dit-il, ayant reçu les rayons du » soleil sur un miroir, à l'aide de ces rayons rassemblés et réfléchis par l'épaisseur et le » poli du miroir, il embrasa l'air et alluma une grande flamme qu'il lança tout entière » sur les vaisseaux qui mouillaient dans la sphère de son activité, et qui furent tous » réduits en cendres. » Le même Zonaras rapporte aussi qu'au siège de Constantinople, sous l'empire d'Anastase, l'an 514 de Jésus-Christ, Proculus brûla, avec des miroirs d'airain, la flotte de Vitalien qui assiégeait Constantinople; et il ajoute que ces miroirs étaient une découverte ancienne, et que l'historien Dion en donne l'honneur à Archimède qui la fit, et s'en servit contre les Romains lorsque Marcellus fit le siège de Syracuse.

Tzetzés non seulement rapporte et assure le fait des miroirs, mais même il en explique en quelque façon la construction. « Lorsque les vaisseaux romains, dit-il, furent à la » portée du trait, Archimède fit faire une espèce de miroir hexagone, et d'autres plus » petits de vingt-quatre angles chacun, qu'il plaça dans une distance proportionnée et » qu'on pouvait mouvoir à l'aide de leurs charnières et de certaines lames de métal; il » plaça le miroir hexagone de façon qu'il était coupé par le milieu par le méridien d'hiver » et d'été, en sorte que les rayons du soleil reçus sur ce miroir venant à se briser allu- » mèrent un grand feu qui réduisit en cendres les vaisseaux romains, quoiqu'ils fussent » éloignés de la portée d'un trait. » Ce passage me paraît assez clair; il fixe la distance à laquelle Archimède a brûlé: la portée du trait ne peut guère être que de 151 ou 200 pieds; il donne l'idée de la construction, et fait voir que le miroir d'Archimède pouvait être, comme le mien, composé de petits miroirs qui se mouvaient par des mouvements de charnières et de ressorts, et enfin il indique la position du miroir, en disant que le miroir hexagone, autour duquel étaient sans doute les miroirs plus petits, coupé par le méridien, ce qui veut dire apparemment que le miroir doit être opposé directement au soleil; d'ailleurs le miroir hexagone était probablement celui dont l'image servait de mire pour ajuster les autres, et cette figure n'est pas tout à fait indifférente, non plus que celle des

vingt-quatre angles en vingt-quatre côtés des petits miroirs. Il est aisé de sentir qu'il y a en effet de l'avantage à donner à ces miroirs une figure polygone d'un grand nombre de côtés égaux, afin que la quantité de lumière soit moins inégalement répartie dans l'image réfléchie, et elle sera répartie le moins inégalement qu'il est possible, lorsque les miroirs seront circulaires. J'ai bien vu qu'il y avait de la perte à employer des miroirs quadrangulaires, longs de 6 pouces sur 8 pouces; mais j'ai préféré cette forme parce qu'elle est, comme je l'ai dit, plus avantageuse pour brûler horizontalement.

J'ai aussi trouvé, dans la même dissertation de M. Melot, que le P. Kircher avait écrit qu'Archimède avait pu brûler à une grande distance avec des miroirs plans, et que l'expérience lui avait appris qu'en réunissant de cette façon les images du soleil, on produisait une chaleur considérable au point de réunion.

Enfin, dans les *Mémoires de l'Académie*, année 1726, M. du Fay, dont j'honorerai toujours la mémoire et les talents, paraît avoir touché à cette découverte : il dit « qu'ayant » reçu l'image du soleil sur un miroir plan de 4 pied carré, et l'ayant portée jusqu'à » 600 pieds sur un miroir concave de 17 pouces de diamètre, elle avait encore la force de » brûler des matières combustibles au foyer de ce dernier miroir. » Et à la fin de son Mémoire il dit « que quelques auteurs (il veut sans doute parler du P. Kircher) ont proposé de former un miroir d'un très long foyer par un grand nombre de petits miroirs » plans que plusieurs personnes tiendraient à la main, et dirigeraient de façon que les » images du soleil formées par chacun de ces miroirs concourraient en un même point, » et que ce serait peut-être la façon de réussir la plus sûre et la moins difficile à exécuter. » Un peu de réflexion sur l'expérience du miroir concave et sur ce projet aurait porté M. du Fay à la découverte du miroir d'Archimède, qu'il traite cependant de fable un peu plus haut; car il me paraît qu'il était tout naturel de conclure de son expérience que, puisqu'un miroir concave de 17 pouces de diamètre sur lequel l'image du soleil ne tombait pas tout entière, à beaucoup près, peut cependant brûler par cette seule partie de l'image du soleil réfléchie à 600 pieds, dans un foyer que je suppose large de 3 lignes, onze cent cinquante-six miroirs plans, semblables au premier miroir réfléchissant, doivent à plus forte raison brûler directement à cette distance de 600 pieds, et que par conséquent deux cent quatre-vingt-neuf miroirs plans auraient été plus que suffisants pour brûler à 300 pieds, en réunissant les deux cent quatre-vingt-neuf images; mais, en fait de découverte, le dernier pas, quoique souvent le plus facile, est cependant celui qu'on fait le plus rarement.

Mon Mémoire, tel qu'on vient de le lire, a été imprimé dans le volume de l'*Académie des sciences*, année 1747, sous le titre : *Invention des miroirs pour brûler à une grande distance*. Feu M. Bouguer, et quelques autres membres de cette savante compagnie, m'ayant fait quelques objections, tirées principalement de la doctrine de Descartes, dans son *Traité de Dioptrique*, je crois devoir y répondre par le Mémoire suivant, qui fut lu à l'Académie la même année, mais que je ne fis pas imprimer par ménagement pour mes adversaires en opinion. Cependant, comme il contient plusieurs choses utiles, et qu'il pourra servir de préservatif contre les erreurs contenues dans quelques livres d'optique, surtout dans celui de la Dioptrique de Descartes, que d'ailleurs il sert d'explication et de suite au Mémoire précédent, j'ai jugé à propos de les joindre ici et de les publier ensemble.

ARTICLE SECOND

RÉFLEXIONS SUR LE JUGEMENT DE DESCARTES
 AU SUJET DES MIROIRS D'ARCHIMÈDE, AVEC LE DÉVELOPPEMENT DE LA THÉORIE
 DE CES MIROIRS ET L'EXPLICATION DE LEURS PRINCIPAUX USAGES.

La *Dioptrique* de Descartes, cet ouvrage qu'il a donné comme le premier et le principal essai de sa méthode de raisonner dans les sciences, doit être regardée comme un chef-d'œuvre pour son temps; mais les plus belles spéculations sont souvent démenties par l'expérience, et tous les jours les sublimes mathématiques sont obligées de se plier sous de nouveaux faits; car, dans l'application qu'on en fait aux plus petites parties de la physique, on doit se défier de toutes les circonstances, et ne pas se confier assez aux choses qu'on croit savoir pour prononcer affirmativement sur celles qui sont inconnues. Ce défaut n'est cependant que trop ordinaire, et j'ai cru que je ferais quelque chose d'utile pour ceux qui veulent s'occuper d'optique que de leur exposer ce qui manquait à Descartes pour pouvoir donner une théorie de cette science qui fût susceptible d'être réduite en pratique.

Son *Traité de Dioptrique* est divisé en dix Discours. Dans le premier, notre philosophe parle de la lumière: et comme il ignorait son mouvement progressif, qui n'a été découvert que quelque temps après par Rømer, il faut modifier tout ce qu'il dit à cet égard, et on ne doit adopter aucune des explications qu'il donne au sujet de la nature et de la propagation de la lumière, non plus que les comparaisons et les hypothèses qu'il emploie pour tâcher d'expliquer les causes et les effets de la vision. On sait actuellement que la lumière est environ 7 minutes $\frac{1}{2}$ à venir du soleil jusqu'à nous, que cette émission du corps lumineux se renouvelle à chaque instant, et que ce n'est pas par la pression continue et par l'action, ou plutôt l'ébranlement instantané d'une matière subtile que ses effets s'opèrent: ainsi toutes les parties de ce *Traité*, où l'auteur emploie cette théorie, sont plus que suspectes, et les conséquences ne peuvent être qu'erronées.

Il en est de même de l'explication que Descartes donne de la réfraction: non seulement sa théorie est hypothétique pour la cause, mais la pratique est contraire dans tous les effets. Les mouvements d'une balle qui traverse de l'eau sont très différents de ceux de la lumière qui traverse le même milieu; et s'il eût comparé ce qui arrive en effet à une balle avec ce qui arrive à la lumière, il en aurait tiré des conséquences tout à fait opposées à celles qu'il a tirées.

Et pour ne pas omettre une chose très essentielle, et qui pourrait induire en erreur, il faut bien se garder, en lisant cet article, de croire avec notre philosophe que le mouvement rectiligne peut se changer naturellement en un mouvement circulaire: cette assertion est fautive, et le contraire est démontré depuis que l'on connaît les lois du mouvement.

Comme le second Discours roule en grande partie sur cette théorie hypothétique de la réfraction, je me dispenserai de parler en détail des erreurs qui en sont les conséquences: un lecteur averti ne peut manquer de les remarquer.

Dans les troisième, quatrième et cinquième Discours, il est question de la vision, et l'explication que Descartes donne au sujet des images qui se forment au fond de l'œil est assez juste; mais ce qu'il dit sur les couleurs ne peut pas se soutenir, ni même s'entendre: car comment concevoir qu'une certaine proportion entre le mouvement rectiligne et un prétendu mouvement circulaire puisse produire des couleurs? Cette partie a été, comme l'on sait, traitée à fond et d'une manière démonstrative par Newton, et l'expérience a fait voir l'insuffisance de tous les systèmes précédents.

Je ne dirai rien du sixième Discours, où il tâche d'expliquer comment se font nos sensations : quelque ingénieuses que soient ses hypothèses, il est de aisé sentir qu'elles sont gratuites ; et comme il n'y a presque rien de mathématique dans cette partie, il est inutile de nous y arrêter.

Dans le septième et le huitième Discours, Descartes donne une belle théorie géométrique sur les formes que doivent avoir les verres pour produire les effets qui peuvent servir à la perfection de la vision, et, après avoir examiné ce qui arrive aux rayons qui traversent ces verres de différentes formes, il conclut que les verres elliptiques et hyperboliques sont les meilleurs de tous pour rassembler les rayons ; et il finit par donner, dans le neuvième Discours, la manière de construire les lunettes de longue vue, et dans le dixième et dernier Discours, celle de tailler les verres.

Cette partie de l'ouvrage de Descartes, qui est proprement la seule partie mathématique de son *Traité*, est plus fondée et beaucoup mieux raisonnée que les précédentes ; cependant on n'a point appliqué sa théorie à la pratique, on n'a pas taillé des verres elliptiques ou hyperboliques, et l'on a oublié ces fameuses ovales qui font le principal objet du second livre de sa géométrie : la différente réfrangibilité des rayons, qui était inconnue à Descartes, n'a pas été découverte que cette théorie géométrique a été abandonnée. Il est en effet démontré qu'il n'y a pas autant à gagner par le choix de ces formes qu'il y a à perdre par la différente réfrangibilité des rayons, puisque, selon leur différent degré de réfrangibilité, ils se rassemblent plus ou moins près ; mais comme l'on est parvenu à faire des lunettes achromatiques, dans lesquelles on compense la différente réfrangibilité des rayons par des verres de différente densité, il serait très utile aujourd'hui de tailler des verres hyperboliques ou elliptiques, si l'on veut donner aux lunettes achromatiques toute la perfection dont elles sont susceptibles.

Après ce que je viens d'exposer, il me semble que l'on ne devrait pas être surpris que Descartes eût mal prononcé au sujet des miroirs d'Archimède, puisqu'il ignorait un si grand nombre de choses qu'on a découvertes depuis ; mais comme c'est ici le point particulier que je veux examiner, il faut rapporter ce qu'il en a dit, afin qu'on soit plus en état d'en juger.

« Vous pouvez aussi remarquer, par occasion, que les rayons du soleil, ramassés par le verre elliptique, doivent brûler avec plus de force qu'étant rassemblés par l'hyperbolique, car il ne faut pas seulement prendre garde aux rayons qui viennent du centre du soleil, mais aussi à tous les autres qui, venant des autres points de la superficie, n'ont pas sensiblement moins de force que ceux du centre ; en sorte que la violence de la chaleur qu'ils peuvent causer se doit mesurer par la grandeur du corps qui les assemble, comparée avec celle de l'espace où il les assemble . . . sans que la grandeur du diamètre de ce corps y puisse rien ajouter, ni sa figure particulière, qu'environ un quart ou un tiers tout au plus ; il est certain que cette ligne brûlante à l'infini, que quelques-uns ont imaginée, n'est qu'une rêverie. »

Jusqu'ici il n'est question que de verres brûlants par réfraction, mais ce raisonnement doit s'appliquer de même aux miroirs par réflexion, et avant que de faire voir que l'auteur n'a pas tiré de cette théorie les conséquences qu'il devait en tirer, il est bon de lui répondre d'abord par l'expérience. Cette ligne brûlante à l'infini, qu'il regarde comme une rêverie, pourrait s'exécuter par des miroirs de réflexion semblables au mien, non pas à une distance infinie, parce que l'homme ne peut rien faire d'infini, mais à une distance indéfinie assez considérable. Car supposons que mon miroir au lieu d'être composé de deux cent vingt-quatre petites glaces, fût composé de deux mille, ce qui est possible ; il n'en faut que vingt pour brûler à 20 pieds, et le foyer étant comme une colonne de lumière, ces vingt glaces brûlent en même temps à 17 et à 23 pieds : avec vingt-cinq autres glaces, je ferai un foyer qui brûlera depuis 23 jusqu'à 30 ; avec vingt-neuf glaces, un foyer qui

brûlera depuis 30 jusqu'à 40; avec trente-quatre glaces, un foyer qui brûlera depuis 40 jusqu'à 52; avec quarante glaces, depuis 52 jusqu'à 64; avec cinquante glaces, depuis 64 jusqu'à 76; avec soixante glaces, depuis 76 jusqu'à 88; avec soixante-dix glaces, depuis 88 jusqu'à 100 pieds. Voilà donc déjà une ligne brûlante, depuis 17 jusqu'à 100 pieds, où je n'aurai employé que trois cent vingt-huit glaces; et, pour la continuer, il n'y a qu'à faire d'abord un foyer de quatre-vingts glaces, il brûlera depuis 100 pieds jusqu'à 116; et quatre-vingt-douze glaces, depuis 116 jusqu'à 134 pieds; et cent huit glaces, depuis 134 jusqu'à 150; et cent vingt-quatre glaces, depuis 150 jusqu'à 170; et cent cinquante-quatre glaces, depuis 170 jusqu'à 200 pieds : ainsi voilà ma ligne brûlante prolongée de 100 pieds, en sorte que depuis 17 pieds jusqu'à 200 pieds, en quelque endroit de cette distance qu'on puisse mettre un corps combustible, il sera brûlé; et, pour cela, il ne faut en tout que huit cent quatre-vingt-six glaces de 6 pouces; et en employant le reste des deux mille glaces, je prolongerai de même la ligne brûlante jusqu'à 3 ou 400 pieds; et avec un plus grand nombre de glaces, par exemple, avec quatre mille, je la prolongerai beaucoup plus loin, à une distance indéfinie. Or, tout ce qui, dans la pratique, est indéfini, peut être regardé comme infini dans la théorie : donc notre célèbre philosophe a eu tort de dire que cette ligne brûlante à l'infini n'était qu'une rêverie.

Maintenant, venons à la théorie. Rien n'est plus vrai que ce que dit ici Descartes au sujet de la réunion des rayons du soleil, qui ne se fait pas dans un point, mais dans un espace ou foyer dont le diamètre augmente à proportion de la distance. Mais ce grand philosophe n'a pas senti l'étendue de ce principe qu'il ne donne que comme une remarque; car, s'il y eût fait attention, il n'aurait pas considéré dans tout le reste de son ouvrage les rayons du soleil comme parallèles, il n'aurait pas établi comme le fondement de la théorie de sa construction des lunettes, la réunion des rayons dans un point, et il se serait bien gardé de dire affirmativement (p. 131) : « Nous pourrons, par cette invention, voir des » objets aussi particuliers et aussi petits dans les astres, que ceux que nous voyons » communément sur la terre. » Cette assertion ne pouvait être vraie qu'en supposant le parallélisme des rayons et leur réunion en un seul point, et par conséquent elle est opposée à sa propre théorie, ou plutôt il n'a pas employé la théorie comme il le fallait; et en effet, s'il n'eût pas perdu de vue cette remarque, il eût supprimé les deux derniers livres de sa *Dioptrique*; car il aurait vu que, quand même les ouvriers eussent pu tailler les verres comme il l'exigeait, ces verres n'auraient pas produit les effets qu'il leur a supposés, de nous faire distinguer les plus petits objets dans les astres; à moins qu'il n'eût en même temps supposé dans ces objets une intensité de lumière infinie, ou, ce qui revient au même, qu'ils eussent, malgré leur éloignement, pu former un angle sensible à nos yeux.

Comme ce point d'optique n'a jamais été bien éclairci, j'entrerai dans quelque détail à cet égard. On peut démontrer que deux objets également lumineux et dont les diamètres sont différents, ou bien que deux objets dont les diamètres sont égaux et dont l'intensité de lumière est différente, doivent être observés avec des lunettes différentes; que, pour observer avec le plus grand avantage possible, il faudrait des lunettes différentes pour chaque planète; que, par exemple, Vénus, qui nous paraît bien plus petite que la lune, et dont je suppose pour un instant la lumière égale à celle de la lune, doit être observée avec une lunette d'un plus long foyer que la lune; et que la perfection des lunettes, pour en tirer le plus grand avantage possible, dépend d'une combinaison qu'il faut faire non seulement entre les diamètres et les courbures des verres, comme Descartes l'a fait, mais encore entre ces mêmes diamètres et l'intensité de la lumière de l'objet qu'on observe. Cette intensité de la lumière de chaque objet est un élément que les auteurs qui ont écrit sur l'optique n'ont jamais employé, et cependant il fait plus que l'augmentation de l'angle sous lequel un objet doit nous paraître, en vertu de la courbure des verres. Il en est de

même d'une chose qui semble être un paradoxe, c'est que les miroirs ardents, soit par réflexion, soit par réfraction, feraient un effet toujours égal, à quelque distance qu'on les mit du soleil. Par exemple, mon miroir, brûlant à 150 pieds du bois sur la terre, brûlerait de même à 150 pieds et avec autant de force du bois dans Saturne, où cependant la chaleur du soleil est environ cent fois moindre que sur la terre. Je crois que les bons esprits sentiront bien, sans autre démonstration, la vérité de ces deux propositions, quoique toutes deux nouvelles et singulières.

Mais pour ne pas m'écarter du sujet que je me suis proposé, et pour démontrer que Descartes n'ayant pas la théorie qui est nécessaire pour construire des miroirs d'Archimède, il n'était pas en état de prononcer qu'ils étaient impossibles, je vais faire sentir, autant que je le pourrai, en quoi consistait la difficulté de cette invention.

Si le soleil, au lieu d'occuper à nos yeux un espace de 32 minutes de degré, était réduit en un point, alors il est certain que ce point de lumière, réfléchi par un point d'une surface polie, produirait à toutes les distances une lumière et une chaleur égales, parce que l'interposition de l'air ne fait rien ou presque rien ici; que par conséquent un miroir dont la surface serait égale à celle d'un autre brûlerait à dix lieues à peu près aussi bien que le premier brûlerait à 10 pieds, s'il était possible de le travailler sur une sphère de quarante lieues, comme on peut travailler l'autre sur une sphère de 40 pieds, parce que chaque point de la surface du miroir réfléchissant le point lumineux auquel nous avons réduit le disque du soleil, on aurait, en variant la courbure des miroirs, une égale chaleur ou une égale lumière à toutes les distances, sans changer leurs diamètres: ainsi, pour brûler à une grande distance, dans ce cas, il faudrait en effet un miroir très exactement travaillé sur une sphère, ou une hyperboloïde proportionnée à la distance, ou bien un miroir brisé en une infinité de points physiques plans, qu'il faudrait faire coïncider au même point; mais le disque du soleil occupant un espace de 32 minutes de degré, il est clair que le même miroir sphérique ou hyperbolique, ou d'une autre figure quelconque, ne peut jamais, en vertu de cette figure, réduire l'image du soleil en un espace plus petit que de 32 minutes; que dès lors l'image augmentera toujours à mesure qu'on s'éloignera; que, de plus, chaque point de la surface nous donnera une image d'une même largeur, par exemple de $\frac{1}{2}$ pied à 60 pieds. Or, comme il est nécessaire, pour produire tout l'effet possible, que toutes ces images coïncident dans cet espace de $\frac{1}{2}$ pied, alors, au lieu de briser le miroir en une infinité de parties, il est évident qu'il est à peu près égal et beaucoup plus commode de ne le briser qu'en un petit nombre de parties planes de $\frac{1}{2}$ pied de diamètre chacune, parce que chaque petit miroir plan de $\frac{1}{2}$ pied donnera une image d'environ $\frac{1}{2}$ pied, qui sera à peu près aussi lumineuse qu'une pareille surface de $\frac{1}{2}$ pied, prise dans le miroir sphérique ou hyperbolique.

La théorie de mon miroir ne consiste donc pas, comme on l'a dit ici, à avoir trouvé l'art d'inscrire aisément des plans dans une surface sphérique et le moyen de changer à volonté la courbure de cette surface sphérique; mais elle suppose cette remarque plus délicate et qui n'avait jamais été faite, c'est qu'il y a presque autant d'avantage à se servir de miroirs plans que de miroirs de toute autre figure, dès qu'on veut brûler à une certaine distance, et que la grandeur du miroir plan est déterminée par la grandeur de l'image à cette distance, en sorte qu'à la distance de 60 pieds, où l'image du soleil a environ $\frac{1}{2}$ pied de diamètre, on brûlera à peu près aussi bien avec les miroirs plans de $\frac{1}{2}$ pied qu'avec des miroirs hyperboliques les mieux travaillés, pourvu qu'ils n'aient que la même grandeur. De même, avec des miroirs plans de 1 pouce $\frac{1}{2}$, on brûlera à 15 pieds à peu près avec autant de force qu'avec un miroir exactement travaillé dans toutes ses parties, et, pour le dire en un mot, un miroir à facettes plates produira à peu près autant d'effet qu'un miroir travaillé avec la dernière exactitude dans toutes ses parties, pourvu que la grandeur de chaque facette soit égale à la grandeur de l'image du

soleil; et c'est par cette raison qu'il y a une certaine proportion entre la grandeur des miroirs plans et les distances, et que, pour brûler plus loin, on peut employer, même avec avantage, de plus grandes glaces dans mon miroir que pour brûler plus près.

Car, si cela n'était pas, on sent bien qu'en réduisant, par exemple, mes glaces de 6 pouces à 3 pouces, et employant quatre fois autant de ces glaces que des premières, ce qui revient au même pour l'étendue de la surface du miroir, j'aurais eu quatre fois plus d'effet, et que plus les glaces seraient petites, et plus le miroir produirait d'effet; et c'est à ceci que se serait réduit l'art de quelqu'un qui aurait seulement tenté d'inscrire une surface polygone dans une sphère, et qui aurait imaginé l'ajustement dont je me suis servi pour faire changer à volonté la courbure de cette surface : il aurait fait les glaces les plus petites qu'il aurait été possible; mais le fond et la théorie de la chose est d'avoir reconnu qu'il n'était pas seulement question d'inscrire une surface polygone dans une sphère avec exactitude, et d'en faire varier la courbure à volonté, mais encore que chaque partie de cette surface devait avoir une certaine grandeur déterminée pour produire aisément un grand effet, ce qui fait un problème fort différent, et dont la solution m'a fait voir qu'au lieu de travailler ou de briser un miroir dans toutes ses parties pour faire coïncider les images au même endroit, il suffisait de le briser ou de le travailler à facettes planes en grandes portions égales à la grandeur de l'image, et qu'il y avait peu à gagner en le brisant en de trop petites parties, ou, ce qui est la même chose, en le travaillant exactement dans tous ses points. C'est pour cela que j'ai dit, dans mon Mémoire, que, pour brûler à de grandes distances, il fallait imaginer quelque chose de nouveau et tout à fait indépendant de ce qu'on avait pensé et pratiqué jusqu'ici; et ayant supputé géométriquement la différence, j'ai trouvé qu'un miroir parfait, de quelque courbure qu'il puisse être, n'aura jamais plus d'avantage sur le mien que de 17 à 10, et qu'en même temps l'exécution en serait impossible pour ne brûler même qu'à une petite distance, comme de 25 ou 30 pieds. Mais revenons aux assertions de Descartes.

Il dit ensuite « qu'ayant deux verres ou miroirs ardents, dont l'un soit beaucoup plus grand que l'autre, de quelque façon qu'ils puissent être, pourvu que leurs figures soient toutes pareilles, le plus grand doit bien ramasser les rayons du soleil en un plus grand espace et plus loin de soi que le plus petit, mais que ces rayons ne doivent point avoir plus de force en chaque partie de cet espace qu'en celui où le plus petit les ramasse, en sorte qu'on peut faire des verres ou miroirs extrêmement petits, qui brûleront avec autant de violence que les plus grands. »

Ceci est absolument contraire aux expériences que j'ai rapportées dans mon Mémoire, où j'ai fait voir qu'à égale intensité de lumière un grand foyer brûle beaucoup plus qu'un petit; et c'est en partie sur cette remarque, tout opposée au sentiment de Descartes, que j'ai fondé la théorie de mes miroirs; car voici ce qui suit de l'opinion de ce philosophe. Prenons un grand miroir ardent, comme celui du sieur Segard, qui a 32 pouces de diamètre et un foyer de 9 lignes de largeur à 6 pieds de distance, auquel foyer le cuivre se fond en une minute, et faisons dans les mêmes proportions un petit miroir ardent de 32 lignes de diamètre, dont le foyer sera de $\frac{9}{12}$ ou de $\frac{3}{4}$ de ligne de diamètre, et la distance de 6 pouces : puisque le grand miroir fond le cuivre en une minute dans l'étendue de son foyer, qui est de 9 lignes, le petit doit, selon Descartes, fondre dans le même temps la même matière dans l'étendue de son foyer, qui est de $\frac{3}{4}$ de ligne; or, j'en appelle à l'expérience, et on verra que, bien loin de fondre le cuivre, à peine ce petit verre brûlant pourra-t-il lui donner un peu de chaleur.

Comme ceci est une remarque physique et qui n'a pas peu servi à augmenter mes espérances lorsque je doutais encore si je pourrais produire du feu à une grande distance, je crois devoir communiquer ce que j'ai pensé à ce sujet.

La première chose à laquelle je fis attention, c'est que la chaleur se communique de

proche en proche et se disperse, quand même elle est appliquée continuellement sur le même point : par exemple, si on fait tomber le foyer d'un verre ardent sur le centre d'un écu, et que ce foyer n'ait que 1 ligne de diamètre, la chaleur qu'il produit sur le centre de l'écu se disperse et s'étend dans le volume entier de l'écu, et il devient chaud jusqu'à la circonférence; dès lors toute la chaleur, quoique employée d'abord contre le centre de l'écu, ne s'y arrête pas et ne peut pas produire un aussi grand effet que si elle y demeurait tout entière. Mais si, au lieu d'un foyer d'une ligne qui tombe sur le milieu de l'écu, je fais tomber sur l'écu tout entier un foyer d'égale force au premier, toutes les parties de l'écu étant également échauffées dans ce dernier cas, il n'y a pas de perte de chaleur comme dans le premier, et le point du milieu profitant de la chaleur des autres points autant que ces points profitent de la sienne, l'écu sera fondu par la chaleur dans ce dernier cas, tandis que dans le premier il n'aura été que légèrement échauffé. De là je conclus que toutes les fois qu'on peut faire un grand foyer on est sûr de produire de plus grands effets qu'avec un petit foyer, quoique l'intensité de lumière soit la même dans tous deux; et qu'un petit miroir ardent ne peut jamais faire autant d'effet qu'un grand; et même qu'avec une moindre intensité de lumière, un grand miroir doit faire plus d'effet qu'un petit, la figure de ces deux miroirs étant toujours supposée semblable. Ceci, qui, comme l'on voit, est directement opposé à ce que dit Descartes, s'est trouvé confirmé par les expériences rapportées dans mon Mémoire; mais je ne me suis pas borné à savoir d'une manière générale que les grands foyers agissaient avec plus de force que les petits : j'ai déterminé à très peu près de combien est cette augmentation de force, et j'ai vu qu'elle était très considérable, car j'ai trouvé que s'il faut dans un miroir cent quarante-quatre fois la surface d'un foyer de 6 lignes de diamètre pour brûler, il faut au moins le double, c'est-à-dire deux cent quatre-vingt-huit fois cette surface pour brûler à un foyer de 2 lignes; et qu'à un foyer de 6 pouces il ne faut pas trente fois cette même surface du foyer pour brûler, ce qui fait, comme l'on voit, une prodigieuse différence et sur laquelle j'ai compté lorsque j'ai entrepris de faire mon miroir; sans cela il y aurait eu de la témérité à l'entreprendre, et il n'aurait pas réussi. Car supposons un instant que je n'eusse pas eu cette connaissance de l'avantage des grands foyers sur les petits, voici comme j'aurais été obligé de raisonner. Puisqu'il faut à un miroir deux cent quatre-vingt-huit fois la surface du foyer pour brûler dans un espace de 2 lignes, il faudra de même deux cent quatre-vingt-huit glaces ou miroirs de 6 pouces pour brûler dans un espace de 6 pouces, et dès lors, pour brûler seulement à 100 pieds, il aurait fallu un miroir composé d'environ onze cent cinquante-deux glaces de 6 pouces, ce qui était une grandeur énorme pour un petit effet, et cela était plus que suffisant pour me faire abandonner mon projet; mais connaissant l'avantage considérable des grands foyers sur les petits, qui dans ce cas est de 288 à 30, je sentis qu'avec cent vingt glaces de 6 pouces je brûlerais très certainement à 100 pieds, et c'est sur cela que j'entrepris avec confiance la construction de mon miroir, qui, comme l'on voit, suppose une théorie tant mathématique que physique, fort différente de ce qu'on pouvait imaginer au premier coup d'œil.

Descartes ne devait donc pas affirmer qu'un petit miroir ardent brûlait aussi violemment qu'un grand.

Il dit ensuite : « Et un miroir ardent dont le diamètre n'est pas plus grand qu'environ » la centième partie de la distance qui est entre lui et le lieu où il doit rassembler les » rayons du soleil, c'est-à-dire qui a même proportion avec cette distance qu'a le diamètre » du soleil avec celle qui est entre lui et nous, fût-il poli par un ange, ne peut faire que » les rayons qu'il assemble échauffent plus en l'endroit où il les assemble que ceux qui » viennent directement du soleil, ce qui se doit aussi entendre des verres brûlants à pro- » portion : d'où vous pouvez voir que ceux qui ne sont qu'à demi savants en l'optique se » laissent persuader beaucoup de choses qui sont impossibles, et que ces miroirs, dont on

» a dit qu'Archimède brûlait des navires de fort loin, devaient être extrêmement grands
 » ou plutôt qu'ils sont fabuleux. »

C'est ici où je bornerai mes réflexions : si notre illustre philosophe eût su que les grands foyers brûlent plus que les petits à égale intensité de lumière, il aurait jugé bien différemment, et il aurait mis une forte restriction à cette conclusion.

Mais, indépendamment de cette connaissance qui lui manquait, son raisonnement n'est point du tout exact ; car un miroir ardent dont le diamètre n'est pas plus grand qu'environ la centième partie qui est entre lui et le lieu où il doit rassembler les rayons n'est plus un miroir ardent, puisque le diamètre de l'image est environ égal au diamètre du miroir dans ce cas, et par conséquent il ne peut rassembler les rayons, comme le dit Descartes, qui semble n'avoir pas vu qu'on doit réduire ce cas à celui des miroirs plans. Mais de plus, en n'employant que ce qu'il savait et ce qu'il avait prévu, il est visible que, s'il eût réfléchi sur l'effet de ce prétendu miroir qu'il suppose poli par un ange, et qui ne doit pas rassembler, mais seulement réfléchir la lumière avec autant de force qu'elle en a en venant directement du soleil, il aurait vu qu'il était possible de brûler à de grandes distances avec un miroir de médiocre grandeur s'il eût pu lui donner la figure convenable, car il aurait trouvé que dans cette hypothèse un miroir de 5 pieds aurait brûlé à plus de 200 pieds, parce qu'il ne faut pas six fois la chaleur du soleil pour brûler à cette distance ; et de même, qu'un miroir de 7 pieds aurait brûlé à près de 400 pieds, ce qui ne fait pas des miroirs assez grands pour qu'on puisse les traiter de fabuleux.

Il me reste à observer que Descartes ignorait combien il fallait de fois la lumière du soleil pour brûler ; qu'il ne dit pas un mot des miroirs plans ; qu'il était fort éloigné de soupçonner la mécanique par laquelle on pouvait les disposer pour brûler au loin, et que par conséquent il a prononcé sans avoir assez de connaissances sur cette matière, et même sans avoir fait assez de réflexions sur ce qu'il en savait.

Au reste, je ne suis pas le premier qui ait fait quelques reproches à Descartes sur ce sujet, quoique j'en aie acquis le droit plus qu'un autre ; car, pour ne pas sortir du sein de cette Compagnie (a), je trouve que M. du Fay en a presque dit autant que moi. Voici ses paroles : « Il ne s'agit pas, dit-il, si un tel miroir qui brûlerait à 600 pieds est possible ou non, mais si, physiquement parlant, cela peut arriver. Cette opinion a été extrêmement contredite, et je doit mettre Descartes à la tête de ceux qui l'ont combattue. » Mais quoique M. du Fay regardât la chose comme impossible à exécuter, il n'a pas laissé de sentir que Descartes avait eu tort d'en nier la possibilité dans la théorie. J'avouerai volontiers que Descartes a entrevu ce qui arrive aux images réfléchies ou réfractées à différentes distances, et qu'à cet égard sa théorie est peut-être aussi bonne que celle de M. du Fay, que ce dernier n'a pas développée : mais les inductions qu'il en tire sont trop générales et trop vagues, et les dernières conséquences sont fausses ; car si Descartes eût bien compris toute cette matière, au lieu de traiter le miroir d'Archimède de chose impossible et fabuleuse, voici ce qu'il aurait dû conclure de sa propre théorie. Puisqu'un miroir ardent dont le diamètre n'est pas plus grand que la centième partie de la distance qui est entre le lieu où il doit rassembler les rayons du soleil, fût-il poli par un ange, ne peut faire que les rayons qu'il assemble échauffent plus en l'endroit où il les assemble que ceux qui viennent directement du soleil, ce miroir ardent doit être considéré comme un miroir plan parfaitement poli, et par conséquent, pour brûler à une grande distance, il faut autant de ces miroirs plans qu'il faut de fois la lumière directe du soleil pour brûler ; en sorte que les miroirs dont on dit qu'Archimède s'est servi pour brûler des vaisseaux de loin, devaient être composés de miroirs plans dont il fallait au moins un nombre égal au

(a) L'Académie royale des sciences.

nombre de fois qu'il faut la lumière directe du soleil pour brûler : cette conclusion qui eût été la vraie, selon ses principes, est, comme l'on voit, fort différente de celle qu'il a donnée.

On est maintenant en état de juger si je n'ai pas traité le célèbre Descartes avec tous les égards que mérite son grand nom, lorsque j'ai dit dans mon Mémoire : « Descartes, né pour juger et même pour surpasser Archimède, a prononcé contre lui d'un ton de maître : il a nié la possibilité de l'invention, et son opinion a prévalu sur les témoignages et la croyance de toute l'antiquité. »

Ce que je viens d'exposer suffit pour justifier ces termes que l'on m'a reprochés ; et peut-être même sont-ils trop forts, car Archimède était un très grand génie, et lorsque j'ai dit que Descartes était né pour le juger, et même pour le surpasser, j'ai senti qu'il pouvait bien y avoir un peu de compliment national dans mon expression.

J'aurais encore beaucoup de choses à dire sur cette matière, mais comme ceci est déjà bien long, quoique j'aie fait tous mes efforts pour être court, je me bornerai pour le fond du sujet à ce que je viens d'exposer ; mais je ne puis me dispenser de parler encore un moment au sujet de l'historique de la chose, afin de satisfaire, par ce seul Mémoire, à toutes les objections et difficultés qu'on m'a faites.

Je ne prétends pas prononcer affirmativement qu'Archimède se soit servi de pareils miroirs au siège de Syracuse, ni même que ce soit lui qui les ait inventés, et je ne les ai appelés *les miroirs d'Archimède* que parce qu'ils étaient connus sous ce nom depuis plusieurs siècles : les auteurs contemporains et ceux des temps qui suivent celui d'Archimède, et qui sont parvenus jusqu'à nous, ne font pas mention de ces miroirs. Tite-Live, à qui le merveilleux fait tant de plaisir à raconter, n'en parle pas ; Polybe, à l'exactitude de qui les grandes inventions n'auraient pas échappé, puisqu'il entre dans le détail des plus petites, et qu'il décrit très soigneusement les plus légères circonstances du siège de Syracuse, garde un silence profond au sujet de ces miroirs. Plutarque, ce judicieux et grave auteur, qui a rassemblé un si grand nombre de faits particuliers de la vie d'Archimède, parle aussi peu des miroirs que les deux précédents. En voilà plus qu'il n'en faut pour se croire fondé à douter de la vérité de cette histoire ; cependant ce ne sont ici que des témoignages négatifs, et, quoiqu'ils ne soient pas indifférents, ils ne peuvent jamais donner une probabilité équivalente à celle d'un seul témoignage positif.

Galien, qui vivait dans le III^e siècle, est le premier qui en ait parlé, et après avoir raconté l'histoire d'un homme qui enflamma de loin un monceau de bois résineux, mêlé avec de la fiente de pigeon, il dit que c'est de cette façon qu'Archimède brûla les vaisseaux des Romains ; mais comme il ne décrit pas ce moyen de brûler de loin, et que son expression peut signifier aussi bien un feu qu'on aurait lancé à la main, ou par quelque machine, qu'une lumière réfléchie par un miroir, son témoignage n'est pas assez clair pour qu'on puisse en rien conclure d'affirmatif : cependant on doit présumer, et même avec une grande probabilité, qu'il ne rapporte l'histoire de cet homme qui brûla au loin, que parce qu'il le fit d'une manière singulière, et que s'il n'eût brûlé qu'en lançant le feu à la main, ou en le jetant par le moyen d'une machine, il n'y aurait eu rien d'extraordinaire dans cette façon d'enflammer, rien par conséquent qui fût digne de remarque et qui méritât d'être rapporté et comparé à ce qu'avait fait Archimède, et dès lors Galien n'en eût pas fait mention.

On a aussi des témoignages semblables de deux ou trois autres auteurs du III^e siècle, qui disent seulement qu'Archimède brûla de loin les vaisseaux des Romains, sans expliquer les moyens dont il se servit ; mais les témoignages des auteurs du XII^e siècle ne sont point équivoques, et surtout ceux de Zonaras et de Tzetzes que j'ai cités, c'est-à-dire ils nous font voir clairement que cette invention était connue des anciens, car la description qu'en fait ce dernier auteur suppose nécessairement ou qu'il eût trouvé lui-même le moyen de

construire ces miroirs, ou qu'il l'eût appris et cité d'après quelque auteur qui en avait fait une très exacte description, et que l'inventeur, quel qu'il fût, entendait à fond la théorie de ces miroirs, ce qui résulte de ce que dit Tzetzés de la figure de vingt-quatre angles ou vingt-quatre côtés qu'avaient les petits miroirs, ce qui est en effet la figure la plus avantageuse : ainsi on ne peut pas douter que ces miroirs n'aient été inventés et exécutés autrefois, et le témoignage de Zonaras au sujet de Proculus n'est pas suspect : « Proculus s'en servit, dit-il, au siège de Constantinople, l'an 514, et il brûla la flotte de Vitalien. » Et même ce que Zonaras ajoute me paraît une espèce de preuve qu'Archimède était le premier inventeur de ces miroirs ; car il dit précisément que cette découverte était ancienne, et que l'historien Dion en attribue l'honneur à Archimède qui la fit et s'en servit contre les Romains au siège de Syracuse. Les livres de Dion, où il est parlé du siège de Syracuse, ne sont pas parvenus jusqu'à nous, mais il y a grande apparence qu'ils existaient encore du temps de Zonaras, et que sans cela il ne les eût pas cités comme il l'a fait. Ainsi toutes les probabilités de part et d'autre étant évaluées, il reste une forte présomption qu'Archimède avait en effet inventé ces miroirs, et qu'il s'en était servi contre les Romains. Feu M. Melot, que j'ai cité dans mon Mémoire, et qui avait fait des recherches particulières et très exactes sur ce sujet, était de ce sentiment, et il pensait qu'Archimède avait en effet brûlé les vaisseaux à une distance médiocre, et, comme le dit Tzetzés, à la portée du trait. J'ai évalué la portée du trait à 150 pieds, d'après ce que m'en ont dit des savants très versés dans la connaissance des usages anciens ; ils m'ont assuré que toutes les fois qu'il est question, dans les auteurs, de la portée du trait, on doit entendre la distance à laquelle un homme lançait à la main un trait ou un javelot, et, si cela est, je crois avoir donné à cette distance toute l'étendue qu'elle peut comporter.

J'ajouterai qu'il n'est question, dans aucun auteur ancien, d'une plus grande distance, comme de trois stades, et j'ai déjà dit que l'auteur qu'on m'avait cité, Diodore de Sicile, n'en parle pas, non plus que du siège de Syracuse, et que ce qui nous reste de cet auteur finit à la guerre d'Ipsus et d'Antigonus, environ soixante ans avant le siège de Syracuse : ainsi on ne peut pas excuser Descartes, en supposant qu'il a cru que la distance à laquelle on a prétendu qu'Archimède avait brûlé était très grande, comme, par exemple, de trois stades, puisque cela n'est dit dans aucun auteur ancien, et qu'au contraire il est dit dans Tzetzés que cette distance n'était que de la portée du trait ; mais je suis convaincu que c'est cette même distance que Descartes a regardée comme fort grande, et qu'il était persuadé qu'il n'était pas possible de faire des miroirs pour brûler à 150 pieds, qu'enfin c'est pour cette raison qu'il a traité ceux d'Archimède de fabuleux.

Au reste, les effets du miroir que j'ai construit ne doivent être regardés que comme des essais sur lesquels, à la vérité, on peut statuer, toutes proportions gardées, mais qu'on ne doit pas considérer comme les plus grands effets possibles, car je suis convaincu que si on voulait faire un miroir semblable, avec toutes les attentions nécessaires, il produirait plus du double de l'effet : la première attention serait de prendre des glaces de figure hexagone ou même de vingt-quatre côtés, au lieu de les prendre barlongues, comme celles que j'ai employées, et cela afin d'avoir des figures qui pussent s'ajuster ensemble sans laisser de grands intervalles, et qui approchassent en même temps de la figure circulaire ; la seconde serait de faire polir ces glaces jusqu'au dernier degré par un lunetier, au lieu de les employer telles qu'elles sortent de la manufacture, où le poliment se faisant par une portion de cercle, les glaces sont toujours un peu concaves et irrégulières ; la troisième attention serait de choisir parmi un grand nombre de glaces, celles qui donneraient à une grande distance une image plus vive et mieux terminée, ce qui est extrêmement important, et au point qu'il y a dans mon miroir des glaces qui font seules trois fois plus d'effet que d'autres à une grande distance, quoiqu'à une petite distance, comme de 20 à 25 pieds, l'effet en paraisse absolument le même. Quatrièmement, il faudrait des glaces

de 1/2 pied tout au plus de surface pour brûler à 150 ou 200 pieds, et de 1 pied de surface pour brûler à 3 ou 400 pieds. Cinquièmement, il faudrait les faire étamer avec plus de soin qu'on ne le fait ordinairement : j'ai remarqué qu'en général les glaces fraîchement étamées réfléchissent plus de lumière que celles qui le sont anciennement; l'étamage en se séchant, se gerce, se divise et laisse de petits intervalles qu'on aperçoit en y regardant de près avec une loupe, et ces petits intervalles donnant passage à la lumière, la glace en réfléchit d'autant moins. On pourrait trouver le moyen de faire un meilleur étamage, et je crois qu'on y parviendrait en employant de l'or et du vif-argent : la lumière serait peut-être un peu jaune par la réflexion de cet étamage ; mais bien loin que cela fût un désavantage, j'imagine au contraire qu'il y aurait à gagner, parce que les rayons jaunes sont ceux qui ébranlent le plus fortement la rétine et qui brûlent le plus violemment, comme je crois m'en être assuré en réunissant, au moyen d'un verre lenticulaire, une quantité de rayons jaunes qui m'étaient fournis par un grand prisme, et en comparant leur action avec une égale quantité de rayons de toute autre couleur réunis par le même verre lenticulaire, et fournis par le même prisme.

Sixièmement, il faudrait un châssis de fer et des vis de cuivre, et un ressort pour assujettir chacune des petites planches qui portent les glaces, tout cela conforme à un modèle que j'ai fait exécuter par le sieur Chopitel, afin que la sécheresse et l'humidité qui agissent sur le châssis et les vis en bois ne causassent pas d'inconvénient, et que le foyer, lorsqu'il est une fois formé, ne fût pas sujet à s'élargir et à se déranger lorsqu'on fait rouler le miroir sur son pivot, ou qu'on le fait tourner autour de son axe pour suivre le soleil : il faudrait aussi y ajouter une alidade avec deux pinnules au milieu de la partie inférieure du châssis, afin de s'assurer de la position du miroir par rapport au soleil, et une autre alidade semblable, mais dans un plan vertical au plan de la première pour suivre le soleil à ses différentes hauteurs.

Au moyen de toutes ces attentions, je crois pouvoir assurer, par l'expérience que j'ai acquise en me servant de mon miroir, qu'on pourrait en réduire la grandeur à moitié, et qu'au lieu d'un miroir de 7 pieds avec lequel j'ai brûlé du bois à 150 pieds, on produirait le même effet avec un miroir de 5 pieds 1/2, ce qui n'est, comme l'on voit, qu'une très médiocre grandeur pour un très grand effet; et de même, je crois pouvoir assurer qu'il ne faudrait alors qu'un miroir de 4 pieds 1/2 pour brûler à 100 pieds, et qu'un miroir de 3 pieds 1/2 brûlerait à 60 pieds, ce qui est une distance bien considérable en comparaison du diamètre du miroir.

Avec un assemblage de petits miroirs plans hexagones et d'acier poli, qui auraient plus de solidité, plus de durée que les glaces étamées, et qui ne seraient point sujets aux altérations que la lumière du soleil fait subir à la longue à l'étamage, on pourrait produire des effets très utiles, et qui dédommageraient amplement des dépenses de la construction du miroir.

1^o Pour toutes les évaporations des eaux salées, où l'on est obligé de consommer du bois et du charbon, ou d'employer l'art des bâtiments de graduation qui coûtent beaucoup plus que la construction de plusieurs miroirs tels que je les propose, il ne faudrait, pour l'évaporation des eaux salées, qu'un assemblage de douze miroirs plans de 1 pied carré chacun : la chaleur qu'ils réfléchiraient à leur foyer, quoique dirigée au-dessous de leur niveau, et à 15 ou 16 pieds de distance, sera encore assez grande pour faire bouillir l'eau, et produire par conséquent une prompte évaporation, car la chaleur de l'eau bouillante n'est que triple de la chaleur du soleil d'été; et comme la réflexion d'une surface plane bien polie ne diminue la chaleur que de moitié, il ne faudrait que six miroirs pour produire au foyer une chaleur égale à celle de l'eau bouillante, mais j'en double le nombre afin que la chaleur se communique plus vite, et aussi à cause de la perte occasionnée par l'obliquité, sous laquelle le faisceau de la lumière tombe sur la surface de l'eau qu'on

veut faire évaporer, et encore parce que l'eau salée s'échauffe encore plus lentement que l'eau douce. Ce miroir, dont l'assemblage ne formerait qu'un carré de 4 pieds de largeur sur 3 de hauteur, serait aisé à manier et à transporter; et si l'on voulait en doubler ou tripler les effets dans le même temps, il vaudrait mieux faire plusieurs miroirs semblables, c'est-à-dire doubler ou tripler le nombre de ces mêmes miroirs de 4 pieds sur 3 que d'en augmenter l'étendue; car l'eau ne peut recevoir qu'un certain degré de chaleur déterminée, et l'on ne gagnerait presque rien à augmenter ce degré, et par conséquent la grandeur du miroir; au lieu qu'en faisant deux foyers par deux miroirs égaux, on doublera l'effet de l'évaporation, et on le triplera par trois miroirs dont les foyers tomberont séparément les uns des autres sur la surface de l'eau qu'on veut faire évaporer. Au reste, l'on ne peut éviter la perte causée par l'obliquité, et, si l'on veut y remédier, ce ne peut être que par une autre perte encore plus grande, en recevant d'abord les rayons du soleil sur une grande glace qui les réfléchirait sur le miroir brisé, car alors il brûlerait en bas, au lieu de brûler en haut, mais il perdrait moitié de la chaleur par la première réflexion, et moitié du reste par la seconde, en sorte qu'au lieu de six petits miroirs, il en faudrait douze pour obtenir une chaleur égale à celle de l'eau bouillante.

Pour que l'évaporation se fasse avec plus de succès, il faudra diminuer l'épaisseur de l'eau autant qu'il sera possible. Une masse d'eau de 1 pied d'épaisseur ne s'évaporerait pas aussi vite, à beaucoup près, que la même masse réduite à 6 pouces d'épaisseur et augmentée du double en superficie. D'ailleurs le fond étant plus près de la surface, il s'échauffe plus promptement, et cette chaleur que reçoit le fond du vaisseau contribue encore à la célérité de l'évaporation.

2° On pourra se servir avec avantage de ces miroirs pour calciner les plâtres et même les pierres calcaires, mais il les faudrait plus grands, et placer les matières en haut, afin de ne rien perdre par l'obliquité de la lumière. On a vu, par les expériences détaillées dans le second de ces Mémoires, que le gypse s'échauffe plus d'une fois plus vite que la pierre calcaire tendre, et près de deux fois plus vite que le marbre ou la pierre calcaire dure: leur calcination respective doit être en même raison. J'ai trouvé, par une expérience répétée trois fois, qu'il faut un peu plus de chaleur pour calciner le gypse blanc qu'on appelle *albâtre* que pour fondre le plomb. Or, la chaleur nécessaire pour fondre le plomb, est suivant les expériences de Newton, huit fois plus grande que la chaleur du soleil d'été: il faudrait donc au moins seize petits miroirs pour calciner le gypse, et à cause des pertes occasionnées, tant par l'obliquité de la lumière que par l'irrégularité du foyer, qu'on n'éloignera pas au delà de 15 pieds, je présume qu'il faudrait vingt et peut-être vingt-quatre miroirs de 1 pied carré chacun pour calciner le gypse en peu de temps; par conséquent il faudrait un assemblage de quarante-huit de ces petits miroirs pour opérer la calcination sur la pierre calcaire la plus tendre, et soixante-douze des mêmes miroirs de 1 pied en carré pour calciner les pierres calcaires dures. Or, un miroir de 12 pieds de largeur sur 6 pieds de hauteur ne laisse pas d'être une grosse machine embarrassante et difficile à mouvoir, à monter et à maintenir. Cependant on viendrait à bout de ces difficultés, si le produit de la calcination était assez considérable pour équivaloir et même surpasser la dépense de la consommation du bois; il faudrait, pour s'en assurer, commencer par calciner le plâtre avec un miroir de vingt-quatre pièces, et, si cela réussissait, faire deux autres miroirs pareils, au lieu d'en faire un grand de soixante-douze pièces; car en faisant coïncider les foyers de ces trois miroirs de vingt-quatre pièces, on produira une chaleur égale, et qui serait assez forte pour calciner le marbre ou la pierre dure.

Mais une chose très essentielle reste douteuse, c'est de savoir combien il faudrait de temps pour calciner, par exemple, 1 pied cube de matière, surtout si ce pied cube n'était frappé de chaleur que par une face. Je vois qu'il se passerait du temps avant que la cha-

leur n'eût pénétré toute son épaisseur ; je vois que pendant tout ce temps il s'en perdrait une assez grande partie, qui sortirait de ce bloc de matière après y être entrée ; je crains donc beaucoup que, la pierre n'étant pas saisie par la chaleur de tous les côtés à la fois, la calcination ne fût très lente et le produit en chaux très petit. L'expérience seule peut ici décider ; mais il faudrait au moins la tenter sur les matières gypseuses, dont la calcination doit être une fois plus prompte que celle des pierres calcaires (a).

En concentrant cette chaleur du soleil dans un four qui n'aurait d'autre ouverture que celle qui laisserait entrer la lumière, on empêcherait en grande partie la chaleur de s'évaporer ; et en mêlant avec les pierres calcaires une petite quantité de brasque ou poudre de charbon qui, de toutes les matières combustibles est la moins chère, cette légère quantité d'aliments suffirait pour nourrir et augmenter de beaucoup la quantité de chaleur, ce qui produirait une plus ample et plus prompte calcination, et à très peu de frais, comme on l'a vu par la seconde expérience du quatrième Mémoire.

3^o Ces miroirs d'Archimède peuvent servir en effet à mettre le feu dans des voiles de vaisseaux et même dans le bois goudronné, à plus de 150 pieds de distance ; on pourrait s'en servir aussi contre ses ennemis en brûlant les blés et les autres productions de la terre ; cet effet, qui serait assez prompt, serait très dommageable ; mais ne nous occupons pas des moyens de faire du mal, et ne pensons qu'à ceux qui peuvent procurer quelque bien à l'humanité.

4^o Ces miroirs fournissent le seul et unique moyen qu'il y ait de mesurer exactement la chaleur : il est évident que deux miroirs dont les images lumineuses se réunissent produisent une chaleur double dans tous les points de la surface qu'elles occupent ; que trois, quatre, cinq, etc., miroirs donneront de même une chaleur triple, quadruple, quintuple, etc., et que par conséquent on peut par ce moyen faire un thermomètre dont les divisions ne seront point arbitraires et les échelles différentes, comme le sont celles de tous les thermomètres dont on s'est servi jusqu'à ce jour. La seule chose arbitraire qui entrerait dans la construction de ce thermomètre serait la supposition du nombre total des parties du mercure en partant du degré du froid absolu ; mais en le prenant à 10,000 au-dessous de la congélation de l'eau, au lieu de 1,000, comme dans nos thermomètres ordinaires, on approcherait beaucoup de la réalité, surtout en choisissant les jours de l'hiver les plus froids pour graduer le thermomètre ; chaque image du soleil lui donnerait un degré de chaleur au-dessus de la température que nous supposerons à celui de la glace. Le point auquel s'élèverait le mercure par la chaleur de la première image du soleil serait marqué 1. Le point où il s'élèverait par la chaleur de deux images égales et réunies sera marqué 2. Celui où trois images le feront monter sera marqué 3, et ainsi de suite jusqu'à la plus grande hauteur, qu'on pourrait étendre jusqu'au degré 36. On aurait à ce degré une augmentation de chaleur trente-six fois plus grande que celle du premier degré ; neuf fois plus grande que celle du second ; douze fois plus grande que celle du troisième ; neuf fois plus grande que celle du quatrième, etc. Cette augmentation 36 de chaleur au-dessus de celle de la glace serait assez grande pour fondre le plomb, et il y a toute apparence que le mercure, qui se volatilise à une bien moindre chaleur ferait par sa vapeur casser le thermomètre. On ne pourra donc étendre la division que jusqu'à 12, et peut-être même à 9 degrés si l'on se sert du mercure pour ces thermomètres ; et l'on n'aura, par ce moyen que les degrés d'une augmentation de chaleur jusqu'à 9. C'est une des raisons qui avaient

(a) Il vient de paraître un petit ouvrage rempli de grandes vues, de M. l'abbé Scipion Bexon, qui a pour titre : *Système de la fertilisation*. Il propose mes miroirs comme un moyen facile pour réduire en chaux toutes les matières calcaires ; mais il leur attribue plus de puissance qu'ils n'en ont réellement, et ce n'est qu'en les multipliant qu'on pourrait obtenir les grands effets qu'il s'en promet.

déterminé Newton à se servir d'huile de lin au lieu de mercure, et en effet on pourra, en se servant de cette liqueur, étendre la division non seulement à 12 degrés, mais jusqu'au point de cette huile bouillante. Je ne propose pas de remplir ces thermomètres avec de l'esprit-de-vin coloré; il est universellement reconnu que cette liqueur se décompose au bout d'un assez petit temps (*a*), et que d'ailleurs elle ne peut servir aux expériences d'une chaleur un peu forte.

Lorsqu'on aura marqué sur l'échelle de ces thermomètres remplis d'huile ou de mercure les premières divisions 1, 2, 3, 4, etc., qui indiqueront le double, le triple, le quadruple, etc., des augmentations de la chaleur, il faudra chercher les parties aliquotes de chaque division, par exemple les points $1\frac{1}{4}$, $2\frac{1}{4}$, $3\frac{1}{4}$, etc., ou de $1\frac{1}{2}$, $2\frac{1}{2}$, $3\frac{1}{2}$, etc.; et de $1\frac{3}{4}$, $2\frac{3}{4}$, $3\frac{3}{4}$, etc., ce que l'on obtiendra par un moyen facile, qui sera de couvrir la moitié, ou le quart, ou les trois quarts de la superficie d'un des petits miroirs, car alors l'image qu'il réfléchira ne contiendra que le quart, la moitié ou les trois quarts de la chaleur que contient l'image entière; et par conséquent les divisions des parties aliquotes seront aussi exactes que celles des nombres entiers.

Si l'on réussit une fois à faire ce thermomètre réel, et que j'appelle ainsi parce qu'il marquerait réellement la proportion de la chaleur, tous les autres thermomètres, dont les échelles sont arbitraires et différentes entre elles, deviendraient non seulement superflus, mais même nuisibles, dans bien des cas, à la précision des vérités physiques qu'on cherche par leur moyen. On peut se rappeler l'exemple que j'en ai donné en parlant de l'estimation de la chaleur qui émane du globe de la terre, comparée à la chaleur qui nous vient du soleil.

5° Au moyen de ces miroirs brisés, on pourra aisément recueillir dans leur entière pureté les parties volatiles de l'or et de l'argent et des autres métaux et minéraux; car en exposant au large foyer de ces miroirs une grande plaque de métal, comme une assiette ou un plat d'argent, on en verra sortir une fumée très abondante pendant un temps considérable, jusqu'au moment où le métal tombe en fusion; et, en ne donnant qu'une chaleur un peu moindre que celle qu'exige la fusion, on fera évaporer le métal au point d'en diminuer le poids assez considérablement. Je me suis assuré de ce premier fait, qui peut fournir des lumières sur la composition intime des métaux: j'aurais bien désiré recueillir cette vapeur abondante que le feu pur du soleil fait sortir du métal; mais je n'avais pas les instruments nécessaires, et je ne puis que recommander aux chimistes et aux physiiciens de suivre cette expérience importante, dont les résultats seraient d'autant moins équivoques, que la vapeur métallique est ici très pure; au lieu que, dans toute opération semblable qu'on voudrait faire avec le feu commun, la vapeur métallique serait nécessairement mêlée d'autres vapeurs provenant des matières combustibles qui servent d'aliment à ce feu.

D'ailleurs ce moyen est peut-être le seul que nous ayons pour volatiliser les métaux fixes, tels que l'or et l'argent; car je présume que cette vapeur que j'ai vue s'élever en si grande quantité de ces métaux échauffés au large foyer de mon miroir n'est pas de l'eau ni quelque autre liqueur, mais des parties mêmes du métal que la chaleur en détache en les volatilisant. On pourrait, en recevant ainsi les vapeurs pures des différents métaux, les mêler ensemble et faire par ce moyen des alliages plus intimes et plus purs qu'on ne l'a fait par la fusion et par la mixtion de ces mêmes métaux fondus, qui ne se marient jamais parfaitement à cause de l'inégalité de leur pesanteur spécifique et de plusieurs autres circonstances qui s'opposent à l'intimité et à l'égalité parfaite du mélange. Comme

(*a*) Plusieurs voyageurs m'ont écrit que les thermomètres à l'esprit-de-vin, de Réaumur, leur étaient devenus tout à fait inutiles, parce que cette liqueur se décolore et se charge d'une espèce de boue en assez peu de temps.

les parties constituantes de ces vapeurs métalliques sont dans un état de division bien plus grande que dans l'état de fusion, elles se joindraient et se réuniraient de bien plus près et plus facilement. Enfin on arriverait peut-être par ce moyen à la connaissance d'un fait général, et que plusieurs bonnes raisons me font soupçonner depuis longtemps, c'est qu'il y aurait pénétration dans tous les alliages faits de cette manière, et que leur pesanteur spécifique serait toujours plus grande que la somme des pesanteurs spécifiques des matières dont ils seraient composés : car la pénétration n'est qu'un degré plus grand d'intimité, et l'intimité, toutes choses égales d'ailleurs, sera d'autant plus grande que les matières seront dans un état de division plus parfaite.

En réfléchissant sur l'appareil des vaisseaux qu'il faudrait employer pour recevoir et recueillir ces vapeurs métalliques, il m'est venu une idée qui me paraît trop utile pour ne pas la publier : elle est aussi trop aisée à réaliser pour que les bons chimistes ne la saisissent pas ; je l'ai même communiquée à quelques-uns d'entre eux, qui m'en ont paru très satisfaits. Cette idée est de geler le mercure dans ce climat-ci, et avec un degré de froid beaucoup moindre que celui des expériences de Pétersbourg ou de Sibérie : il ne faut pour cela que recevoir la vapeur du mercure, qui est le mercure même volatilisé par une très médiocre chaleur dans une cucurbite ou dans un vase auquel on donnera un certain degré de froid artificiel : ce mercure en vapeur, c'est-à-dire extrêmement divisé, offrira à l'action de ce froid des surfaces si grandes et des masses si petites, qu'au lieu de 187 degrés de froid qu'il faut pour geler le mercure en masse, il n'en faudrait peut-être que 18 ou 20 degrés, peut-être même moins, pour le geler en vapeurs. Je recommande cette expérience importante à tous ceux qui travaillent de bonne foi à l'avancement des sciences.

Je pourrais ajouter à ces usages principaux du miroir d'Archimède plusieurs autres usages particuliers, mais j'ai cru devoir me borner à ceux qui m'ont paru les plus utiles et les moins difficiles à réduire en pratique. Néanmoins je crois devoir joindre ici quelques expériences que j'ai faites sur la transmission de la lumière à travers les corps transparents, et donner en même temps quelques idées nouvelles sur les moyens d'apercevoir de loin les objets à l'œil simple, ou par le moyen d'un miroir semblable à celui dont les anciens ont parlé, par l'effet duquel on apercevait du port d'Alexandrie les vaisseaux d'aussi loin que la courbure de la terre pouvait le permettre.

Tous les physiciens savent aujourd'hui qu'il y a trois causes qui empêchent la lumière de se réunir dans un point lorsque ses rayons ont traversé le verre objectif d'une lunette ordinaire. La première est la courbure sphérique de ce verre qui répand une partie des rayons dans un espace terminé par une courbe. La seconde est l'angle sous lequel nous paraît à l'œil simple l'objet que nous observons, car la largeur du foyer de l'objectif a toujours à très peu près pour diamètre une ligne égale à la corde de l'arc qui mesure cet angle. La troisième est la différente réfrangibilité de la lumière, car les rayons les plus réfrangibles ne se rassemblent pas dans le même lieu où se rassemblent les rayons les moins réfrangibles.

On peut remédier à l'effet de la première cause en substituant, comme Descartes l'a proposé, des verres elliptiques ou hyperboliques aux verres sphériques. On remédie à l'effet de la seconde par le moyen d'un second verre placé au foyer de l'objectif, dont le diamètre est à peu près égal à la largeur de ce foyer, et dont la surface est travaillée sur une sphère d'un rayon fort court. On a trouvé de nos jours le moyen de remédier à la troisième en faisant des lunettes qu'on appelle *achromatiques*, et qui sont composées de deux sortes de verres qui dispersent différemment les rayons colorés, de manière que la dispersion de l'un est corrigée par la dispersion de l'autre, sans que la réfraction générale moyenne, qui constitue la lunette, soit anéantie. Une lunette de 3 pieds $\frac{1}{2}$ de longueur, faite sur ce principe, équivaut pour l'effet aux anciennes lunettes de 25 pieds de longueur.

Au reste, le remède à l'effet de la première cause est demeuré tout à fait inutile jusqu'à

ce jour, parce que l'effet de la dernière, étant beaucoup plus considérable, influe si fort sur l'effet total qu'on ne pouvait rien gagner à substituer des verres hyperboliques ou elliptiques à des verres sphériques, et que cette substitution ne pouvait devenir avantageuse que dans le cas où l'on pourrait trouver le moyen de corriger l'effet de la différente réfrangibilité des rayons de la lumière : il semble donc qu'aujourd'hui l'on ferait bien de combiner les deux moyens, et de substituer, dans les lunettes achromatiques, des verres elliptiques aux sphériques.

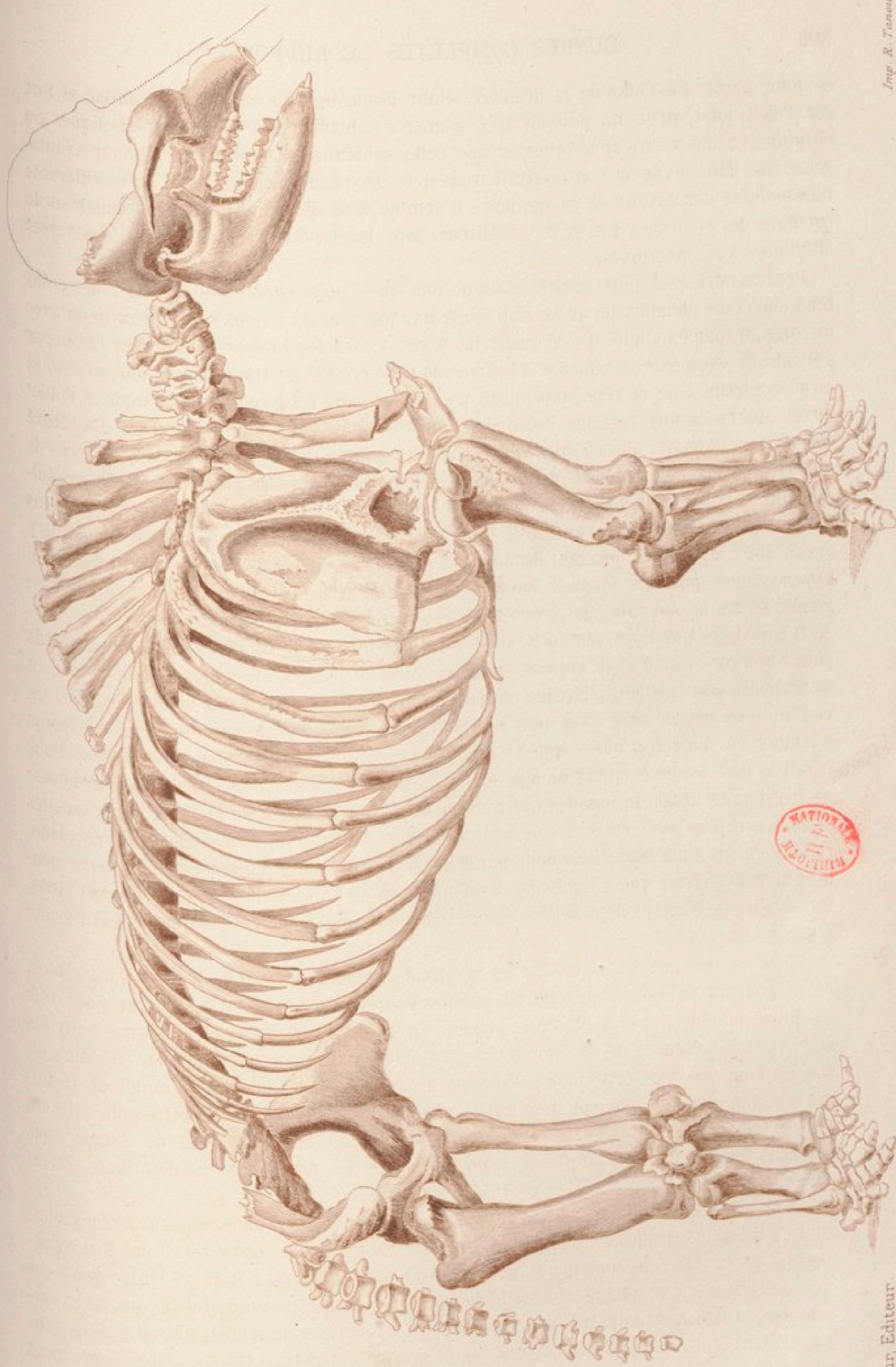
Pour rendre ceci plus sensible, supposons que l'objet qu'on observe soit un point lumineux sans étendue, tel qu'est une étoile fixe par rapport à nous : il est certain qu'avec un objectif, par exemple, de 30 pieds de foyer, toutes les images de ce point lumineux s'étendront en forme de courbe au foyer de ce verre s'il est travaillé par une sphère, et qu'au contraire elles se réuniront en un point si ce verre est hyperbolique; mais si l'objet qu'on observe a une certaine étendue, comme la lune, qui occupe environ $1/2$ degré d'espace à nos yeux, alors l'image de cet objet occupera un espace d'environ 3 pouces de diamètre au foyer de l'objectif de 30 pieds, et l'aberration causée par la sphéricité produisant une confusion dans un point lumineux quelconque, elle la produit de même sur tous les points lumineux du disque de la lune, et par conséquent la défigure en entier. Il y aurait donc, dans tous les cas, beaucoup d'avantage à se servir de verres elliptiques ou hyperboliques pour de longues lunettes, puisqu'on a trouvé le moyen de corriger en grande partie le mauvais effet produit par la différente réfrangibilité des rayons.

Il suit de ce que nous venons de dire, que, si l'on veut faire une lunette de 30 pieds pour observer la lune et la voir en entier, le verre oculaire doit avoir au moins 3 pouces de diamètre pour recueillir l'image entière que produit l'objectif à son foyer, et que, si on voulait observer cet astre avec une lunette de 60 pieds, l'oculaire doit avoir au moins 6 pouces de diamètre, parce que la corde de l'arc qui mesure l'angle sous lequel nous paraît la lune est dans ce cas de 3 pouces et de 6 pouces à peu près : aussi les astronomes ne font jamais usage de lunettes qui renferment le disque entier de la lune, parce qu'elles grossiraient trop peu; mais si on veut observer Vénus avec une lunette de 60 pieds, comme l'angle sous lequel elle nous paraît n'est que d'environ 60 secondes, le verre oculaire pourra n'avoir que 4 lignes de diamètre, et si on se sert d'un objectif de 120 pieds, un oculaire de 8 lignes de diamètre suffirait pour réunir l'image entière que l'objectif forme à son foyer.

De là on voit que, quand même les rayons de lumière seraient également réfrangibles, on ne pourrait pas faire d'aussi fortes lunettes pour voir la lune en entier que pour voir les autres planètes, et que plus une planète est petite à nos yeux, et plus nous pouvons augmenter la longueur de la lunette avec laquelle on peut la voir en entier. Dès lors on conçoit bien que dans cette même supposition des rayons également réfrangibles, il doit y avoir une certaine longueur déterminée plus avantageuse qu'aucune autre pour telle ou telle planète, et que cette longueur de la lunette dépend non seulement de l'angle sous lequel la planète paraît à notre œil, mais encore de la quantité de lumière dont elle est éclairée.

Dans les lunettes ordinaires, les rayons de la lumière étant différemment réfrangibles, tout ce qu'on pourrait faire dans cette vue pour les perfectionner ne serait pas fort avantageux, parce que sous quelque angle que paraisse à notre œil l'objet ou l'astre que nous voulons observer, et quelque intensité de lumière qu'il puisse avoir, les rayons ne se rassembleront jamais dans le même endroit : plus la lunette sera longue, plus il y aura d'intervalle (*a*) entre le foyer des rayons rouges et celui des rayons violets, et par conséquent plus sera confuse l'image de l'objet observé.

(*a*) Cet intervalle est de 1 pied sur 27 de foyer.



Imp. B. Tasseur.

SQUELETTE DE GRAND MASTODONTE.



A. Le Vasseur, Editeur.

The first part of the book is devoted to a general survey of the history of the United States from its origin to the present time. It is divided into three main periods: the colonial period, the revolutionary period, and the national period. The colonial period is characterized by the struggle for independence from Great Britain, which culminated in the American Revolution of 1776. The revolutionary period is marked by the establishment of a new form of government, the Constitution of 1787, and the early years of the new nation. The national period is characterized by the expansion of the United States across the continent, the development of a strong national identity, and the emergence of a powerful industrial and military power.

The second part of the book is devoted to a detailed study of the political and social development of the United States. It examines the role of the federal government, the growth of the states, and the influence of the courts. It also discusses the social and economic changes that have shaped the United States, including the rise of the industrial revolution, the growth of the middle class, and the emergence of the labor movement.

The third part of the book is devoted to a study of the foreign relations of the United States. It examines the role of the United States in the world, from its early years as a young nation to its emergence as a superpower in the twentieth century. It discusses the United States' involvement in the American Revolution, the War of 1812, the Mexican War, the Civil War, and the two world wars.

The fourth part of the book is devoted to a study of the culture and society of the United States. It examines the role of literature, art, and music in the development of the United States. It also discusses the influence of religion, education, and the media on the American way of life. The book concludes with a study of the current challenges facing the United States, including the issue of globalization, the environment, and the future of the nation.

The book is written in a clear and concise style, and is suitable for students of history and social sciences. It provides a comprehensive overview of the history of the United States, and is an excellent resource for anyone interested in the development of the American nation.

On ne peut donc perfectionner les lunettes par réfraction qu'en cherchant, comme on l'a fait, les moyens de corriger cet effet de la différente réfrangibilité, soit en composant la lunette de verres de différente densité, soit par d'autres moyens particuliers, et qui seraient différents selon les différents objets et les différentes circonstances : supposons, par exemple, une courte lunette composée de deux verres, l'un convexe et l'autre concave des deux côtés, il est certain que cette lunette peut se réduire à une autre, dont les deux verres soient plans d'un côté et travaillés de l'autre côté sur des sphères dont le rayon serait une fois plus court que celui des sphères sur lesquelles auraient été travaillés les verres de la première lunette. Maintenant, pour éviter une grande partie de l'effet de la différente réfrangibilité des rayons, on peut faire cette seconde lunette d'une seule pièce de verre massif, comme je l'ai fait exécuter avec deux morceaux de verre blanc, l'un de 2 pouces $\frac{1}{2}$ de longueur, et l'autre de 1 pouce $\frac{1}{2}$; mais alors la perte de la transparence est un plus grand inconvénient que celui de la différente réfrangibilité qu'on corrige par ce moyen; car ces deux petites lunettes massives de verre sont plus obscures qu'une petite lunette ordinaire du même verre et des mêmes dimensions : elles donnent à la vérité moins d'iris, mais elles n'en sont pas meilleures; et si on les faisait plus longues, toujours en verre massif, la lumière, après avoir traversé cette épaisseur de verre, n'aurait plus assez de force pour peindre l'image de l'objet à notre œil. Ainsi, pour faire des lunettes de 10 ou 30 pieds, je ne vois que l'eau qui ait assez de transparence pour laisser passer la lumière sans l'éteindre en entier dans cette grande épaisseur : en employant donc de l'eau pour remplir l'intervalle entre l'objectif et l'oculaire, on diminuera en partie l'effet de la différente réfrangibilité (a), parce que celle de l'eau approche plus de celle du verre que celle de l'air, et si on pouvait, en chargeant l'eau de différents sels, lui donner le même degré de puissance réfringente qu'au verre, il n'est pas douteux qu'on ne corrigéât davantage par ce moyen l'effet de la différente réfrangibilité des rayons. Il s'agirait donc d'employer une liqueur transparente qui aurait à peu près la même puissance réfrangible que le verre; car alors il sera sûr que les deux verres, avec cette liqueur entre-deux, corrigeront en partie l'effet de la différente réfrangibilité des rayons, de la même façon qu'elle est corrigée dans la petite lunette massive dont je viens de parler.

Suivant les expériences de M. Bouguer, une ligne d'épaisseur de verre détruit $\frac{2}{7}$ de la lumière, et par conséquent la diminution s'en ferait dans la proportion suivante :

Épaisseurs.	1,	2,	3,	4,	5,	6 lignes ;
Diminutions.	$\frac{2}{7}$,	$\frac{10}{49}$,	$\frac{50}{343}$,	$\frac{250}{2401}$,	$\frac{1250}{16807}$,	$\frac{6250}{117649}$,

en sorte que par la somme

de ces six termes on trouverait que la lumière qui passe à travers ces 6 lignes de verre, aurait déjà perdu $\frac{102024}{117649}$, c'est-à-dire environ le $\frac{10}{11}$ de sa quantité. Mais il faut considérer que M. Bouguer s'est servi de verres bien peu transparents, puisqu'il a vu que 1 ligne d'épaisseur de ces verres détruisait $\frac{2}{7}$ de la lumière. Par les expériences que j'ai faites sur différentes espèces de verre blanc, il m'a paru que la lumière diminuait beaucoup moins. Voici ces expériences, qui sont assez faciles à faire, et que tout le monde est en état de répéter.

(a) M. de Lalande, l'un de nos plus savants astronomes, après avoir lu cet article, a bien voulu me communiquer quelques remarques qui m'ont paru très justes et dont j'ai profité. Seulement je ne suis pas d'accord avec lui sur ces lunettes remplies d'eau : il croit qu'on diminuerait très peu la différente réfrangibilité, parce que l'eau disperse les rayons colorés d'une manière différente du verre, et qu'il y aurait des couleurs qui proviendraient de l'eau et d'autres du verre. Mais en se servant du verre le moins dense, et en augmentant par les sels la densité de l'eau, on rapprocherait de très près leur puissance réfractive.

Dans une chambre obscure dont les murs étaient noircis, qui me servait à faire des expériences d'optique, j'ai fait allumer une bougie de cinq à la livre : la chambre était fort vaste et la lumière de la bougie était la seule dont elle fût éclairée. J'ai d'abord cherché à quelle distance je pouvais lire un caractère d'impression, tel que celui de la *Gazette de Hollande*, à la lumière de cette bougie, et j'ai trouvé que je lisais assez facilement ce caractère à 24 pieds 4 pouces de distance de la bougie, Ensuite, ayant placé devant la bougie, à 2 pouces de distance, un morceau de verre provenant d'une glace de Saint-Gobain, réduite à 1 ligne d'épaisseur, j'ai trouvé que je lisais encore tout aussi facilement à 22 pieds 9 pouces, et, en substituant à cette glace de 1 ligne d'épaisseur un autre morceau de 2 lignes d'épaisseur et du même verre, j'ai lu aussi facilement à 21 pieds de distance de la bougie. Deux de ces mêmes glaces de 2 lignes d'épaisseur, jointes l'une contre l'autre et mises devant la bougie, en ont diminué la lumière au point que je n'ai pu lire avec la même facilité qu'à 17 pieds $\frac{1}{2}$ de distance de la bougie. Et enfin, avec trois glaces de 2 lignes d'épaisseur chacune, je n'ai lu qu'à la distance de 15 pieds. Or, la lumière de la bougie diminuant comme le carré de la distance augmente, sa diminution aurait été dans la progression suivante, s'il n'y avait point eu de glaces interposées :

$$\begin{array}{ccccc} \text{---}2 & \text{---}2 & \text{---}2 & \text{---}2 & \text{---}2 \\ 24 \frac{1}{3}. & 22 \frac{3}{4}. & 21. & 17 \frac{1}{2}. & 15. \text{ ou} \\ 592 \frac{1}{9}. & 517 \frac{9}{16}. & 441. & 306 \frac{1}{4}. & 225. \end{array}$$

Donc les pertes de la lumière, par l'interposition de glaces, sont dans la progression suivante : $84 \frac{79}{144}$. 151. $285 \frac{7}{9}$. $367 \frac{1}{4}$.

D'où l'on doit conclure que 1 ligne d'épaisseur de ce verre ne diminue la lumière que de $\frac{84}{592}$ ou d'environ $\frac{1}{7}$; que 2 lignes d'épaisseur la diminuent de $\frac{151}{592}$, pas tout à fait de $\frac{1}{4}$; et trois glaces de 2 lignes de $\frac{367}{592}$, c'est-à-dire moins de $\frac{2}{3}$.

Comme ce résultat est très différent de celui de celui de M. Bouguer, et que néanmoins je n'avais garde de douter de la vérité de ses expériences, je répétai les miennes en me servant de verre à vitre commun; je choisis des morceaux d'une épaisseur égale, de $\frac{3}{4}$ de ligne chacun. Ayant lu de même à 24 pieds 4 pouces de distance de la bougie, l'interposition d'un de ces morceaux de verre me fit rapprocher à 21 pieds $\frac{1}{2}$; avec deux morceaux interposés et appliqués l'un sur l'autre, je ne pouvais plus lire qu'à 18 pieds $\frac{1}{4}$, et avec trois morceaux à 16 pieds; ce qui, comme l'on voit, se rapproche de la détermination de M. Bouguer; car la perte de la lumière, en traversant ce verre de $\frac{3}{4}$ de ligne, étant ici de $592 \frac{1}{4} - 462 \frac{1}{4} = 130$, le résultat $\frac{130}{392} \frac{1}{4}$ ou $\frac{65}{299}$, ne s'éloigne pas beaucoup de $\frac{3}{14}$, à quoi l'on doit réduire les $\frac{2}{7}$ donnés par M. Bouguer pour une ligne d'épaisseur, parce que mes verres n'avaient que $\frac{3}{4}$ de ligne, car $3 : 14 :: 65 : 303 \frac{1}{3}$, terme qui ne diffère pas beaucoup de 296.

Mais avec du verre communément appelé *verre de Bohême*, j'ai trouvé, par les mêmes essais, que la lumière ne perdait qu'un huitième en traversant une épaisseur de 1 ligne, et quelle diminuait dans la progression suivante :

$$\begin{array}{cccccc} \text{Épaisseurs.} & \dots & 1, & 2, & 3, & 4, & 5, & 6. & \dots & n. \\ \text{Diminutions.} & \dots & \frac{1}{8} & \frac{7}{64} & \frac{49}{512} & \frac{343}{4096} & \frac{2401}{32768} & \frac{16807}{262144} & & \\ & & \text{---}0 & \text{---}1 & \text{---}2 & \text{---}3 & \text{---}4 & \text{---}5 & & n-1 \\ \text{ou} & \dots & \frac{7}{8^1} & \frac{7}{8^2} & \frac{7}{8^3} & \frac{7}{8^4} & \frac{7}{8^5} & \frac{7}{8^6} & \dots & \frac{7}{8^n} \end{array}$$

Prenant la somme de ces termes, on aura le total de la diminution de la lumière à travers une épaisseur de verre d'un nombre donné de lignes; par exemple, la somme des six premiers termes est $\frac{144495}{262144}$. Donc la lumière ne diminue que d'un peu plus de moitié

en traversant une épaisseur de 6 lignes de verre de Bohême, et elle en perdrait encore moins si, au lieu de trois morceaux de 2 lignes appliqués l'un sur l'autre, elle n'avait à traverser qu'un seul morceau de 6 lignes d'épaisseur.

Avec le verre que j'ai fait fondre en masse épaisse, j'ai vu que la lumière ne perdait pas plus à travers 4 pouces $\frac{1}{2}$ d'épaisseur de ce verre qu'à travers une glace de Saint-Gobain de 2 lignes $\frac{1}{2}$ d'épaisseur : il me semble donc qu'on pourrait en conclure que la transparence de ce verre étant, à celle de la glace, comme 4 pouces $\frac{1}{2}$ sont à 2 lignes $\frac{1}{2}$, ou 54 à 2 $\frac{1}{2}$, c'est-à-dire plus de vingt et une fois plus grande, on pourrait faire de très bonnes petites lunettes massives de 5 ou 6 pouces de longueur avec ce verre.

Mais pour des lunettes longues, on ne peut employer que de l'eau, et encore est-il à craindre que le même inconvénient ne subsiste, car quelle sera l'opacité qui résultera de cette quantité de liqueur que je suppose remplir l'intervalle entre les deux verres ? Plus les lunettes seront longues et plus on perdra de lumière ; en sorte qu'il paraît au premier coup d'œil qu'on ne peut pas se servir de ce moyen, surtout pour les lunettes un peu longues ; car, en suivant ce que dit M. Bouguer dans son *Essai d'optique* sur la gradation de la lumière, 9 pieds 7 pouces d'eau de mer font diminuer la lumière dans le rapport de 14 à 5 ; ou, ce qui revient à peu près au même, supposons que 10 pieds d'épaisseur d'eau diminuent la lumière dans le rapport de 3 à 1, alors 20 pieds d'épaisseur d'eau la diminueront dans le rapport de 9 à 1 ; 30 pieds la diminueront dans celui de 27 à 1. etc. Il paraît donc qu'on ne pourrait se servir de ces longues lunettes pleines d'eau que pour observer le soleil, et que les autres astres n'auraient pas assez de lumière pour qu'il fût possible de les apercevoir à travers une épaisseur de 20 à 30 pieds de liqueur intermédiaire.

Cependant, si l'on fait attention qu'en ne donnant que 1 pouce ou 1 pouce $\frac{1}{2}$ d'ouverture à un objectif de 40 pieds, on ne laisse pas d'apercevoir très nettement les planettes dans les lunettes ordinaires de cette longueur, on doit penser qu'en donnant un plus grand diamètre à l'objectif, on augmenterait la quantité de lumière dans la raison du carré de ce diamètre, et par conséquent si un pouce d'ouverture suffit pour voir distinctement un astre dans une lunette ordinaire, $\sqrt{3}$ pouces d'ouverture, c'est-à-dire 21 lignes environ de diamètre suffiront pour qu'on le voie aussi distinctement à travers une épaisseur de 40 pieds d'eau ; et qu'avec un verre de 3 pouces de diamètre, on le verrait également à travers une épaisseur de 20 pieds d'eau ; qu'avec un verre de $\sqrt{27}$ ou 5 pouces $\frac{1}{4}$ de diamètre, on le verrait à travers une épaisseur de 30 pieds, et qu'il ne faudrait qu'un verre de 9 pouces de diamètre pour une lunette remplie de 40 pieds d'eau, et un verre de 27 pouces pour une lunette de 60 pieds.

Il semble donc qu'on pourrait, avec espérance de réussir, faire construire une lunette sur ces principes ; car en augmentant le diamètre de l'objectif, on regagne en partie la lumière que l'on perd par le défaut de transparence de la liqueur.

On ne doit pas craindre que les objectifs, quelque grands qu'ils soient, fassent une trop grande partie de la sphère sur laquelle ils seront travaillés, et que par cette raison les rayons de la lumière ne puissent se réunir exactement ; car en supposant même ces objectifs sept ou huit fois plus grands que je ne les ai déterminés, ils ne feraient pas encore à beaucoup près une assez grande partie de leur sphère pour ne pas réunir les rayons avec exactitude.

Mais ce qui ne me paraît pas douteux, c'est qu'une lunette construite de cette façon serait très utile pour observer le soleil ; car en la supposant même longue de 100 pieds, la lumière de cet astre ne serait encore que trop forte après avoir traversé cette épaisseur d'eau, et on observerait à loisir et aisément la surface de cet astre immédiatement, sans qu'il fût nécessaire de se servir de verres enfumés ou d'en recevoir l'image sur un carton, avantage qu'aucune autre espèce de lunette ne peut avoir.

Il y aurait seulement quelque petite différence dans la construction de cette lunette solaire, si l'on veut qu'elle nous présente la face entière du soleil, car en la supposant longue de 100 pieds, il faudra dans ce cas que le verre oculaire ait au moins 10 pouces de diamètre, parce que le soleil occupant plus de $1/2$ degré céleste, l'image formée par l'objectif à son foyer à 100 pieds, aura au moins cette longueur de 10 pouces, et que, pour la réunir tout entière, il faudra un oculaire de cette largeur auquel on ne donnerait que 20 pouces de foyer pour le rendre aussi fort qu'il se pourrait. Il faudrait aussi que l'objectif, ainsi que l'oculaire, eût 10 pouces de diamètre, afin que l'image de l'astre et l'image de l'ouverture de la lunette se trouvassent d'égale grandeur au foyer.

Quand même cette lunette que je propose ne servirait qu'à observer exactement le soleil, ce serait déjà beaucoup : il serait, par exemple, fort curieux de pouvoir reconnaître s'il y a dans cet astre des parties plus ou moins lumineuses que d'autres, s'il y a sur sa surface des inégalités, et de quelle espèce elles seraient, si les taches flottent sur sa surface (a), ou si elles y sont toutes constamment attachées, etc. La vivacité de sa lumière nous empêche de l'observer à l'œil simple, et la différente réfrangibilité de ses rayons rend son image confuse lorsqu'on la reçoit au foyer d'un objectif sur un carton : aussi la surface du soleil nous est-elle moins connue que celle des autres planètes. Cette différente réfrangibilité des rayons ne serait pas à beaucoup près entièrement corrigée dans cette longue lunette remplie d'eau ; mais si cette liqueur pouvait, par l'addition des sels, être rendue aussi dense que le verre, ce serait alors la même chose que s'il n'y avait qu'un seul verre à traverser, et il me semble qu'il y aurait plus d'avantage à se servir de ces lunettes remplies d'eau, que de lunettes ordinaires avec des verres enfumés.

Quoi qu'il en soit, il est certain qu'il faut, pour observer le soleil, une lunette bien différente de celles dont on doit se servir pour les autres astres, et il est encore très certain qu'il faut pour chaque planète une lunette particulière, et proportionnée à leur intensité de lumière, c'est-à-dire à la quantité réelle de lumière dont elles nous paraissent éclairées. Dans toutes les lunettes il faudrait donc l'objectif aussi grand, et l'oculaire aussi fort qu'il est possible, et en même temps proportionner la distance du foyer à l'intensité de la lumière de chaque planète. Par exemple, Vénus et Saturne sont deux planètes dont la lumière est fort différente : lorsqu'on les observe avec la même lunette on augmente également l'angle sous lequel on les voit ; dès lors la lumière totale de la planète paraît s'étendre sur toute sa surface d'autant plus qu'on la grossit davantage. Ainsi à mesure qu'on agrandit son image on la rend sombre, à peu près dans la proportion du carré de son diamètre : Saturne ne peut donc, sans devenir obscur, être observé avec une lunette aussi forte que Vénus. Si l'intensité de la lumière de celle-ci permet de la grossir cent ou deux cents fois avant de devenir sombre, l'autre ne souffrira peut-être pas la moitié ou le tiers de cette augmentation sans devenir tout à fait obscure. Il s'agit donc de faire une lunette pour chaque planète proportionnée à leur intensité de lumière ; et, pour le faire avec plus d'avantage, il me semble qu'il n'y faut employer qu'un objectif d'autant plus grand, et d'un foyer d'autant moins long que la planète a moins de lumière. Pourquoi jusqu'à ce jour n'a-t-on pas fait des objectifs de 2 et 3 pieds de diamètre ? L'aberration des rayons, causée par la sphéricité des verres, en est la seule cause ; elle produit

(a) M. de Lalande m'a fait sur ceci la remarque qui suit : « Il est constant, dit-il, qu'il n'y a sur le soleil que des taches qui changent de forme et disparaissent entièrement, mais qui ne changent point de place, si ce n'est par la rotation du soleil ; sa surface est très unie et homogène. » Ce savant astronome pouvait même ajouter que ce n'est que par le moyen de ces taches, toujours supposées fixes, qu'on a déterminé le temps de la révolution du soleil sur son axe : mais ce point d'astronomie physique ne me paraît pas encore absolument démontré ; car ces taches, qui toutes changent de figure, pourraient bien aussi quelquefois changer de lieu.

une confusion qui est comme le carré du diamètre de l'ouverture (*a*), et c'est par cette raison que les verres sphériques, qui sont très bons avec une petite ouverture, ne valent plus rien quand on l'augmente : on a plus de lumière, mais moins de distinction et de netteté. Néanmoins les verres sphériques larges sont très bons pour faire des lunettes de nuit ; les Anglais ont construit des lunettes de cette espèce, et ils s'en servent avec grand avantage pour voir de fort loin les vaisseaux dans une nuit obscure. Mais maintenant que l'on sait corriger en grande partie les effets de la différente réfrangibilité des rayons, il me semble qu'il faudrait s'attacher à faire des verres elliptiques ou hyperboliques qui ne produiraient pas cette aberration causée par la sphéricité, et qui par conséquent pourraient être trois ou quatre fois plus larges que les verres sphériques. Il n'y a que ce moyen d'augmenter à nos yeux la quantité de lumière que nous envoient les planètes, car nous ne pouvons pas porter sur les planètes une lumière additionnelle comme nous le faisons sur les objets que nous observons au microscope ; mais il faut au moins employer le plus avantageusement qu'il est possible la quantité de lumière dont elles sont éclairées, en la recevant sur une surface aussi grande qu'il se pourra. Cette lunette hyperbolique qui ne serait composée que d'un seul grand verre objectif et d'un oculaire proportionné, exigerait une matière de la plus grande transparence. On réunirait par moyen tous les avantages possibles, c'est-à-dire ceux des lunettes achromatiques à celui des lunettes elliptiques ou hyperboliques, et l'on mettrait à profit toute la quantité de lumière que chaque planète réfléchit à nos yeux. Je puis me tromper, mais ce que je propose me paraît assez fondé pour en recommander l'exécution aux personnes zélées pour l'avancement des sciences.

Me laissant aller à ces espèces de rêveries, dont quelques-unes néanmoins se réaliseront un jour, et que je ne publie que dans cette espérance, j'ai songé au miroir du port d'Alexandrie, dont quelques auteurs anciens ont parlé, et par le moyen duquel on voyait de très loin les vaisseaux en pleine mer. Le passage le plus positif qui me soit tombé sous les yeux est celui que je vais rapporter : « Alexandria in Pharo verò » erat speculum e ferro *sinico*, per quod a longè videbantur naves Græcorum advenientes ; paulò postquam Islamismus invaluit, scilicet tempore califatùs Walidi, filii » Abd-el-Melek, Christiani, fraude adhibitâ, illud deleverunt. » Abul-l-feda, etc. *Descriptio Ægypti*.

J'ai pensé : 1^o que ce miroir par lequel on voyait de loin les vaisseaux arriver n'était pas impossible ; 2^o que même, sans miroir ni lunette, on pourrait, par de certaines dispositions, obtenir le même effet, et voir depuis le port des vaisseaux peut-être d'aussi loin que la courbure de la terre le permet. Nous avons dit que les personnes qui ont bonne vue aperçoivent les objets éclairés par le soleil à plus de trois mille quatre cents fois leur diamètre, et en même temps nous avons remarqué que la lumière intermédiaire nuisait si fort à celle des objets éloignés qu'on apercevait la nuit un objet lumineux de dix, vingt et peut-être cent fois plus de distance qu'on le voit pendant le jour. Nous savons que du fond d'un puits très profond l'on voit les étoiles en plein jour (*b*) : pourquoi donc ne verrait-on pas de même les vaisseaux éclairés des rayons du soleil, en se mettant au fond d'une longue galerie fort obscure et située sur le bord de la mer, de manière qu'elle ne recevrait aucune lumière que celle de la mer lointaine et des vaisseaux qui pourraient s'y trouver ; cette galerie n'est qu'un puits horizontal qui ferait le même effet pour la vue des vaisseaux que le puits vertical pour la vue des étoiles ; et cela me paraît si simple, que je suis étonné qu'on n'y ait pas songé. Il me semble qu'en prenant, pour faire l'observation, les heures du jour où le soleil serait derrière la galerie, c'est-à-dire le temps où les

(*a*) Smith's *Optick*. Book II, cap. VII, art. 346.

(*b*) Aristote est, je crois, le premier qui ait fait mention de cette observation, et j'en ai cité le passage à l'article du *Sens de la vue*, t. II, p. 111, de cette Histoire naturelle.

vaisseaux seraient bien éclairés, on les verrait du fond de cette galerie obscure dix fois au moins mieux qu'on ne peut les voir en pleine lumière. Or, comme nous l'avons dit, on distingue aisément un homme ou un cheval à une lieue de distance lorsqu'ils sont éclairés des rayons du soleil; et, en supprimant la lumière intermédiaire qui nous environne et offusque nos yeux, nous les verrions au moins dix fois plus loin, c'est-à-dire à dix lieues : donc on verrait les vaisseaux, qui sont beaucoup plus gros, d'aussi loin que la courbure de la terre le permettrait (a), sans autre instrument que nos yeux.

Mais un miroir concave d'une assez grand diamètre et d'un foyer quelconque, placé au fond d'un long tuyau noirci, ferait pendant le jour à peu près le même effet que nos grands objectifs de même diamètre et de même foyer feraient pendant la nuit, et c'était probablement un de ces miroirs concaves d'acier poli (*e ferro sinico*) qu'on avait établi au port d'Alexandrie (b) pour voir de loin arriver les vaisseaux grecs. Au reste, si ce miroir d'acier ou de fer poli a réellement existé, comme il y a toute apparence, on ne peut refuser aux anciens la gloire de la première invention des télescopes, car ce miroir de métal poli ne pouvait avoir d'effet qu'autant que la lumière réfléchiée par sa surface était recueillie par un autre miroir concave placé à son foyer, et c'est en cela que consiste l'essence du télescope et la facilité de sa construction. Néanmoins, cela n'ôte rien à la gloire du grand Newton, qui, le premier, a ressuscité cette invention entièrement oubliée. Il paraît même que ce sont ses belles découvertes sur la différente réfrangibilité des rayons de la lumière qui l'ont conduit à celle du télescope. Comme les rayons de la lumière sont par leur nature différemment réfrangibles, il était fondé à croire qu'il n'y avait nul moyen de corriger cet effet; ou s'il a entrevu ces moyens, il les a jugés si difficiles qu'il a mieux aimé tourner ses vues d'un autre côté, et produire, par le moyen de la réflexion des rayons, les grands effets qu'il ne pouvait obtenir par leur réfraction. Il a donc fait construire son télescope, dont l'effet est réellement bien supérieur à celui des lunettes ordinaires; mais les lunettes achromatiques inventées de nos jours sont aussi supérieures au télescope qu'il l'est aux lunettes ordinaires. Le meilleur télescope est toujours sombre en comparaison de la lunette achromatique, et cette obscurité dans les télescopes ne vient pas seulement du défaut de poli ou de la couleur du métal des miroirs, mais de la nature même de la lumière, dont les rayons, différemment réfrangibles, sont aussi différemment réfléchissables, quoique en degrés beaucoup moins inégaux. Il reste donc, pour perfectionner les télescopes autant qu'ils peuvent l'être, à trouver le moyen de compenser cette différente réflexibilité, comme l'on a trouvé celui de compenser la différente réfrangibilité.

Après tout ce qui vient d'être dit, je crois qu'on sentira bien que l'on peut faire une très bonne lunette de jour sans employer ni verres ni miroirs, et simplement en supprimant la lumière environnante au moyen d'un tuyau de 150 ou 200 pieds de long, et en se plaçant dans un lieu obscur où aboutirait l'une des extrémités de ce tuyau : plus la lumière du jour serait vive, plus serait grand l'effet de cette lunette si simple et si facile à exécuter. Je suis persuadé qu'on verrait distinctement à quinze et peut-être vingt lieues les bâtiments et les arbres sur le haut des montagnes. La seule différence qu'il y ait entre

(a) La courbure de la terre pour 1 degré, ou 25 lieues de 2,283 toises, est de 2,988 pieds; elle croît comme le carré des distances : ainsi, pour 5 lieues, elle est vingt-cinq fois moindre, c'est-à-dire d'environ 120 pieds. Un vaisseau, qui a plus de 120 pieds de mâture, peut donc être vu de cinq lieues étant même au niveau de la mer; mais si l'on s'élevait de 120 pieds au-dessus du niveau de la mer, on verrait de cinq lieues le corps entier du vaisseau jusqu'à la ligne de l'eau, et, en s'élevant encore davantage, on pourrait apercevoir le haut des mâts de plus de dix lieues.

(b) De temps immémorial les Chinois et surtout les Japonais savent travailler et polir l'acier en grand et en petit volume, et c'est ce qui m'a fait penser qu'on doit interpréter *e ferro sinico* par acier poli.

ce long tuyau et la galerie obscure que j'ai proposée, c'est que le *champ*, c'est-à-dire l'espace vu, serait bien plus petit, et précisément dans la raison du carré de l'ouverture du tuyau à celle de la galerie.

ARTICLE TROISIÈME

INVENTION D'AUTRES MIROIRS POUR BRULER A DE MOINDRES DISTANCES.

I. — *Miroirs d'une seule pièce à foyer mobile.*

J'ai remarqué que le verre fait ressort, et qu'il peut plier jusqu'à un certain point; et comme, pour brûler à des distances un peu grandes, il ne faut qu'une légère courbure, et que toute courbure régulière y est à peu près également convenable, j'ai imaginé de prendre des glaces de miroir ordinaire de 1 pied $\frac{1}{2}$, de 2 pieds et 3 pieds de diamètre, de les faire arrondir et de les soutenir sur un cercle de fer bien égal et bien tourné, après avoir fait dans le centre de la glace un trou de 2 ou 3 lignes de diamètre pour y passer une vis (a) dont les pas sont très fins, et qui entre dans un petit écrou posé de l'autre côté de la glace. En serrant cette vis, j'ai courbé assez les glaces de 3 pieds pour brûler depuis 50 pieds jusqu'à 30, et les glaces de 18 pouces ont brûlé à 25 pieds; mais ayant répété plusieurs fois ces expériences, j'ai cassé les glaces de 3 pieds et de 2 pieds, et il ne m'en reste qu'une de 18 pouces, que j'ai gardée pour modèle de ce miroir (b).

ce qui fait casser ces glaces si aisément, c'est le trou qui est au milieu; elles se courberaient beaucoup plus sans rompre s'il n'y avait point de solution de continuité, et qu'on pût les presser également sur toute la surface: cela m'a conduit à imaginer de les faire courber par le poids même de l'atmosphère; et pour cela il ne faut que mettre une glace circulaire sur une espèce de tambour de fer ou de cuivre, et ajouter à ce tambour une pompe pour en tirer de l'air; on fera de cette manière courber la glace plus ou moins, et par conséquent elle brûlera à de plus ou moins grandes distances.

Il y aurait encore un autre moyen, ce serait d'ôter l'étamage dans le centre de la glace, de la largeur de 9 ou 10 lignes, façonner avec une molette cette partie du centre en portion de sphère, comme un verre convexe de 1 pouce de foyer, mettre dans le tambour une petite mèche soufrée; il arriverait que, quand on présenterait ce miroir au soleil, les rayons, transmis à travers cette partie du centre de la glace et réunis au foyer de 1 pouce allumeraient la mèche soufrée dans le tambour; cette mèche en brûlant absorberait de l'air, et par conséquent le poids de l'atmosphère ferait plier la glace plus ou moins, selon que la mèche soufrée brûlerait plus ou moins de temps. Ce miroir serait fort singulier, parce qu'il se courberait de lui-même à l'aspect du soleil sans qu'il fût nécessaire d'y toucher; mais l'usage n'en serait pas facile, et c'est pour cette raison que je ne l'ai pas fait exécuter, la seconde manière étant préférable à tous égards.

Ces miroirs d'une seule pièce à foyer mobile peuvent servir à mesurer plus exactement que par aucun autre moyen la différence des effets de la chaleur du soleil, reçue dans des

(a) Voyez les planches x, xi et xii.

(b) Ces glaces de 3 pieds ont mis le feu à des matières légères jusqu'à 50 pieds de distance, et alors elles n'avaient plié que de 1 ligne $\frac{5}{8}$; pour brûler à 40 pieds, il fallait les faire plier de 2 lignes; pour brûler à 30 pieds, de 2 lignes $\frac{3}{4}$, et c'est en voulant les faire brûler à 20 pieds qu'elles se sont cassées.

foyers plus ou moins grands. Nous avons vu que les grands foyers font toujours proportionnellement beaucoup plus d'effet que les petits, quoique l'intensité de chaleur soit égale dans les uns et les autres : on aurait ici, en contractant successivement les foyers, toujours une égale quantité de lumière ou de chaleur, mais dans des espaces successivement plus petits ; et, au moyen de cette quantité constante, on pourrait déterminer, par l'expérience, le minimum de l'espace du foyer, c'est-à-dire l'étendue nécessaire pour qu'avec la même quantité de lumière on eût le plus grand effet ; cela nous conduirait en même temps à une estimation plus précise de la déperdition de la chaleur dans les différentes substances, sous un même volume ou dans une égale étendue.

A cet usage près, il m'a paru que ces miroirs d'une seule pièce à foyer mobile étaient plus curieux qu'utiles : celui qui agit seul et se courbe à l'aspect du soleil est assez ingénieusement conçu pour avoir place dans un cabinet de physique.

II. — *Miroirs d'une seule pièce pour brûler très vivement à des distances médiocres et à de petites distances.*

J'ai cherché les moyens de courber régulièrement de grandes glaces ; et, après avoir fait construire deux fourneaux différents qui n'ont pas réussi, je suis parvenu à en faire un troisième (a), dans lequel j'ai courbé très régulièrement des glaces circulaires de 3, 4 et 4 pieds 1/2 de diamètre ; j'en ai même fait courber deux de 56 pouces, mais quelque précaution qu'on ait prise pour laisser refroidir lentement ces grandes glaces de 56 et 54 pouces de diamètre, et pour les manier doucement, elles se sont cassées en les appliquant sur les moules sphériques que j'avais fait construire pour leur donner la forme régulière et le poli nécessaire ; la même chose est arrivée à trois autres glaces de 48 et 50 pouces de diamètre, et je n'en ai conservé qu'une seule de 46 pouces et deux de 37 pouces. Les gens qui connaissent les arts n'en seront pas surpris ; ils savent que les grandes pièces de verre exigent des précautions infinies pour ne pas se fêler au sortir du fourneau, où on les laisse recuire et refroidir ; ils savent que plus elles sont minces et plus elles sont sujettes à se fendre non seulement par le premier coup de l'air, mais encore par ses impressions ultérieures. J'ai vu plusieurs de mes glaces courbées se fendre toutes seules au bout de trois, quatre et cinq mois, quoiqu'elles eussent résisté aux premières impressions de l'air et qu'on les eût placées sur des moules de plâtre bien séché, sur lesquels la surface concave de ces glaces portait également partout ; mais ce qui m'en a fait perdre un grand nombre, c'est le travail qu'il fallait faire pour leur donner une forme régulière. Ces glaces que j'ai achetées toutes polies à la manufacture du faubourg Saint-Antoine, quoique choisies parmi les plus épaisses, n'avaient que 5 lignes d'épaisseur : en les courbant, le feu leur faisait perdre en partie leur poli. Leur épaisseur, d'ailleurs, n'était pas bien égale partout ; et néanmoins il était nécessaire, pour l'objet auquel je les destinais, de rendre les deux surfaces concave et convexe parfaitement concentriques, et par conséquent de les travailler avec des molettes convexes dans des moules creux, et des molettes concaves sur des moules convexes. De vingt-quatre glaces que j'avais courbées, et dont j'en avais livré quinze à feu M. Passessant pour les faire travailler par ses ouvriers, je n'en ai conservé que trois : toutes les autres, dont les moindres avaient au moins 3 pieds de diamètre, se sont cassées, soit avant d'être travaillées, soit après. De ces trois glaces que j'ai sauvées, l'une a 46 pouces de diamètre, et les deux autres 37 pouces ; elles étaient bien travaillées, leurs surfaces bien concentriques, et par conséquent l'épaisseur bien égale ; il ne s'agissait plus que de les étamer sur leur surface convexe, et je fis pour cela plusieurs essais et un assez grand nombre d'expériences qui ne me réussirent point.

(a) Voyez les planches I, II, III, IV, V et VI.

M. de Bernières, beaucoup plus habile que moi dans cet art de l'étamage, vint à mon secours, et me rendit en effet deux de mes glaces étamées : j'eus l'honneur d'en présenter au Roi la plus grande, c'est-à-dire celle de 46 pouces, et de faire devant Sa Majesté les expériences de la force de ce miroir ardent qui fond aisément tous les métaux ; on l'a déposé au château de la Muette, dans un cabinet qui est sous la direction du Père Noël ; c'est certainement le plus fort miroir ardent qu'il y ait en Europe (a). J'ai déposé au Jardin du Roi, dans le Cabinet d'Histoire naturelle, la glace de 37 pouces de diamètre, dont le foyer est beaucoup plus court que celui du miroir de 46 pouces. Je n'ai pas encore eu le temps d'essayer la force de ce second miroir, que je crois aussi très bon. Je fis, dans le temps, quelques expériences au château de la Muette sur la lumière de la lune, reçue par le miroir de 46 pouces, et réfléchi sur un thermomètre très sensible ; je crus d'abord m'apercevoir de quelque mouvement, mais cet effet ne se soutint pas, et depuis je n'ai pas eu occasion de répéter l'expérience. Je ne sais même si l'on obtiendrait un degré de chaleur sensible en réunissant les foyers de plusieurs miroirs, et les faisant tomber ensemble sur un thermomètre aplati et noirci ; car il se peut que la lune nous envoie du froid plutôt que du chaud, comme nous l'expliquerons ailleurs. Du reste, ces miroirs sont supérieurs à tous les miroirs de réflexion dont on avait connaissance : ils servent aussi à voir en grand les petits tableaux, et à distinguer toutes les beautés et tous les défauts ; et si on en fait étamer de pareils dans leur concavité, ce qui serait bien plus aisé que sur la convexité, ils serviraient à voir les plafonds et autres peintures qui sont trop grandes et trop perpendiculaires sur la tête pour pouvoir être regardées aisément.

Mais ces miroirs ont l'inconvénient commun à tous les miroirs de ce genre, qui est de brûler en haut, ce qui fait qu'on ne peut travailler de suite à leur foyer, et qu'ils deviennent presque inutiles pour toutes les expériences qui demandent une longue action du feu et des opérations suivies. Néanmoins, en recevant d'abord les rayons du soleil sur une glace plane de 4 pieds $\frac{1}{2}$ de hauteur et d'autant de largeur qui les réfléchit contre ces miroirs concaves, ils sont assez puissants pour que cette perte, qui est de la moitié de la chaleur, ne les empêche pas de brûler très vivement à leur foyer, qui par ce moyen se trouve en bas comme celui des miroirs de réfraction, et auquel par conséquent on pourrait travailler de suite et avec une égale facilité. Seulement il serait nécessaire que la glace plane et le miroir concave fussent tous deux montés parallèlement sur un même support, où ils pourraient recevoir également les mêmes mouvements de direction et d'inclinaison, soit horizontalement, soit verticalement. L'effet que le miroir de 46 pouces de diamètre ferait en bas, n'étant que de moitié de celui qu'il produit en haut, c'est comme si la surface de ce miroir était réduite de moitié, c'est-à-dire comme s'il n'avait qu'un peu plus de 32 pouces de diamètre au lieu de 46 ; et cette dimension de 32 pouces de diamètre pour un foyer de 6 pieds ne laisse pas de donner une chaleur plus grande que celle des lentilles de Tschirnaüs ou du sieur Segard, dont je me suis autrefois servi, et qui sont les meilleures que l'on connaisse.

Enfin, par la réunion de ces deux miroirs, on aurait aux rayons du soleil une chaleur immense à leur foyer commun, surtout en le recevant en haut, qui ne serait diminuée que de moitié en le recevant en bas, et qui par conséquent serait beaucoup plus grande qu'aucune autre chaleur connue, et pourrait produire des effets dont nous n'avons aucune idée.

(a) On m'a dit que l'étamage de ce miroir, qui a été fait il y a plus de vingt ans, s'était gâté : il faudrait le remettre entre les mains de M. de Bernières, qui seul a le secret de cet étamage pour le bien réparer.

III. — *Lentilles ou Miroirs à l'eau.*

Au moyen des glaces courbées et travaillées régulièrement dans leur concavité et sur leur convexité, on peut faire un miroir réfringent, en joignant par opposition deux de ces glaces, et en remplissant d'eau tout l'espace qu'elles contiennent.

Dans cette vue, j'ai fait courber deux glaces de 37 pouces de diamètre, et les ai fait user de 8 ou 9 lignes sur les bords pour les bien joindre. Par ce moyen, l'on n'aura pas besoin de mastic pour empêcher l'eau de fuir.

Au zénith du miroir il faut pratiquer un petit goulot (*a*), par lequel on en remplira la capacité avec un entonnoir; et comme les vapeurs de l'eau échauffée par le soleil pourraient faire casser les glaces, on laissera ce goulot ouvert pour laisser échapper les vapeurs, et afin de tenir le miroir toujours absolument plein d'eau, on ajustera dans ce goulot une petite bouteille pleine d'eau, et cette bouteille finira elle-même en haut par un goulot étroit, afin que, dans les différentes inclinaisons du miroir, l'eau qu'elle contiendra ne puisse pas se répandre en trop grande quantité.

Cette lentille, composée de deux glaces de 37 pouces, chacune de 2 pieds $\frac{1}{2}$ de foyer, brûlerait à 5 pieds, si elle était de verre; mais l'eau ayant une moindre réfraction que le verre, le foyer sera plus éloigné; il ne laissera pas néanmoins de brûler vivement. J'ai supputé qu'à la distance de 5 pieds $\frac{1}{2}$, cette lentille à l'eau produirait au moins deux fois autant de chaleur que la lentille du Palais-Royal, qui est de verre solide, et dont le foyer est à 12 pieds.

J'avais conservé une assez forte épaisseur aux glaces, afin que le poids de l'eau qu'elles devaient renfermer ne pût en altérer la courbure. On pourrait essayer de rendre l'eau plus réfringente, en y faisant fondre des sels: comme l'eau peut successivement fondre plusieurs sels, et s'en charger en plus grande quantité qu'elle ne se chargerait d'un seul sel, il faudrait en fondre de plusieurs espèces, et on rendrait par ce moyen la réfraction de l'eau plus approchante que celle du verre.

Tel était mon projet; mais, après avoir travaillé et ajusté ces glaces de 37 pouces, celle du dessous s'est cassée dès la première expérience, et comme il ne m'en restait qu'une, j'en ai fait le miroir concave de 37 pouces dont j'ai parlé dans l'article précédent.

Ces loupes, composées de deux glaces sphériquement courbées et remplies d'eau, brûleront en bas, et produiront de plus grands effets que les loupes de verre massif, parce que l'eau laisse passer plus aisément la lumière que le verre le plus transparent; mais l'exécution ne laisse pas d'en être difficile, et demande des attentions infinies. L'expérience m'a fait connaître qu'il fallait des glaces épaisses de 9 ou 8 lignes au moins, c'est-à-dire des glaces faites exprès, car on n'en coule point aux manufactures d'aussi épaisses à beaucoup près; toutes celles qui sont dans le commerce n'ont qu'environ moitié de cette épaisseur: il faut ensuite courber ces glaces dans un fourneau pareil à celui dont j'ai donné la figure, planche I et suivantes; avoir attention de bien sécher le fourneau, de ne pas presser le feu et d'employer au moins trente heures à l'opération. La glace se ramollira et pliera par son poids sans se dissoudre, et s'affaissera sur le moule concave qui lui donnera sa forme: on la laissera recuire et refroidir par degrés dans ce fourneau, qu'on aura soin de boucher au moment qu'on aura vu la glace bien affaissée partout également. Deux jours après, lorsque le fourneau aura perdu toute sa chaleur, on en tirera la glace, qui ne sera que légèrement dépolie, on examinera avec un grand compas courbe si son épaisseur est à peu près égale partout, et si cela n'était pas et qu'il y eût dans de certaines parties de la glace une inégalité sensible, on commencera par l'atténuer avec une

(a) Voyez la planche XII.

molette de même sphère que la courbure de la glace. On commencera de travailler de même les deux surfaces concave et convexe, qu'il faut rendre parfaitement concentriques, en sorte que la glace ait partout exactement la même épaisseur. Et pour parvenir à cette précision, qui est absolument nécessaire, il faudra faire courber de plus petites glaces de 2 ou 3 pieds de diamètre, en observant de faire ces petits moules sur un rayon de 4 ou 5 lignes plus long que ceux du foyer de la grande glace : par ce moyen on aura des glaces courbées dont on se servira, au lieu de molettes, pour travailler les deux surfaces concave et convexe, ce qui avancera beaucoup le travail; car ces petites glaces, en frottant contre la grande, l'useront et s'useront également; et comme leur courbure est plus forte de 4 lignes, c'est-à-dire de moitié de l'épaisseur de la grande glace, le travail de ces petites glaces, tant au dedans qu'au dehors, rendra concentriques les deux surfaces de la grande glace aussi précisément qu'il est possible. C'est là le point le plus difficile, et j'ai souvent vu que pour l'obtenir on était obligé d'user la glace de plus de 1 ligne $\frac{1}{2}$ sur chaque surface, ce qui la rendait trop mince, et dès lors inutile. du moins pour notre objet. Ma glace de 37 pouces, que le poids de l'eau, joint à la chaleur du soleil, a fait casser, avait néanmoins, toute travaillée, plus de 3 lignes $\frac{1}{2}$ d'épaisseur, et c'est pour cela que je recommande de les tenir encore plus épaisses.

J'ai observé que ces glaces courbées sont plus cassantes que les glaces ordinaires : la seconde fusion ou demi-fusion que le verre éprouve pour se courber est peut-être la cause de cet effet, d'autant que, pour prendre la forme sphérique, il est nécessaire qu'il s'étende inégalement dans chacune de ses parties, et que leur adhérence entre elles change dans des proportions inégales, et même différentes, pour chaque point de la courbe, relativement au plan horizontal de la glace, qui s'abaisse successivement pour prendre la courbure sphérique.

En général, le verre a du ressort et peut plier sans se casser d'environ 1 pouce par pied, surtout quand il est mince; je l'ai même éprouvé sur des glaces de 2 et 3 lignes d'épaisseur et de 5 pieds de hauteur. On peut les faire plier de plus de 4 pouces sans les rompre, surtout en ne les comprimant qu'en un sens; mais si on les courbe en deux sens à la fois, comme pour produire une surface sphérique, elles cassent à moins de $\frac{1}{2}$ pouce par pied sous cette double flexion : la glace inférieure de ces lentilles à l'eau obéissant donc à la pression causée par le poids de l'eau, elle cassera ou prendra une plus forte courbure, à moins qu'elle ne soit fort épaisse ou qu'elle ne soit soutenue par une croix de fer, ce qui fait ombre au foyer et rend désagréable l'aspect de ce miroir. D'ailleurs le foyer de ces lentilles à l'eau n'est jamais franc, ni bien terminé, ni réduit à sa plus petite étendue : les différentes réfractions que souffre la lumière en passant du verre dans l'eau, et de l'eau dans le verre, causent une aberration des rayons beaucoup plus grande qu'elle ne l'est par une réfraction simple dans les loupes de verre massif. Tous ces inconvénients m'ont fait tourner mes vues sur les moyens de perfectionner les lentilles de verre, et je crois avoir enfin trouvé tout ce qu'on peut faire de mieux en ce genre, comme je l'expliquerai dans les paragraphes suivants.

Avant de quitter les lentilles à l'eau, je crois devoir encore proposer un moyen de construction nouvelle qui serait sujette à moins d'inconvénients, et dont l'exécution serait assez facile. Au lieu de courber, travailler et polir de grandes glaces de 4 ou 5 pieds de diamètre, il ne faudrait que de petits morceaux carrés de 2 pouces, qui ne coûteraient presque rien, et les placer dans un châssis de fer traversé de verges minces de ce même métal, et ajustées comme les vitres en plomb; ce châssis et ces verges de fer, auxquelles on donnerait la courbure sphérique, et 4 pieds de diamètre, contiendraient chacun trois cent quarante-six de ces petits morceaux de 2 pouces, et en laissant quarante-six pour l'équivalent de l'espace que prendraient les verges de fer, il y aurait toujours trois cents disques du soleil qui coïncideraient au même foyer que je suppose à 10 pieds :

chaque morceau laisserait passer un disque de 2 pouces de diamètre, auquel, ajoutant la lumière des parties du carré circonscrit à ce cercle de 2 pouces de diamètre, le foyer n'aurait à 10 pieds que 2 pouces $\frac{1}{2}$ ou 2 pouces $\frac{3}{4}$ si la monture de ces petites glaces était régulièrement exécutée. Or, en diminuant la perte que souffre la lumière en passant à travers l'eau et les doubles verres qui la contiennent, et qui serait ici à peu près de moitié, on aurait encore au foyer de ce miroir, tout composé de facettes planes, une chaleur cent cinquante fois plus grande que celle du soleil. Cette construction ne serait pas chère, et je n'y vois d'autre inconvénient que la fuite de l'eau qui pourrait percer par les joints des verges de fer qui soutiendraient les petits trapèzes de verre ; il faudrait prévenir cet inconvénient en pratiquant de petites rainures de chaque côté dans ces verges et enduire ces rainures de mastic ordinaire des vitriers, qui est impénétrable à l'eau.

IV. — Lentilles de verre solide.

J'ai vu dans ces lentilles, celle du Palais-Royal et celle du sieur Segard : toutes deux ont été tirées d'une masse de verre d'Allemagne, qui est beaucoup plus transparent que le verre de nos glaces de miroirs. Mais personne ne sait en France fondre le verre en larges masses épaisses, et la composition d'un verre transparent comme celui de Bohême, n'est connue que depuis peu d'années.

J'ai donc d'abord cherché les moyens de fondre le verre en masses épaisses, et j'ai fait en même temps différents essais pour avoir une matière bien transparente. M. de Romilly, qui dans ce temps était l'un des directeurs de la manufacture de Saint-Gobain, m'ayant aidé de ses conseils, nous fondimes deux masses de verre d'environ 7 pouces de diamètre sur 5 à 6 pouces d'épaisseur dans des creusets à un fourneau où l'on cuisait de la faïence au faubourg Saint-Antoine. Après avoir fait user et polir les deux surfaces de ces morceaux de verre pour les rendre parallèles, je trouvai qu'il n'y en avait qu'un des deux qui fût parfaitement net. Je livrai le second morceau, qui était le moins parfait, à des ouvriers qui ne laissèrent pas que d'en tirer d'assez bons prismes de toutes grosseurs, et j'ai gardé pendant plusieurs années le premier morceau, qui avait 4 pouces $\frac{1}{2}$ d'épaisseur et dont la transparence était telle qu'en posant ce verre de 4 pouces $\frac{1}{2}$ d'épaisseur sur un livre, on pouvait lire à travers très aisément les caractères les plus petits et les écritures de l'encre la plus blanche. Je comparai le degré de transparence de cette matière avec celle des glaces de Saint-Gobain, prises et réduites à différentes épaisseurs : un morceau de la matière de ces glaces de 2 pouces $\frac{1}{2}$ d'épaisseur sur environ 1 pied de longueur et de largeur, que M. de Romilly me procura, était vert comme du marbre vert, et l'on ne pouvait lire à travers ; il fallut le diminuer de plus de 1 pouce pour commencer à distinguer les caractères à travers son épaisseur, et enfin le réduire à 2 lignes $\frac{1}{2}$ d'épaisseur pour que sa transparence fût égale à celle de mon morceau de 4 pouces $\frac{1}{2}$ d'épaisseur ; car on voyait aussi clairement les caractères du livre à travers ces 4 pouces $\frac{1}{2}$, qu'à travers la glace qui n'avait que 2 lignes $\frac{1}{2}$. Voici la composition de ce verre (*) dont la transparence est si grande :

Sable blanc cristallin, une livre.
 Minium ou chaux de plomb, une livre.
 Potasse, une demi-livre.
 Salpêtre, une demi-once.
 Le tout mêlé et mis au feu suivant l'art.

J'ai donné à M. Cassini de Thury ce morceau de verre, dont on pouvait espérer de

(*) Ce verre est celui que l'on désigne sous le nom de cristal.

faire d'excellents verres de lunette achromatique, tant à cause de sa très grande transparence que de sa force réfringente, qui était très considérable, vu la quantité de plomb qui était entrée dans sa composition; mais M. de Thury ayant confié ce beau morceau de verre à des ouvriers ignorants, ils l'ont gâté au feu où ils l'ont remis mal à propos; je me suis repenti de ne l'avoir pas fait travailler moi-même, car il ne s'agissait que de le trancher en lames, et la matière en était encore plus transparente et plus nette que celle *flint-glass* d'Angleterre, et elle avait plus de force de réfraction.

Avec 600 livres de cette même composition, je voulais faire une lentille de 26 ou 27 pouces de diamètre et de 5 pieds de foyer. J'espérais pouvoir la fondre dans mon fourneau, dont à cet effet j'avais fait changer la disposition intérieure; mais je reconnus bientôt que cela n'était possible que dans les plus grands fourneaux de verrerie: il me fallait une masse de 3 pouces d'épaisseur sur 27 ou 28 pouces de diamètre, ce qui fait environ 1 pied cube de verre; je demandai la liberté de la faire couler à mes frais à la manufacture de Saint-Gobain, mais les administrateurs de cet établissement ne voulurent pas me le permettre, et la lentille n'a pas été faite. J'avais supputé que la chaleur de cette lentille de 27 pouces serait à celle de la lentille du Palais-Royal, comme 19 sont à 6; ce qui est un très grand effet, attendu la petitesse du diamètre de cette lentille, qui aurait eu 11 pouces de moins que celle du Palais-Royal.

Cette lentille, dont l'épaisseur au point du milieu ne laisse pas d'être considérable, est néanmoins ce qu'on peut faire de mieux pour brûler à 5 pieds: on pourrait même en augmenter le diamètre; car je suis persuadé qu'on pourrait fondre et couler également des pièces plus larges et plus épaisses dans les fourneaux où l'on fond les grandes glaces, soit à Saint-Gobain, soit à Rouelle en Bourgogne: j'observe seulement ici qu'on perdrait plus par l'augmentation de l'épaisseur qu'on ne gagnerait par celle de la surface du miroir, et que c'est pour cela que, tout compensé, je m'étais borné à 26 ou 27 pouces.

Newton a fait voir que, quand les rayons de lumière tombaient sur le verre sous un angle de plus de 47 ou 48 degrés, ils sont réfléchis au lieu d'être réfractés: on ne peut donc pas donner à un miroir réfringent un diamètre plus grand que la corde d'un arc de 47 ou 48 degrés de la sphère sur laquelle il a été travaillé; ainsi dans le cas présent, pour brûler à 5 pieds, la sphère ayant environ 32 pieds de circonférence, le miroir ne peut avoir qu'un peu plus de 4 pieds de diamètre; mais, dans ce cas, il aurait le double d'épaisseur de ma lentille de 26 pouces, et d'ailleurs les rayons trop obliques ne se réunissent jamais bien.

Ces loupes de verre solide sont, de tous les miroirs que je viens de proposer, les plus commodes, les plus solides, les moins sujets à se gâter, et même les plus puissants lorsqu'ils sont bien transparents, bien travaillés, et que leur diamètre est bien proportionné à la distance de leur foyer. Si l'on veut donc se procurer une loupe de cette espèce, il faut combiner ces différents objets, et ne lui donner, comme je l'ai dit, que 27 pouces de diamètre pour brûler à 5 pieds, qui est une distance commode pour travailler de suite et fort à l'aise au foyer. Plus le verre sera transparent et pesant, plus seront grands les effets; la lumière passera en plus grande quantité en raison de la transparence, et sera d'autant moins dispersée, d'autant moins réfléchie, et par conséquent d'autant mieux saisie par le verre, et d'autant plus réfractée qu'il sera plus massif, c'est-à-dire spécifiquement plus pesant: ce sera donc un avantage que de faire entrer dans la composition de ce verre une grande quantité de plomb; et c'est par cette raison que j'en ai mis moitié, c'est-à-dire autant de minium que de sable. Mais, quelque transparent que soit le verre de ces lentilles, leur épaisseur dans le milieu est non seulement un très grand obstacle à la transmission de la lumière, mais encore un empêchement aux moyens qu'on pourrait trouver pour fondre des masses aussi épaisses et aussi grandes qu'il le faudrait: par

exemple, pour une loupe de 4 pieds de diamètre, à laquelle on donnerait un foyer de 5 ou 6 pieds, qui est la distance la plus commode, et à laquelle la lumière, plongeant avec moins d'obliquité, aura plus de force qu'à de plus grandes distances, il faudrait fondre une masse de verre de 4 pieds sur 6 pouces $\frac{1}{2}$ ou 7 pouces d'épaisseur, parce qu'on est obligé de la travailler et de l'user même dans la partie la plus épaisse. Or, il serait très difficile de fondre et couler d'un seul jet ce gros volume, qui serait, comme l'on voit, de 5 ou 6 pieds cubes; car les plus amples cuvettes des manufactures de glaces ne contiennent pas 2 pieds cubes; les plus grandes glaces de 60 pouces sur 120, en leur supposant 5 lignes d'épaisseur, ne font qu'un volume d'environ 1 pied cube $\frac{3}{4}$: l'on sera donc forcé de se réduire à ce moindre volume, et à n'employer en effet que 1 pied cube $\frac{1}{2}$, ou tout au plus 1 pied cube $\frac{3}{4}$ de verre pour en former la loupe; et encore aura-t-on bien de la peine à obtenir des maîtres de ces manufactures de faire couler du verre à cette grande épaisseur, parce qu'ils craignent, avec quelque raison, que la chaleur trop grande de cette masse épaisse de verre ne fasse fendre ou boursouffler la table de cuivre sur laquelle on coule les glaces, lesquelles, n'ayant au plus que 5 lignes d'épaisseur (a), ne communiquent à la table qu'une chaleur très médiocre en comparaison de celle que lui ferait subir une masse de 6 pouces d'épaisseur.

V. — *Lentilles à échelons pour brûler avec la plus grande vivacité possible (b).*

Je viens de dire que les fortes épaisseurs qu'on est obligé de donner aux lentilles, lorsqu'elles ont un grand diamètre et un foyer court, nuisent beaucoup à leur effet: une lentille de 6 pouces d'épaisseur dans le milieu et de la matière des glaces ordinaires ne brûle, pour ainsi dire, que par les bords. Avec du verre plus transparent, l'effet sera plus grand; mais la partie du milieu reste toujours en pure perte, la lumière ne pouvant en pénétrer et traverser la trop grande épaisseur. J'ai rapporté les expériences que j'ai faites sur la diminution de la lumière qui passe à travers différentes épaisseurs du verre, et l'on a vu que cette diminution est très considérable: j'ai donc cherché les moyens de parer à cet inconvénient, et j'ai trouvé une manière simple et assez aisée de diminuer réellement les épaisseurs des lentilles autant qu'il me plaît, sans pour cela diminuer sensiblement leur diamètre et sans allonger leur foyer.

Ce moyen consiste à travailler ma pièce de verre par échelons. Supposons, pour me faire mieux entendre, que je veuille diminuer de deux pouces l'épaisseur d'une lentille de verre qui a 26 pouces de diamètre, 5 pieds de foyer et 3 pouces d'épaisseur au centre; je divise l'arc de cette lentille en trois parties, et je rapproche concentriquement chacune de ces portions d'arc, en sorte qu'il ne reste que 1 pouce d'épaisseur au centre; et je forme de chaque côté un échelon de $\frac{1}{2}$ pouce pour rapprocher de même les parties correspondantes: par ce moyen, en faisant un second échelon, j'arrive à l'extrémité du diamètre, et j'ai une lentille à échelons qui est à très peu près du même foyer, et qui a le même diamètre et près de deux fois moins d'épaisseur que la première, ce qui est un très grand avantage.

(a) On a néanmoins coulé à Saint-Gobain, et à ma prière, des glaces de 7 lignes, dont je me suis servi pour différentes expériences, il y a plus de vingt ans; j'ai remis dernièrement une de ces glaces de 38 pouces en carré et de 7 lignes d'épaisseur à M. de Bernières, qui a entrepris de faire des loupes à l'eau pour l'Académie des sciences, et j'ai vu chez lui des glaces de 10 lignes d'épaisseur qui ont été coulées de même à Saint-Gobain: cela doit faire présumer qu'on pourrait, sans aucun risque pour la table, en couler d'encore plus épaisses.

(b) Voyez les planches xiv, xv et xvi.

Si l'on vient à bout de fondre une pièce de verre de 4 pieds de diamètre sur 2 pouces $\frac{1}{2}$ d'épaisseur et de la travailler par échelons sur un foyer de 8 pieds, j'ai supputé qu'en laissant même 1 pouce $\frac{1}{2}$ d'épaisseur au centre de cette lentille et à la couronne intérieure des échelons, la chaleur de cette lentille sera à celle de la lentille du Palais-Royal comme 28 sont à 6, sans compter l'effet de la différence des épaisseurs, qui est très considérable et que je ne puis estimer d'avance.

Cette dernière espèce de miroir réfringent est tout ce qu'on peut faire de plus parfait en ce genre; et quand même nous le réduirions à 3 pieds de diamètre sur 15 lignes d'épaisseur au centre et 6 pieds de foyer, ce qui en rendra l'exécution moins difficile, on aurait toujours un degré de chaleur quatre fois au moins plus grand que celui des plus fortes lentilles que l'on connaisse. J'ose dire que ce miroir à échelons serait l'un des plus utiles instruments de physique; je l'ai imaginé il y a plus de vingt-cinq ans, et tous les savants auxquels j'en ai parlé désireraient qu'il fût exécuté. On en tirerait de grands avantages pour l'avancement des sciences; et y adaptant un héliomètre, on pourrait faire à son foyer toutes les opérations de la chimie aussi commodément qu'on le fait au feu des fourneaux, etc.

SEPTIÈME MÉMOIRE

OBSERVATIONS SUR LES COULEURS ACCIDENTELLES ET SUR LES OMBRES COLORÉES.

Quoiqu'on se soit beaucoup occupé, dans ces derniers temps, de la physique des couleurs, il ne paraît pas qu'on ait fait de grands progrès depuis Newton: ce n'est pas qu'il ait épuisé la matière, mais la plupart des physiciens ont plus travaillé à le combattre qu'à l'entendre, et, quoique ses principes soient clairs et ses expériences incontestables, il y a si peu de gens qui se soient donné la peine d'examiner à fond les rapports et l'ensemble de ses découvertes, que je ne crois pas devoir parler d'un nouveau genre de couleurs, sans avoir auparavant donné des idées nettes sur la production des couleurs en général.

Il y a plusieurs moyens de produire les couleurs: le premier est la réfraction. Un trait de lumière, qui passe à travers un prisme, se rompt et se divise de façon qu'il produit une image colorée, composée d'un nombre infini de couleurs; et les recherches qu'on a faites sur cette image colorée du soleil ont appris que la lumière de cet astre est l'assemblage d'une infinité de rayons de lumière différemment colorés; que ces rayons ont autant de différents degrés de réfrangibilité que de couleurs différentes, et que la même couleur a constamment le même degré de réfrangibilité. Tous les corps diaphanes dont les surfaces ne sont pas parallèles produisent des couleurs par la réfraction; l'ordre de ces couleurs est invariable, et leur nombre, quoique infini, a été réduit à sept dénominations principales, *violet, indigo, bleu, vert, jaune, orangé, rouge*: chacune de ces dénominations répond à un intervalle déterminé dans l'image colorée qui contient toutes les nuances de la couleur dénommée, de sorte que dans l'intervalle rouge on trouve toutes les nuances de rouge, dans l'intervalle jaune toutes les nuances de jaune, etc., et dans les confins de ces intervalles les couleurs intermédiaires qui ne sont ni jaunes ni rouges, etc. C'est par de bonnes raisons que Newton a fixé à sept le nombre des dénominations des couleurs: l'image colorée du soleil, qu'il appelle *le spectre solaire*, n'offre à la première vue que cinq couleurs, violet, bleu, vert, jaune et rouge; ce n'est encore qu'une décomposition impar-

faite de la lumière et une représentation confuse des couleurs. Comme cette image est composée d'une infinité de cercles différemment colorés qui répondent à autant de disques du soleil, et que ces cercles anticipent beaucoup les uns sur les autres, le milieu de tous ces cercles est l'endroit où le mélange des couleurs est le plus grand, et il n'y a que les côtés rectilignes de l'image où les couleurs soient pures; mais, comme elles sont en même temps très faibles, on a peine à les distinguer, et on se sert d'un autre moyen pour épurer les couleurs: c'est en rétrécissant l'image du disque du soleil, ce qui diminue l'anticipation des cercles colorés les uns sur les autres, et par conséquent le mélange des couleurs. Dans ce spectre de lumière épurée et homogène, on voit très bien les sept couleurs; on en voit même beaucoup plus de sept avec un peu d'art, car, en recevant successivement sur un fil blanc les différentes parties de ce spectre de lumière épurée, j'ai compté souvent jusqu'à dix-huit ou vingt couleurs dont la différence était sensible à mes yeux. Avec de meilleurs organes ou plus d'attention, on pourrait encore en compter davantage: cela n'empêche pas qu'on ne doive fixer le nombre de leurs dénominations à sept, ni plus ni moins; et cela par une raison bien fondée, c'est qu'en divisant le spectre de lumière épurée en sept intervalles, et suivant la proportion donnée par Newton, chacun de ces intervalles contient des couleurs qui, quoique prises toutes ensemble, sont indécomposables par le prisme et par quelque art que ce soit; ce qui leur a fait donner le nom de *couleurs primitives*. Si, au lieu de diviser le spectre en sept, on ne le divise qu'en six, ou cinq, ou quatre, ou trois intervalles, alors les couleurs contenues dans chacun de ces intervalles se décomposent par le prisme, et par conséquent ces couleurs ne sont pas pures, et ne doivent pas être regardées comme couleurs primitives. On ne peut donc pas réduire les couleurs primitives à moins de sept dénominations, et on ne doit pas en admettre un plus grand nombre, parce qu'alors on diviserait inutilement les intervalles en deux ou plusieurs parties, dont les couleurs seraient de la même nature, et ce serait partager mal à propos une même espèce de couleur, et donner des noms différents à des choses semblables.

Il se trouve, par un hasard singulier, que l'étendue proportionnelle de ces sept intervalles de couleurs répond assez juste à l'étendue proportionnelle des sept tons de la musique, mais ce n'est qu'un hasard dont on ne doit tirer aucune conséquence: ces deux résultats sont indépendants l'un de l'autre, et il faut se livrer bien aveuglément à l'esprit de système pour prétendre, en vertu d'un rapport fortuit, soumettre l'œil et l'oreille à des lois communes, et traiter l'un de ces organes par les règles de l'autre, en imaginant qu'il est possible de faire un concert aux yeux ou un paysage aux oreilles.

Ces sept couleurs, produites par la réfraction, sont inaltérables et contiennent toutes les couleurs et toutes les nuances de couleurs qui sont au monde; les couleurs du prisme, celles des diamants, celles de l'arc-en-ciel, des images des halos, dépendent toutes de la réfraction, et en suivent exactement les lois.

La réfraction n'est cependant pas le seul moyen pour produire des couleurs: la lumière a de plus que sa qualité réfrangible d'autres propriétés qui, quoique dépendantes de la même cause générale, produisent des effets différents. De la même façon que la lumière se rompt et se divise en couleurs en passant d'un milieu dans un autre milieu transparent, elle se rompt aussi en passant auprès des surfaces d'un corps opaque: cette espèce de réfraction, qui se fait dans le même milieu, s'appelle *inflexion*, et les couleurs qu'elle produit sont les mêmes que celles de la réfraction ordinaire; les rayons violets, qui sont les plus réfrangibles, sont aussi les plus flexibles, et la frange colorée par l'inflexion de la lumière ne diffère du spectre coloré produit par la réfraction que dans la forme; et, si l'intensité des couleurs est différente, l'ordre en est le même, les propriétés toutes semblables, le nombre égal, la qualité primitive et inaltérable commune à toutes, soit dans la réfraction, soit dans l'inflexion, qui n'est en effet qu'une espèce de réfraction.

Mais le plus puissant moyen que la nature emploie pour produire des couleurs, c'est la réflexion (a) : toutes les couleurs matérielles en dépendent ; le vermillon n'est rouge que parce qu'il réfléchit abondamment les rayons rouges de la lumière, et qu'il absorbe les autres ; l'outre-mer ne paraît bleu que parce qu'il réfléchit fortement les rayons bleus, et qu'il reçoit dans ses pores tous les autres rayons qui s'y perdent (*). Il en est de même des autres couleurs des corps opaques et transparents ; la transparence dépend de l'uniformité de densité : lorsque les parties composantes d'un corps sont d'égale densité, de quelque figure que soient ces mêmes parties, le corps sera toujours transparent. Si l'on réduit un corps transparent à une fort petite épaisseur, cette plaque mince produira des

(a) J'avoue que je ne pense pas comme Newton, au sujet de la réflexibilité des différents rayons de la lumière. Sa définition de la réflexibilité n'est pas assez générale pour être satisfaisante : il est sûr que la plus grande facilité à être réfléchi est la même chose que la plus grande réflexibilité ; il faut que cette plus grande facilité soit générale pour tous les cas. Or, qui sait si le rayon violet se réfléchit le plus aisément dans tous les cas, à cause que dans un cas particulier il rentre plutôt dans le verre que les autres rayons ; la réflexion de la lumière suit les mêmes lois que le rebondissement de tous les corps à ressort ; de là on doit conclure que les particules de lumière sont élastiques, et par conséquent la réflexibilité de la lumière sera toujours proportionnelle à son ressort, et dès lors les rayons les plus réfléchibles seront ceux qui auront le plus de ressort, qualité difficile à mesurer dans la matière de la lumière, parce qu'on ne peut mesurer l'intensité d'un ressort que par la vitesse qu'il produit ; il faudrait donc, pour qu'il fût possible de faire une expérience sur cela, que les satellites de Jupiter fussent illuminés successivement par toutes les couleurs du prisme, pour reconnaître par leurs éclipses s'il y aurait plus ou moins de vitesse dans le mouvement de la lumière violette que dans le mouvement de la lumière rouge ; car ce n'est que par la comparaison de la vitesse de ces différents rayons qu'on peut savoir si l'un a plus de ressort que l'autre ou plus de réflexibilité. Mais on n'a jamais observé que les satellites, au moment de leur émergence, aient d'abord paru violets, et ensuite éclairés successivement de toutes les couleurs du prisme ; donc il est à présumer que les rayons de lumière ont à peu près tous un ressort égal, et par conséquent autant de réflexibilité. D'ailleurs le cas particulier où le violet paraît être plus réfléchible ne vient que de la réfraction, et ne paraît pas tenir à la réflexion : cela est aisé à démontrer. Newton a fait voir, à n'en pouvoir douter, que les rayons différents sont inégalement réfrangibles, que le rouge l'est le moins et le violet le plus de tous ; il n'est donc pas étonnant qu'à une certaine obliquité le rayon violet se trouvant, en sortant du prisme, plus oblique à la surface que tous les autres rayons, il soit le premier saisi par l'attraction du verre et contraint d'y rentrer, tandis que les autres rayons, dont l'obliquité est moindre, continuent leur route sans être assez attirés pour être obligés de rentrer dans le verre : ceci n'est donc pas, comme le prétend Newton, une vraie réflexion, c'est seulement une suite de réfraction. Il me semble qu'il ne devait donc pas assurer en général que les rayons les plus réfrangibles étaient les plus réfléchibles. Cela ne me paraît vrai qu'en prenant cette suite de la réfraction pour une réflexion, ce qui n'en est pas une ; car il est évident qu'une lumière qui tombe sur un miroir et qui en rejaille en formant un angle de réflexion égal à celui d'incidence est dans un cas bien différent de celui où elle se trouve au sortir d'un verre si oblique à la surface qu'elle est contrainte d'y rentrer : ces deux phénomènes n'ont rien de commun, et ne peuvent, à mon avis, s'expliquer par la même cause.

(*) Cela n'est pas tout à fait exact. Les corps qui nous paraissent rouges ne réfléchissent pas que les seuls rayons rouges ; ils réfléchissent encore en certaine quantité les autres rayons colorés, mais ils en absorbent la majeure partie, tandis qu'ils réfléchissent presque tous les rayons rouges. Notre œil reçoit donc de ces corps une quantité beaucoup plus considérable de rayons rouges que d'autres, ce qui fait que nous les voyons rouges. De même les corps bleus sont ceux qui renvoient à notre œil une grande quantité de rayons bleus, tandis qu'ils absorbent la majeure partie des autres rayons colorés.

couleurs dont l'ordre et les principales apparences sont fort différentes des phénomènes du spectre ou de la frange colorée : aussi ce n'est pas par la réfraction que ces couleurs sont produites, c'est par la réflexion. Les plaques minces des corps transparents, les bulles de savon, les plumes des oiseaux, etc., paraissent colorées parce qu'elles réfléchissent certains rayons et laissent passer ou absorbent les autres ; ces couleurs ont leurs lois et dépendent de l'épaisseur de la plaque mince : une certaine épaisseur produit constamment une certaine couleur ; toute autre épaisseur ne peut la produire, mais en produit une autre ; et lorsque cette épaisseur est diminuée à l'infini, en sorte qu'au lieu d'une plaque mince et transparente on n'a plus qu'une surface polie sur un corps opaque, ce poli, qu'on peut regarder comme le premier degré de la transparence, produit aussi des couleurs par la réflexion, qui ont encore d'autres lois ; car lorsqu'on laisse tomber un trait de lumière sur un miroir de métal, ce trait de lumière ne se réfléchit pas tout entier sous le même angle, il s'en disperse une partie qui produit des couleurs dont les phénomènes, aussi bien que ceux des plaques minces, n'ont pas encore été assez observés.

Toutes les couleurs dont je viens de parler sont naturelles et dépendent uniquement des propriétés de la lumière ; mais il en est d'autres qui me paraissent accidentelles et qui dépendent autant de notre organe que de l'action de la lumière. Lorsque l'œil est frappé ou pressé, on voit des couleurs dans l'obscurité ; lorsque cet organe est mal disposé ou fatigué, on voit encore des couleurs : c'est ce genre de couleurs que j'ai cru devoir appeler *couleurs accidentelles*, pour les distinguer des couleurs naturelles, et parce qu'en effet elles ne paraissent jamais que lorsque l'organe est forcé ou qu'il a été trop fortement ébranlé.

Personne n'a fait, avant le Dr Jurin (a), la moindre observation sur ce genre de couleurs ; cependant elles tiennent aux couleurs naturelles par plusieurs rapports, et j'ai découvert une suite de phénomènes singuliers sur cette matière, que je vais rapporter le plus succinctement qu'il me sera possible.

Lorsqu'on regarde fixement et longtemps une tache ou une figure rouge sur un fond blanc, comme un petit carré de papier rouge sur un papier blanc, on voit naître autour du petit carré rouge une espèce de couronne d'un vert faible : en cessant de regarder le carré rouge, si l'on porte l'œil sur le papier blanc, on voit très distinctement un carré de vert tendre, tirant un peu sur le bleu ; cette apparence subsiste plus ou moins longtemps, selon que l'impression de la couleur rouge a été plus ou moins forte. La grandeur du carré vert imaginaire est la même que celle du carré réel rouge, et ce vert ne s'évanouit qu'après que l'œil s'est rassuré et s'est porté successivement sur plusieurs autres objets dont les images détruisent l'impression trop forte causée par le rouge.

En regardant fixement et longtemps une tache jaune sur un fond blanc, on voit naître autour de la tache une couronne d'un bleu pâle, et en cessant de regarder la tache jaune et portant son œil sur un autre endroit du fond blanc, on voit distinctement une tache bleue de la même figure et de la même grandeur que la tache jaune, et cette apparence dure au moins aussi longtemps que l'apparence du vert produit par le rouge. Il m'a même paru, après avoir fait moi-même, et après avoir fait répéter cette expérience à d'autres dont les yeux étaient meilleurs et plus forts que les miens, que cette impression du jaune était plus forte que celle du rouge, et que la couleur bleue qu'elle produit s'effaçait plus difficilement et subsistait plus longtemps que la couleur verte produite par le rouge : ce qui semble prouver ce qu'a soupçonné Newton, que le jaune est de toutes les couleurs celle qui fatigue le plus nos yeux.

Si l'on regarde fixement et longtemps une tache verte sur un fond blanc, on voit

(a) *Essai upon distinct and indistinct vision*, p. 115 des notes sur l'Optique de Smith, t. II, imprimé à Cambridge en 1739.

naître autour de la tache verte une couleur blanchâtre, qui est à peine colorée d'une petite teinte de pourpre; mais, en cessant de regarder la tache verte et en portant l'œil sur un autre endroit du fond blanc, on voit distinctement une tache d'un pourpre pâle, semblable à la couleur d'une améthyste pâle: cette apparence est plus faible et ne dure pas, à beaucoup près, aussi longtemps que les couleurs bleues et vertes produites par le jaune et par le rouge.

De même en regardant fixement et longtemps une tache bleue sur un fond blanc, on voit naître autour de la tache bleue une couronne blanchâtre un peu teinte de rouge, et en cessant de regarder la tache bleue et portant l'œil sur le fond blanc, on voit une tache d'un rouge pâle, toujours de la même figure et de la même grandeur que la tache bleue, et cette apparence ne dure pas plus longtemps que l'apparence pourpre produite par la tache verte.

En regardant de même avec attention une tache noire sur un fond blanc, on voit naître autour de la tache noire une couronne d'un blanc vif; et cessant de regarder la tache noire et portant l'œil sur un autre endroit du fond blanc, on voit la figure de la tache exactement dessinée et d'un blanc beaucoup plus vif que celui du fond: ce blanc n'est pas mat, c'est un blanc brillant semblable au blanc du premier ordre des anneaux colorés décrits par Newton; et au contraire, si on regarde longtemps une tache blanche sur un fond noir, on voit la tache blanche se décolorer, et en portant l'œil sur un autre endroit du fond noir, on y voit une tache d'un noir plus vif que celui du fond.

Voilà donc une suite de couleurs accidentelles qui a des rapports avec la suite des couleurs naturelles: le rouge naturel produit le vert accidentel, le jaune produit le bleu, le vert produit le pourpre, le bleu produit le rouge, le noir produit le blanc, et le blanc produit le noir. Ces couleurs accidentelles n'existent que dans l'organe fatigué, puisqu'un autre œil ne les aperçoit pas: elles ont même une apparence qui les distingue des couleurs naturelles, c'est qu'elles sont tendres, brillantes, et qu'elles paraissent être à différentes distances, selon qu'on les rapporte à des objets voisins ou éloignés.

Toutes ces expériences ont été faites sur des couleurs mates avec des morceaux de papiers ou d'étoffes colorées; mais elles réussissent encore mieux, lorsqu'on les fait sur des couleurs brillantes, comme avec de l'or brillant et poli, au lieu de papier ou d'étoffe jaune; avec de l'argent brillant, au lieu de papier blanc; avec du lapis, au lieu de papier bleu, etc.: l'impression de ces couleurs brillantes est plus vive et dure beaucoup plus longtemps.

Tout le monde sait qu'après avoir regardé le soleil, on porte quelquefois pendant longtemps l'image colorée de cet astre sur tous les objets; la lumière trop vive du soleil produit en un instant ce que la lumière ordinaire des corps ne produit qu'au bout d'une minute ou deux d'application fixe de l'œil sur les couleurs. Ces images colorées du soleil, que l'œil ébloui et trop fortement ébranlé porte partout, sont des couleurs du même genre que celles que nous venons de décrire, et l'explication de leurs apparences dépend de la même théorie.

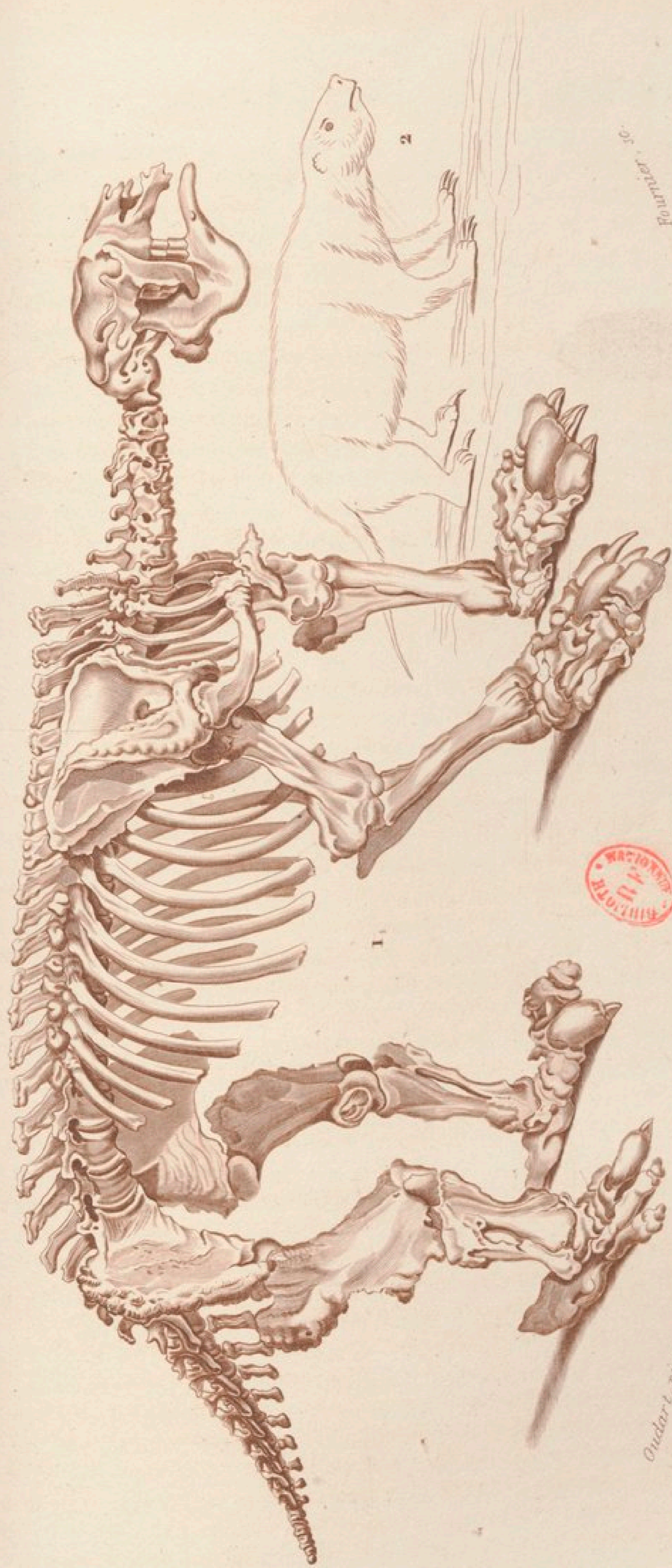
Je n'entreprendrai pas de donner ici les idées qui me sont venues sur ce sujet: quelque assuré que je sois de mes expériences, je ne suis pas assez certain des conséquences qu'on en doit tirer, pour oser rien hasarder encore sur la théorie de ces couleurs, et je me contenterai de rapporter d'autres observations qui confirment les expériences précédentes, et qui serviront sans doute à éclairer cette matière.

En regardant fixement et fort longtemps un carré d'un rouge vif sur un fond blanc, on voit d'abord naître la petite couronne de vert tendre dont j'ai parlé; ensuite, en continuant à regarder fixement le carré rouge, on voit le milieu du carré se décolorer et les côtés se charger de couleur et former comme un cadre d'un rouge plus fort et beaucoup plus foncé que

le milieu; ensuite, en s'éloignant un peu et continuant à regarder toujours fixement, on voit le cadre de rouge foncé se partager en deux dans les quatre côtés, et former une croix d'un rouge aussi foncé; le carré rouge paraît alors comme une fenêtre traversée dans son milieu par une grosse croisée et quatre panneaux blancs, car le cadre de cette espèce de fenêtre est d'un rouge aussi fort que la croisée; continuant toujours à regarder avec opiniâtreté, cette apparence change encore, et tout se réduit à un rectangle d'un rouge si foncé, si fort et si vif, qu'il offusque entièrement les yeux; ce rectangle est de la même hauteur que le carré, mais il n'a pas la sixième partie de sa largeur: ce point est le dernier degré de fatigue que l'œil peut supporter; et lorsque enfin on détourne l'œil de cet objet, et qu'on le porte sur un autre endroit du fond blanc, on voit, au lieu du carré rouge réel, l'image du rectangle rouge imaginaire, exactement dessinée et d'une couleur verte brillante; cette impression subsiste fort longtemps, ne se décolore que peu à peu; elle reste dans l'œil même après l'avoir fermé. Ce que je viens de dire du carré rouge arrive aussi lorsqu'on regarde très longtemps un carré jaune ou noir, ou de toute autre couleur; on voit de même le cadre jaune ou noir, la croix et le rectangle; et l'impression qui reste est un rectangle bleu, si on a regardé du jaune; un rectangle blanc brillant, si on a regardé un carré noir, etc.

J'ai fait faire les expériences que je viens de rapporter à plusieurs personnes: elles ont vu, comme moi, les mêmes couleurs et les mêmes apparences. Un de mes amis m'a assuré, à cette occasion, qu'ayant regardé un jour une éclipse de soleil par un petit trou, il avait porté pendant plus de trois semaines l'image colorée de cet astre sur tous les objets; que, quand il fixait ses yeux sur du jaune brillant, comme sur une bordure dorée, il voyait une tache pourpre, et sur du bleu, comme sur un toit d'ardoises, une tache verte. J'ai moi-même souvent regardé le soleil, et j'ai vu les mêmes couleurs; mais, comme je craignais de me faire mal aux yeux en regardant cet astre, j'ai mieux aimé continuer mes expériences sur des étoffes colorées, et j'ai trouvé qu'en effet ces couleurs accidentelles changent en se mêlant avec les couleurs naturelles, et qu'elles suivent les mêmes règles pour les apparences; car lorsque la couleur verte accidentelle, produite par le rouge naturel, tombe sur un fond rouge brillant, cette couleur verte devient jaune; si la couleur accidentelle bleue, produite par le jaune vif, tombe sur un fond jaune, elle devient verte; en sorte que les couleurs qui résultent du mélange de ces couleurs accidentelles avec les couleurs naturelles suivent les mêmes règles et ont les mêmes apparences que les couleurs naturelles dans leur composition et dans leur mélange avec d'autres couleurs naturelles.

Ces observations pourront être de quelque utilité pour la connaissance des incommodités des yeux, qui viennent probablement d'un grand ébranlement causé par l'impression trop vive de la lumière: une de ces incommodités est de voir toujours devant ses yeux des taches colorées, des cercles blancs ou des points noirs comme des mouches qui voltigent. J'ai ouï bien des personnes se plaindre de cette espèce d'incommodité, et j'ai lu dans quelques auteurs de médecine que la goutte sereine est toujours précédée de ces points noirs. Je ne sais pas si leur sentiment est fondé sur l'expérience, car j'ai éprouvé moi-même cette incommodité: j'ai vu des points noirs, pendant plus de trois mois, en si grande quantité que j'en étais fort inquiet; j'avais apparemment fatigué mes yeux en faisant et en répétant trop souvent les expériences précédentes et en regardant quelquefois le soleil, car les points noirs ont paru dans ce même temps, et je n'en avais jamais vu de ma vie; mais enfin ils m'incommodaient tellement, surtout lorsque je regardais au grand jour des objets fortement éclairés, que j'étais contraint de détourner les yeux; le jaune surtout m'était insupportable, et j'ai été obligé de changer les rideaux jaunes dans la chambre que j'habitais et d'en mettre de verts; j'ai évité de regarder toutes les couleurs trop fortes et tous les objets brillants; peu à peu le nombre des points noirs a



Fourrier.

SQUELETTE DE MEGATHERIUM. 2. MEGATHERIUM RESTAURÉ.

A. Le Vasseur. Editeur

Oudart. pinx.

diminué, et actuellement je n'en suis plus incommodé. Ce qui m'a convaincu que ces points noirs viennent de la trop forte impression de la lumière, c'est qu'après avoir regardé le soleil, j'ai toujours vu une image colorée que je portais plus ou moins longtemps sur tous les objets; et, suivant avec attention les différentes nuances de cette image colorée, j'ai reconnu qu'elle se décolorait peu à peu, et qu'à la fin je ne portais plus sur les objets qu'une tache noire, d'abord assez grande, qui diminuait ensuite peu à peu, et se réduisait enfin à un point noir.

Je vais rapporter à cette occasion un fait qui est assez remarquable, c'est que je n'étais jamais plus incommodé de ces points noirs que quand le ciel était couvert de nuées blanches: ce jour me fatiguait beaucoup plus que la lumière d'un ciel serein, et cela parce qu'en effet la quantité de lumière réfléchie par un ciel couvert de nuées blanches est beaucoup plus grande que la quantité de lumière réfléchie par l'air pur, et qu'à l'exception des objets éclairés immédiatement par les rayons du soleil, tous les autres objets qui sont dans l'ombre sont beaucoup moins éclairés que ceux qui le sont par la lumière réfléchie d'un ciel couvert de nuées blanches.

Avant que de terminer ce Mémoire, je crois devoir annoncer un fait qui paraîtra peut-être extraordinaire, mais qui n'en est pas moins certain, et que je suis fort étonné qu'on n'ait pas observé; c'est que les ombres des corps qui par leur essence doivent être noires, puisqu'elles ne sont que la privation de la lumière, que les ombres, dis-je, sont toujours colorées au lever et au coucher du soleil. J'ai observé, pendant l'été 1743, plus de trente aurores et autant de soleils couchants: toutes les ombres qui tombaient sur du blanc, comme sur une muraille blanche, étaient quelquefois vertes, mais le plus souvent bleues, et d'un bleu aussi vif que le plus bel azur. J'ai fait voir ce phénomène à plusieurs personnes qui ont été aussi surprises que moi: la saison n'y fait rien, car il n'y a pas huit jours (15 novembre 1743) que j'ai vu des ombres bleues, et quiconque voudra se donner la peine de regarder l'ombre de l'un de ses doigts au lever ou au coucher du soleil, sur un morceau de papier blanc, verra comme moi cette ombre bleue. Je ne sache pas qu'aucun astronome, qu'aucun physicien, que personne, en un mot, ait parlé de ce phénomène, et j'ai cru qu'en faveur de la nouveauté on me permettrait de donner le précis de cette observation.

Au mois de juillet 1743, comme j'étais occupé de mes couleurs accidentelles, et que je cherchais à voir le soleil, dont l'œil soutient mieux la lumière à son coucher qu'à toute autre heure du jour, pour reconnaître ensuite les couleurs et les changements de couleurs causés par cette impression, je remarquai que les ombres des arbres qui tombaient sur une muraille blanche étaient vertes; j'étais dans un lieu élevé et le soleil se couchait dans une gorge de montagnes, en sorte qu'il me paraissait fort abaissé au-dessous de mon horizon; le ciel était serein, à l'exception du couchant, qui, quoique exempt de nuages, était chargé d'un rideau transparent de vapeurs d'un jaune rougeâtre, le soleil lui-même était fort rouge, et sa grandeur apparente au moins quadruple de ce qu'elle est à midi; je vis donc très distinctement les ombres des arbres qui étaient à 20 et 30 pieds de la muraille blanche, colorées d'un vert tendre tirant un peu sur le bleu; l'ombre d'un treillage qui était à 3 pieds de la muraille, était parfaitement dessinée sur cette muraille, comme si on l'avait nouvellement peinte en vert-de-gris: cette apparence dura près de cinq minutes, après quoi la couleur s'affaiblit avec la lumière du soleil, et ne disparut entièrement qu'avec les ombres. Le lendemain, au lever du soleil, j'allai regarder d'autres ombres sur une muraille blanche, mais au lieu de les trouver vertes, comme je m'y attendais, je les trouvai bleues ou plutôt de la couleur de l'indigo le plus vif; le ciel était serein, et il n'y avait qu'un petit rideau de vapeurs jaunâtres au levant, le soleil se levait sur une colline, en sorte qu'il me paraissait élevé au-dessus de mon horizon: les ombres bleues ne durèrent que trois minutes, après quoi elles me parurent noires; le même jour je revis au coucher du

soleil les ombres vertes, comme je les avais vues la veille. Six jours se passèrent ensuite sans pouvoir observer les ombres au coucher du soleil, parce qu'il était toujours couvert de nuages. Le septième jour je vis le soleil à son coucher ; les ombres n'étaient plus vertes, mais d'un beau bleu d'azur : je remarquai que les vapeurs n'étaient pas fort abondantes, et que le soleil, ayant avancé pendant sept jours, se couchait derrière un rocher qui le faisait disparaître avant qu'il pût s'abaisser au-dessous de mon horizon. Depuis ce temps j'ai très souvent observé les ombres, soit au lever, soit au coucher du soleil, et je ne les ai vues que bleues, quelquefois d'un bleu fort vif, d'autres fois d'un bleu pâle, d'un bleu foncé, mais constamment bleues.

Ce Mémoire a été imprimé dans ceux de l'Académie royale des sciences, année 1743. Voici ce que je crois devoir y ajouter aujourd'hui (année 1773).

Des observations plus fréquentes m'ont fait reconnaître que les ombres ne paraissent jamais vertes au lever ou au coucher du soleil, que quand l'horizon est chargé de beaucoup de vapeurs rouges : dans tout autre cas les ombres sont toujours bleues, et d'autant plus bleues que le ciel est plus serein. Cette couleur bleue des ombres n'est autre chose que la couleur même de l'air ; et je ne sais pourquoi quelques physiciens ont défini l'air *un fluide invisible (a), inodore, insipide*, puisqu'il est certain que l'azur céleste n'est autre chose que la couleur de l'air ; qu'à la vérité il faut une grande épaisseur d'air pour que notre œil s'aperçoive de la couleur de cet élément, mais que néanmoins lorsqu'on regarde de loin des objets sombres, on les voit toujours plus ou moins bleus. Cette observation, que les physiciens n'avaient pas faite sur les ombres et sur les objets sombres vus de loin, n'avait pas échappé aux habiles peintres, et elle doit en effet servir de base à la couleur des objets lointains, qui tous auront une nuance bleuâtre d'autant plus sensible qu'ils seront supposés plus éloignés du point de vue.

On pourra me demander comment cette couleur bleue, qui n'est sensible à notre œil que quand il y a une très grande épaisseur d'air, se marque néanmoins si fortement à quelques pieds de distance au lever et au coucher du soleil ; comment il est possible que cette couleur de l'air, qui est à peine sensible à 10,000 toises de distance, puisse donner à l'ombre noire d'un treillage, qui n'est éloigné de la muraille blanche que de 3 pieds, une couleur du plus beau bleu : c'est en effet de la solution de cette question que dépend l'explication du phénomène. Il est certain que la petite épaisseur d'air, qui n'est que de 3 pieds entre le treillage et la muraille, ne peut pas donner à la couleur noire de l'ombre une nuance aussi forte de bleu : si cela était, on verrait à midi et dans tous les autres temps du jour, les ombres bleues comme on les voit au lever et au coucher du soleil. Ainsi cette apparence ne dépend pas uniquement, ni même presque point du tout, de l'épaisseur de l'air entre l'objet et l'ombre. Mais il faut considérer qu'au lever et au coucher du soleil, la lumière de cet astre étant affaiblie à la surface de la terre, autant qu'elle peut l'être par la plus grande obliquité de cet astre, les ombres sont moins denses, c'est-à-dire moins noires dans la même proportion, et qu'en même temps la terre n'étant plus éclairée que par cette faible lumière du soleil qui ne fait qu'en raser la superficie, la masse de l'air qui est plus élevée, et qui par conséquent reçoit encore la lumière du soleil bien moins obliquement, nous renvoie cette lumière, et nous éclaire alors autant et peut-être plus que le soleil. Or, cet air pur et bleu ne peut nous éclairer qu'en nous renvoyant une grande quantité de rayons de sa même couleur bleue ; et lorsque ces rayons bleus, que l'air réfléchit, tomberont sur des objets privés de toute autre couleur comme les ombres, ils les teindront d'une plus ou moins forte nuance de bleu, selon qu'il y aura moins de lumière directe du soleil, et plus de lumière réfléchie de l'atmosphère. Je pourrais ajouter plusieurs autres choses qui viendraient à l'appui de cette explication, mais je

(a) Dictionnaire de chimie, article de l'Air.

pense que ce que je viens de dire est suffisant pour que les bons esprits l'entendent et en soient satisfaits.

Je crois devoir citer ici quelques faits observés par M. l'abbé Millot, ancien grand vicaire de Lyon, qui a eu la bonté de me les communiquer par ses lettres des 18 août 1754 et 10 février 1755, dont voici l'extrait : « Ce n'est pas seulement au lever et au coucher du soleil que les ombres se colorent. A midi, le ciel étant couvert de nuages, excepté en quelques endroits, vis-à-vis d'une de ces ouvertures que laissaient entre eux les nuages, j'ai fait tomber des ombres d'un fort beau bleu sur du papier blanc, à quelques pas d'une fenêtre. Les nuages s'étant joints, le bleu disparut. J'ajouterai en passant que plus d'une fois j'ai vu l'azur du ciel se peindre, comme dans un miroir, sur une muraille où la lumière tombait obliquement. Mais voici d'autres observations plus importantes à mon avis : avant que d'en faire le détail, je suis obligé de tracer la topographie de ma chambre; elle est à un troisième étage; la fenêtre près d'un angle au couchant, la porte presque vis-à-vis. Cette porte donne dans une galerie, au bout de laquelle, à deux pas de distance, est une fenêtre située au midi. Les jours des deux fenêtres se réunissent, la porte étant ouverte, contre une des murailles; et c'est là que j'ai vu des ombres colorées presque à toute heure, mais principalement sur les dix heures du matin. Les rayons du soleil, que la fenêtre de la galerie reçoit encore obliquement, ne tombent point par celle de la chambre sur la muraille dont je viens de parler. Je place à quelques pouces de cette muraille des chaises de bois à dossier percé. Les ombres en sont alors de couleurs quelquefois très vives. J'en ai vu qui, quoique projetées du même côté, étaient l'une d'un vert foncé, l'autre d'un bel azur. Quand la lumière est tellement ménagée que les ombres soient également sensibles de part et d'autre, celle qui est opposée à la fenêtre de la chambre est ou bleue ou violette; l'autre tantôt verte, tantôt jaunâtre. Celle-ci est accompagnée d'une espèce de pénombre bien colorée, qui forme comme une double bordure bleue d'un côté, et de l'autre verte ou rouge ou jaune, selon l'intensité de la lumière. Que je ferme les volets de ma fenêtre, les couleurs de cette pénombre n'en ont souvent que plus d'éclat; elles disparaissent si je ferme la porte à moitié. Je dois ajouter que le phénomène n'est pas, à beaucoup près, si sensible en hiver. Ma fenêtre est au couchant d'été : je fis mes premières expériences dans cette saison, dans un temps où les rayons du soleil tombaient obliquement sur la muraille qui fait angle avec celle où les ombres se coloraient. »

On voit, par ces observations de M. l'abbé Millot, qu'il suffit que la lumière du soleil tombe très obliquement sur une surface pour que l'azur du ciel, dont la lumière tombe toujours directement, s'y peigne et colore les ombres. Mais les autres apparences dont il fait mention ne dépendent que de la position des lieux et d'autres circonstances accessoires.

HUITIÈME MÉMOIRE

EXPÉRIENCES SUR LA PESANTEUR DU FEU ET SUR LA DURÉE DE L'INCANDESCENCE.

Je crois devoir rappeler ici quelques-unes des choses que j'ai dites dans l'introduction qui précède ces Mémoires, afin que ceux qui ne les auraient pas bien présentes puissent néanmoins entendre ce qui fait l'objet de celui-ci. Le feu ne peut guère exister sans lumière et jamais sans chaleur, tandis que la lumière existe souvent sans chaleur sensible, comme

la chaleur existe encore plus souvent sans lumière : l'on peut donc considérer la lumière et la chaleur comme deux propriétés du feu, ou plutôt comme les deux seuls effets par lesquels nous le reconnaissons ; mais nous avons montré que ces deux effets ou ces deux propriétés ne sont pas toujours essentiellement liés ensemble, que souvent ils ne sont ni simultanés ni contemporains, puisque dans certaines circonstances on sent de la chaleur longtemps avant que la lumière paraisse, et que dans d'autres circonstances on voit de la lumière longtemps avant de sentir de la chaleur, et même souvent sans en sentir aucune, et nous avons dit que, pour raisonner juste sur la nature du feu, il fallait auparavant tâcher de reconnaître celle de la lumière et celle de la chaleur, qui sont les principes réels dont l'élément du feu nous paraît être composé.

Nous avons vu que la lumière est une matière mobile, élastique et pesante, c'est-à-dire susceptible d'attraction comme toutes les autres matières (*) ; on a démontré qu'elle est mobile, et même on a déterminé le degré de sa vitesse immense par le très petit temps qu'elle emploie à venir des satellites de Jupiter jusqu'à nous. On a reconnu son élasticité, qui est presque infinie, par l'égalité de l'angle de son incidence et de celui de sa réflexion ; enfin sa pesanteur ou, ce qui revient au même, son attraction vers les autres matières, est aussi démontrée par l'inflexion qu'elle souffre toutes les fois qu'elle passe auprès des autres corps. On ne peut donc pas douter que la substance de la lumière ne soit une vraie matière, laquelle, indépendamment de ses qualités propres et particulières, a aussi les propriétés générales et communes à toute autre matière. Il en est de même de la chaleur (**) : c'est une matière qui ne diffère pas beaucoup de celle de la lumière, et ce n'est peut-être que la lumière elle-même qui, quand elle est très forte ou réunie en grande quantité, change de forme, diminue de vitesse, et, au lieu d'agir sur le sens de la vue, affecte les organes du toucher. On peut donc dire que, relativement à nous, la chaleur n'est que le toucher de la lumière, et qu'en elle-même la chaleur n'est qu'un des effets du feu sur les corps, effet qui se modifie suivant les différentes substances, et produit dans toutes une dilatation, c'est-à-dire une séparation de leurs parties constituantes. Et lorsque, par cette dilatation ou séparation, chaque partie se trouve assez éloignée de ses voisines pour être hors de leur sphère d'attraction, les matières solides, qui n'étaient d'abord que dilatées par la chaleur, deviennent fluides et ne peuvent reprendre leur solidité qu'autant que la chaleur se dissipe et permet aux parties désunies de se rapprocher et se joindre d'aussi près qu'auparavant (a).

Ainsi toute fluidité a la chaleur pour cause, et toute dilatation dans les corps doit être regardée comme une fluidité commençante : or nous avons trouvé, par l'expérience, que les temps du progrès de la chaleur dans les corps, soit pour l'entrée, soit pour la sortie,

(a) Je sais que quelques chimistes prétendent que les métaux, rendus fluides par le feu, ont plus de pesanteur spécifique que quand ils sont solides ; mais j'ai de la peine à le croire, car il s'ensuivrait que leur état de dilatation, où cette pesanteur spécifique est moindre, ne serait pas le premier degré de leur état de fusion, ce qui néanmoins paraît indubitable. L'expérience sur laquelle ils fondent leur opinion, c'est que le métal en fusion supporte le même métal solide, et qu'on le voit nager à la surface du métal fondu ; mais je pense que cet effet ne vient que de la répulsion causée par la chaleur, et ne doit point être attribué à la pesanteur spécifique plus grande du métal en fusion : je suis au contraire très persuadé qu'elle est moindre que celle du métal solide.

(*) Nous avons déjà relevé cette erreur à diverses reprises. La lumière n'est pas « une matière », mais simplement un mouvement de la matière qui se transmet par l'intermédiaire de l'éther.

(**) Comme la lumière, la chaleur n'est pas « une matière », mais un mouvement de la matière.

sont toujours en raison de leur fluidité ou de leur fusibilité, et il doit s'ensuivre que leurs dilatations respectives doivent être en même raison. Je n'ai pas eu besoin de tenter de nouvelles expériences pour m'assurer de la vérité de cette conséquence générale : M. Musschenbroek en ayant fait de très exactes sur la dilatation des différents métaux, j'ai comparé ses expériences avec les miennes, et j'ai vu, comme je m'y attendais, que les corps les plus lents à recevoir et perdre la chaleur sont aussi ceux qui se dilatent le moins promptement, et que ceux qui sont les plus prompts à s'échauffer et à se refroidir sont ceux qui se dilatent le plus vite; en sorte qu'à commencer par le fer, qui est le moins fluide de tous les corps, et finir par le mercure, qui est le plus fluide, la dilatation dans toutes les différentes matières se fait en même raison que le progrès de la chaleur dans ces mêmes matières.

Lorsque je dis que le fer est le plus solide, c'est-à-dire le moins fluide de tous les corps, je n'avance rien que l'expérience ne m'ait jusqu'à présent démontré; cependant il pourrait se faire que le platine, comme je l'ai remarqué ci-devant, étant encore moins fusible que le fer, la dilatation y serait moindre, et le progrès de la chaleur plus lent que dans le fer; mais je n'ai pu avoir de ce minéral qu'en grenaille, et, pour faire l'expérience de la fusibilité et la comparer à celle des autres métaux, il faudrait en avoir une masse d'un pouce de diamètre, trouvée dans la mine même : tout le platine que j'ai pu trouver en masse a été fondu par l'addition d'autres matières, et n'est pas assez pur pour qu'on puisse s'en servir à des expériences qu'on ne doit faire que sur des matières pures et simples; et celui que j'ai fait fondre moi-même sans addition était encore en trop petit volume pour pouvoir le comparer exactement.

Ce qui me confirme dans cette idée que le platine pourrait être l'extrême en *non-fluidité* de toutes les matières connues, c'est la quantité de fer pur qu'il contient, puisqu'il est presque tout attirable par l'aimant : ce minéral, comme je l'ai dit, pourrait donc bien n'être qu'une matière ferrugineuse plus condensée et spécifiquement plus pesante que le fer ordinaire, intimement unie avec une grande quantité d'or, et par conséquent, étant moins fusible que le fer, recevoir encore plus difficilement la chaleur.

De même, lorsque je dis que le mercure est le plus fluide de tous les corps, je n'entends que les corps sur lesquels on peut faire des expériences exactes; car je n'ignore pas, puisque tout le monde le sait, que l'air ne soit encore beaucoup plus fluide que le mercure; et, en cela même, la loi que j'ai donnée sur le progrès de la chaleur est encore confirmée, car l'air s'échauffe et se refroidit, pour ainsi dire, en un instant; il se condense par le froid, et se dilate par la chaleur plus qu'aucun autre corps, et néanmoins le froid le plus excessif ne le condense pas assez pour lui faire perdre sa fluidité, tandis que le mercure perd la sienne à 187 degrés de froid au-dessous de la congélation de l'eau, et pourrait la perdre à un degré de froid beaucoup moindre, si on le réduisait en vapeur. Il subsiste donc encore un peu de chaleur au-dessous de ce froid excessif de 187 degrés, et par conséquent le degré de la congélation de l'eau, que tous les constructeurs de thermomètres ont regardé comme la limite de la chaleur, et comme un terme où l'on doit la supposer égale à zéro, est au contraire un degré réel de l'échelle de la chaleur, degré où non seulement la quantité de chaleur subsistante n'est pas nulle, mais où cette quantité de chaleur est très considérable, puisque c'est à peu près le point milieu entre le degré de la congélation du mercure et celui de la chaleur nécessaire pour fondre le bismuth, qui est de 490 degrés, lequel ne diffère guère de 187 au-dessus du terme de la glace que comme l'autre en diffère au-dessous.

Je regarde donc la chaleur comme une matière réelle qui doit avoir son poids, comme toute autre matière, et j'ai dit en conséquence que, pour reconnaître si le feu a une pesanteur sensible, il faudrait faire l'expérience sur de grandes masses pénétrées de feu, et les peser dans cet état, et qu'on trouverait peut-être une différence assez sensible pour qu'on

en pût conclure la pesanteur du feu ou de la chaleur, qui m'en paraît être la substance la plus matérielle. La lumière et la chaleur sont les deux éléments matériels du feu : ces deux éléments réunis ne sont que le feu même, et ces deux matières nous affectent chacune sous leur forme propre, c'est-à-dire d'une manière différente. Or, comme il n'existe aucune forme sans matière, il est clair que, quelque subtile qu'on suppose la substance de la lumière, de la chaleur ou du feu, elle est sujette comme toute autre matière à la loi générale de l'attraction universelle; car, comme nous l'avons dit, quoique la lumière soit douée d'un ressort presque parfait, et que par conséquent ses parties tendent, avec une force presque infinie, à s'éloigner des corps qui la produisent, nous avons démontré que cette force expansive ne détruit pas celle de la pesanteur : on le voit par l'exemple de l'air, qui est très élastique, et dont les parties tendent avec force à s'éloigner les unes des autres, qui ne laisse pas d'être pesant. Ainsi la force par laquelle les parties de l'air ou du feu tendent à s'éloigner, et s'éloignent en effet les unes des autres, ne fait que diminuer la masse, c'est-à-dire la densité de ces matières, et leur pesanteur sera toujours proportionnelle à cette densité. Si donc l'on vient à bout de reconnaître la pesanteur du feu par l'expérience de la balance, on pourra peut-être quelque jour en déduire la densité de cet élément, et raisonner ensuite sur la pesanteur et l'élasticité du feu avec autant de fondement que sur la pesanteur et l'élasticité de l'air.

J'avoue que cette expérience, qui ne peut être faite qu'en grand, paraît d'abord assez difficile, parce qu'une forte balance, et telle qu'il la faudrait pour supporter plusieurs milliers, ne pourrait être assez sensible pour indiquer une petite différence qui ne serait que de quelques gros. Il y a ici, comme en tout, un *maximum* de précision, qui probablement ne se trouve ni dans la plus petite, ni dans la plus grande balance possible. Par exemple, je crois que si, dans une balance avec laquelle on peut peser 1 livre, l'on arrive à un point de précision d'un douzième de grain, il n'est pas sûr qu'on pût faire une balance pour peser dix milliers, qui pencherait aussi sensiblement pour 1 once 3 gros 41 grains, ce qui est la différence proportionnelle de 1 à 10,000; ou qu'au contraire, si cette grosse balance indiquait clairement cette différence, la petite balance n'indiquerait pas également bien celle d'un douzième de grain, et que, par conséquent, nous ignorons quelle doit être, pour un poids donné, la balance la plus exacte.

Les personnes qui s'occupent de physique expérimentale devraient faire la recherche de ce problème, dont la solution, qu'on ne peut obtenir que par l'expérience, donnerait le *maximum* de précision de toutes les balances. L'un des plus grands moyens d'avancer les sciences, c'est d'en perfectionner les instruments. Nos balances le sont assez pour peser l'air : avec un degré de perfection de plus, on viendrait à bout de peser le feu et même la chaleur.

Les boulets rouges de 4 pouces $\frac{1}{2}$ et de 5 pouces de diamètre, que j'avais laissé refroidir dans ma balance (a), avaient perdu 7, 8 et 10 grains chacun en se refroidissant; mais plusieurs raisons m'ont empêché de regarder cette petite diminution comme la quantité réelle du poids de la chaleur : car 1° le fer, comme on l'a vu par le résultat de mes expériences, est une matière que le feu dévore, puisqu'il la rend spécifiquement plus légère : ainsi l'on peut attribuer cette diminution de poids à l'évaporation des parties du fer enlevées par le feu. 2° Le fer jette des étincelles en grande quantité lorsqu'il est rougi à blanc; il en jette encore quelques-unes lorsqu'il n'est que rouge, et ces étincelles sont des parties de matière dont il faut défalquer le poids de celui de la diminution totale; et comme il n'est pas possible de recueillir toutes ces étincelles, ni d'en connaître le poids, il n'est pas possible non plus de savoir combien cette perte diminue la pesanteur des boulets. 3° Je me suis aperçu que le fer demeure rouge et jette de petites étincelles bien

(a) Voyez les expériences du premier Mémoire.

plus longtemps qu'on ne l'imagine; car, quoique au grand jour il perde sa lumière et paraisse noir au bout de quelques minutes, si on le transporte dans un lieu obscur, on le voit lumineux, et on aperçoit les petites étincelles qu'il continue de lancer pendant quelques autres minutes. 4° Enfin les expériences sur les boulets me laissaient quelque scrupule, parce que la balance dont je me servais alors, quoique bonne, ne me paraissait pas assez précise pour saisir au juste le poids réel d'une matière aussi légère que le feu. Ayant donc fait construire une balance capable de porter aisément 50 livres de chaque côté, à l'exécution de laquelle M. Le Roy, de l'Académie des sciences, a bien voulu, à ma prière, donner toute l'attention nécessaire, j'ai eu la satisfaction de reconnaître à peu près la pesanteur relative du feu. Cette balance, chargée de 50 livres de chaque côté, penchait assez sensiblement par l'addition de 24 grains; et, chargée de 25 livres, elle penchait par l'addition de 8 grains seulement.

Pour rendre cette balance plus ou moins sensible, M. Le Roy a fait visser sur l'aiguille une masse de plomb, qui, s'élevant et s'abaissant, change le centre de gravité, de sorte qu'on peut augmenter de près de moitié la sensibilité de la balance. Mais, par le grand nombre d'expériences que j'ai faites de cette balance et de quelques autres, j'ai reconnu qu'en général plus une balance est sensible et moins elle est *sage*: les caprices, tant au physique qu'au moral, semblent être des attributs inséparables de la grande sensibilité. Les balances très sensibles sont si capricieuses qu'elles ne parlent jamais de la même façon: aujourd'hui elles vous indiquent le poids à un millième près, et demain elles ne le donnent qu'à une moitié, c'est-à-dire à un cinq centième près, au lieu d'un millième. Une balance moins sensible est plus constante, plus fidèle; et, tout considéré, il vaut mieux, pour l'usage froid qu'on fait d'une balance, la choisir sage que de la prendre ou la rendre trop sensible.

Pour peser exactement des masses pénétrées de feu, j'ai commencé par faire garnir de tôle les bassins de cuivre et les chaînes de la balance afin de ne pas les endommager, et, après en avoir bien établi l'équilibre à son moindre degré de sensibilité, j'ai fait porter sur l'un des bassins une masse de fer rougi à blanc, qui provenait de la seconde chaude qu'on donne à l'affinerie après avoir battu au marteau la loupe qu'on appelle *renard*: je fais cette remarque parce que mon fer, dès cette seconde chaude, ne donne presque plus de flamme et ne paraît pas se consumer comme il se consume et brûle à la première chaude, et que, quoiqu'il soit blanc de feu, il ne jette qu'un petit nombre d'étincelles avant d'être mis sous le marteau.

I. — Une masse de fer rougi à blanc s'est trouvée peser précisément 49 livres 9 onces: l'ayant enlevée doucement du bassin de la balance et posée sur une pièce d'autre fer où on la laissait refroidir sans la toucher, elle s'est trouvée, après son refroidissement, au degré de la température de l'air, qui était alors celui de la congélation, ne peser que 49 livres 7 onces juste: ainsi elle a perdu 2 onces pendant son refroidissement; on observera qu'elle ne jetait aucune étincelle, aucune vapeur assez sensible pour ne devoir pas être regardée comme la pure émanation du feu. Ainsi l'on pourrait croire que la quantité de feu contenue dans cette masse de 49 livres 9 onces étant de 2 onces, elle formait environ $\frac{1}{396}$ ou $\frac{1}{397}$ du poids de la masse totale. On a remis ensuite cette masse refroidie au feu de l'affinerie, et l'ayant fait chauffer à blanc comme la première fois, et porter au marteau, elle s'est trouvée, après avoir été malléée et refroidie, ne peser que 47 livres 12 onces 3 gros: ainsi le déchet de cette chaude, tant au feu qu'au marteau, était de 1 livre 10 onces 5 gros; et avant fait donner une seconde et une troisième chaude à cette pièce pour achever la barre, elle ne pesait plus que 43 livres 7 onces 7 gros; ainsi son déchet total, tant par l'évaporation du feu que par la purification du fer à l'affinerie et

sous le marteau, s'est trouvé de 6 livres 1 once 1 gros, sur 49 livres 9 onces, ce qui ne va pas tout à fait au huitième.

Une seconde pièce de fer, prise de même au sortir de l'affinerie à la première chaude et pesée rouge blanc, s'est trouvée du poids de 38 livres 15 onces 5 gros 36 grains; et ensuite, pesée froide, de 38 livres 14 onces 36 grains : ainsi elle a perdu 1 once 5 gros en se refroidissant, ce qui fait environ $\frac{1}{384}$ du poids total de sa masse.

Une troisième pièce de fer, prise de même au sortir du feu de l'affinerie après la première chaude, et pesée rouge blanc, s'est trouvée du poids de 45 livres 12 onces 6 gros, et, pesée froide, de 45 livres 11 onces 2 gros : ainsi elle a perdu 1 once 4 gros en se refroidissant, ce qui fait environ $\frac{1}{489}$ de son poids total.

Une quatrième pièce de fer, prise de même après la première chaude et pesée rouge blanc, s'est trouvée du poids de 48 livres 11 onces 6 gros; et, pesée après son refroidissement, de 48 livres 10 onces juste; ainsi elle a perdu en se refroidissant 14 gros, ce qui fait environ $\frac{1}{447}$ du poids de sa masse totale.

Enfin une cinquième pièce de fer, prise de même après la première chaude et pesée rouge blanc, s'est trouvée du poids de 49 livres 11 onces; et, pesée après son refroidissement, de 49 livres 9 onces 1 gros : ainsi elle a perdu en se refroidissant 15 gros, ce qui fait $\frac{1}{424}$ du poids total de sa masse.

En réunissant les résultats des cinq expériences pour en prendre la mesure commune, on peut assurer que le fer chauffé à blanc, et qui n'a reçu que deux volées de coups de marteau, perd en se refroidissant $\frac{1}{428}$ de sa masse.

II. — Une pièce de fer qui avait reçu quatre volées de coups de marteau, et par conséquent toutes les chaudes nécessaires pour être entièrement et parfaitement forgée, et qui pesait 14 livres 4 gros, ayant été chauffée à blanc, ne pesait plus que 13 livres 12 onces dans cet état d'incandescence, et 13 livres 11 onces 4 gros après son entier refroidissement. D'où l'on peut conclure que la quantité de feu dont cette pièce de fer était pénétrée faisait $\frac{1}{440}$ de son poids total.

Une seconde pièce de fer entièrement forgée, et de même qualité que la précédente, pesait, froide, 13 livres 7 onces 6 gros : chauffée à blanc, 13 livres 6 onces 7 gros, et refroidie, 13 livres 6 onces 3 gros, ce qui donne $\frac{1}{430}$ à très peu près dont elle a diminué en se refroidissant.

Une troisième pièce de fer forgée de même que les précédentes pesait, froide, 13 livres 1 gros; et chauffée au dernier degré, en sorte qu'elle était non seulement blanche, mais bouillonnante et pétillante de feu, s'est trouvée peser 12 livres 9 onces 7 gros dans cet état d'incandescence; et refroidie à la température actuelle, qui était de 16 degrés au-dessus de la congélation, elle ne pesait plus que 12 livres 9 onces 3 gros, ce qui donne $\frac{1}{404}$ à très peu près pour la quantité qu'elle a perdue en se refroidissant.

Prenant le terme moyen des résultats de ces trois expériences, on peut assurer que le fer parfaitement forgé et de la meilleure qualité, chauffé à blanc, perd en se refroidissant environ $\frac{1}{423}$ de sa masse.

III. — Un morceau de fer en gueuse, pesé très rouge environ vingt minutes après sa coulée, s'est trouvé du poids de 33 livres 10 onces, et lorsqu'il a été refroidi il ne pesait plus que 33 livres 9 onces : ainsi il a perdu 1 once, c'est-à-dire $\frac{1}{538}$ de son poids ou masse totale en se refroidissant.

Un second morceau de fonte, pris de même très rouge, pesait 22 livres 8 onces 3 gros, et lorsqu'il a été refroidi il ne pesait plus que 22 livres 7 onces 5 gros, ce qui donne $\frac{1}{480}$ pour la quantité qu'il a perdue en se refroidissant.

Un troisième morceau de fonte, qui pesait, chaud, 16 livres 6 onces 3 gros $\frac{1}{2}$, ne pesait

que 16 livres 5 onces 7 gros $\frac{1}{2}$ lorsqu'il fut refroidi, ce qui donne $\frac{1}{525}$ pour la quantité qu'il a perdue en se refroidissant.

Prenant le terme moyen des résultats de ces trois expériences sur la fonte pesée chaude couleur de cerise, on peut assurer qu'elle perd en se refroidissant environ $\frac{1}{514}$ de sa masse, ce qui fait une moindre diminution que celle du fer forgé; mais la raison en est que le fer forgé a été chauffé à blanc dans toutes nos expériences, au lieu que la fonte n'était que d'un rouge couleur de cerise lorsqu'on l'a pesée, et que par conséquent elle n'était pas pénétrée d'autant de feu que le fer, car on observera qu'on ne peut chauffer à blanc la fonte de fer sans l'enflammer et la brûler en partie; en sorte que je me suis déterminé à la faire peser seulement rouge et au moment où elle vient de prendre sa consistance dans le moule au sortir du fourneau de fusion.

IV. — On a pris sur la dame du fourneau des morceaux du laitier le plus pur, et qui formait du très beau verre de couleur verdâtre.

Le premier morceau pesait, chaud, 6 livres 14 onces 2 gros $\frac{1}{2}$, et refroidi il ne pesait que 6 livres 14 onces 1 gros, ce qui donne $\frac{1}{588}$ pour la quantité qu'il a perdue en se refroidissant.

Un second morceau de laitier semblable au précédent a pesé, chaud, 5 livres 8 onces 6 gros $\frac{1}{4}$, et refroidi, 5 livres 8 onces 5 gros, ce qui donne $\frac{1}{568}$ pour la quantité dont il a diminué en se refroidissant.

Un troisième morceau pris de même sur la dame du fourneau, mais un peu moins ardent que le précédent, a pesé chaud 4 livres 7 onces 4 gros $\frac{1}{2}$, et refroidi, 4 livres 7 onces 3 gros $\frac{1}{3}$, ce qui donne $\frac{1}{572}$ pour la quantité dont il a diminué en se refroidissant.

Un quatrième morceau de laitier qui était de verre solide et pur, et qui pesait froid 2 livres 14 onces 1 gros, ayant été chauffé jusqu'au rouge couleur de feu, s'est trouvé peser 2 livres 14 onces 1 gros $\frac{2}{3}$; ensuite, après son refroidissement, il a pesé, comme avant d'avoir été chauffé, 2 livres 14 onces 1 gros juste, ce qui donne $\frac{1}{533} \frac{1}{2}$ pour le poids de la quantité de feu dont il était pénétré.

Prenant le terme moyen des résultats de ces quatre expériences sur le verre, pesé chaud couleur de feu, on peut assurer qu'il perd, en se refroidissant, $\frac{1}{570}$, ce qui me paraît être le vrai poids du feu relativement au poids total des matières qui en sont pénétrées, car ce verre ou laitier ne se brûle ni ne se consume au feu; il ne perd rien de son poids, et se trouve seulement peser $\frac{1}{570}$ de plus lorsqu'il est pénétré de feu.

V. — J'ai tenté plusieurs expériences semblables sur le grès, mais elles n'ont pas si bien réussi. La plupart des espèces de grès s'égrenant au feu, on ne peut les chauffer qu'à demi, et ceux qui sont assez durs et d'une assez bonne qualité pour supporter, sans s'égrener, un feu violent, se couvrent d'émail: il y a d'ailleurs dans presque tous des espèces de clous noirs et ferrugineux qui brûlent dans l'opération. Le seul fait certain que j'ai pu tirer de sept expériences sur différents morceaux de grès dur, c'est qu'il ne gagne rien au feu, et qu'il n'y perd que très peu. J'avais déjà trouvé la même chose par les expériences rapportées dans le premier Mémoire.

De toutes ces expériences, je crois qu'on doit conclure :

1° Que le feu a, comme toute autre matière (*), une pesanteur réelle, dont on peut connaître le rapport à la balance dans les substances qui, comme le verre, ne peuvent être altérées par son action, et dans lesquelles il ne fait, pour ainsi dire, que passer, sans y rien laisser et sans en rien enlever;

(*) Le « feu » c'est-à-dire la chaleur n'est pas une matière, mais un mouvement de la matière.

2° Que la quantité de feu nécessaire pour rougir une masse quelconque, et lui donner sa couleur et sa chaleur, pèse $\frac{1}{570}$, ou, si l'on veut, une six centième partie de cette masse; en sorte que, si elle pèse froide 600 livres, elle pèsera chaude 601 livres, lorsqu'elle sera rouge couleur de feu;

3° Que dans les matières qui, comme le fer, sont susceptibles d'un plus grand degré de feu, et peuvent être chauffées à blanc sans se fondre, la quantité de feu dont elles sont alors pénétrées est environ d'un sixième plus grande; en sorte que, sur 500 livres de fer, il se trouve 1 livre de feu : nous avons même trouvé plus par les expériences précédentes, puisque leur résultat commun donne $\frac{1}{425}$; mais il faut observer que le fer, ainsi que toutes les substances métalliques, se consume un peu en se refroidissant, et qu'il diminue toutes les fois qu'on y applique le feu. Cette différence entre $\frac{1}{500}$ et $\frac{1}{425}$ provient donc de cette diminution : le fer, qui perd une quantité très sensible dans le feu, continue à perdre un peu tant qu'il en est pénétré, et par conséquent sa masse totale se trouve plus diminuée que celle du verre, que le feu ne peut consumer, ni brûler, ni volatiliser.

Je viens de dire qu'il en est de toutes les substances métalliques comme du fer, c'est-à-dire que toutes perdent quelque chose par la longue ou la violente action du feu (*); et je puis le prouver par des expériences incontestables sur l'or et sur l'argent, qui, de tous les métaux, sont les plus fixes et les moins sujets à être altérés par le feu. J'ai exposé au foyer du miroir ardent des plaques d'argent pur et des morceaux d'or aussi pur; je les ai vu fumer abondamment et pendant un très long temps : il n'est donc pas douteux que ces métaux ne perdent quelque chose de leur substance par l'application du feu, et j'ai été informé depuis que cette matière qui s'échappe de ces métaux et s'élève en fumée n'est autre chose que le métal même volatilisé, puisqu'on peut dorer ou argenter à cette fumée métallique les corps qui la reçoivent.

Le feu, surtout appliqué longtemps, volatilise donc peu à peu ces métaux, qu'il semble ne pouvoir ni brûler, ni détruire d'aucune autre manière, et, en les volatilisant, il n'en change pas la nature, puisque cette fumée qui s'en échappe est encore du métal qui conserve toutes ses propriétés. Or, il ne faut pas un feu bien violent pour produire cette fumée métallique : elle paraît à un degré de chaleur au-dessous de celui qui est nécessaire pour la fusion des métaux. C'est de cette même matière que l'or et l'argent se sont sublimés dans le sein de la terre; ils ont d'abord été fondus par la chaleur excessive du premier état du globe, où tout était en liquéfaction, et ensuite la chaleur moins forte, mais constante, de l'intérieur de la terre les a volatilisés, et a poussé ces fumées métalliques jusqu'au sommet des plus hautes montagnes, où elles se sont accumulées en grains ou attachées en vapeurs aux sables et aux autres matières dans lesquelles on les trouve aujourd'hui. Les paillettes d'or, que l'eau roule avec les sables, tirent leur origine, soit des masses d'or fondues par le feu primitif, soit des surfaces dorées par cette sublimation, desquelles l'action de l'air et de l'eau les détachent et les séparent.

Mais revenons à l'objet immédiat de nos expériences. Il me paraît qu'elles ne laissent aucun doute sur la pesanteur réelle du feu, et qu'on peut assurer, en conséquence de leurs résultats, que toute matière solide, pénétrée de cet élément autant qu'elle peut l'être par l'application que nous savons en faire, est au moins d'une six centième partie plus pesante que dans l'état de la température actuelle, et qu'il faut 1 livre de matière ignée pour donner à 600 livres de toute autre matière l'état d'incandescence jusqu'au rouge couleur

(*) L'action seule de la chaleur, du « feu » comme dit Buffon, est incapable d'augmenter ou de diminuer le poids d'une substance; pour que le poids de cette dernière soit altéré, il faut qu'il y ait, en même temps, combinaison ou décomposition. Si, par exemple, sous l'action du feu, le fer s'oxyde, c'est-à-dire se combine avec de l'oxygène, il augmente forcément de poids. Si, au contraire, il diminue de poids, c'est parce qu'il perd une partie de l'oxyde qui s'est formé.

de feu, et environ 1 livre sur 500 pour que l'incandescence soit jusqu'au blanc ou jusqu'à la fusion; en sorte que le fer chauffé à blanc ou le verre en fusion contiennent dans cet état $\frac{1}{500}$ de matière ignée dont leur propre substance est pénétrée.

Mais cette grande vérité, qui paraîtra nouvelle aux physiciens, et de laquelle on pourra tirer des conséquences utiles, ne nous apprend pas encore ce qu'il serait cependant le plus important de savoir : je veux dire le rapport de la pesanteur du feu à la pesanteur de l'air ou de la matière ignée à celle des autres matières. Cette recherche suppose de nouvelles découvertes auxquelles je ne suis pas parvenu, et dont je n'ai donné que quelques indications dans mon *Traité des Éléments*; car, quoique nous sachions, par mes expériences, qu'il faut une cinq centième partie de matière ignée pour donner à toute autre matière l'état de la plus forte incandescence, nous ne savons pas à quel point cette matière ignée y est condensée, comprimée, ni même accumulée, parce que nous n'avons jamais pu la saisir dans un état constant pour la peser ou la mesurer; en sorte que nous n'avons point d'unité à laquelle nous puissions rapporter la mesure de l'état d'incandescence. Tout ce que j'ai donc pu faire à la suite de mes expériences, c'est de rechercher combien il fallait consommer de matière combustible pour faire entrer dans une masse de matière solide cette quantité de matière ignée, qui est la cinq centième partie de la masse en incandescence, et j'ai trouvé, par des essais réitérés, qu'il fallait brûler 300 livres de charbon, au vent de deux soufflets de 10 pieds de longueur, pour chauffer à blanc une pièce de fonte de fer de 500 livres pesant. Mais comment mesurer, ni même estimer à peu près la quantité totale de feu produite par ces 300 livres de matière combustible? comment pouvoir comparer la quantité de feu qui se perd dans les airs avec celle qui s'attache à la pièce de fer et qui pénètre dans toutes les parties de sa substance? Il faudrait pour cela bien d'autres expériences, ou plutôt il faut un art nouveau dans lequel je n'ai pu faire que les premiers pas.

VI. — J'ai fait quelques expériences pour reconnaître combien il faut de temps aux matières qui sont en fusion pour prendre leur consistance, et passer de l'état de fluidité à celui de la solidité; combien de temps il faut pour que la surface prenne sa consistance; combien il en faut de plus pour produire cette même consistance à l'intérieur, et savoir par conséquent combien le centre d'un globe, dont la surface serait consistante et même refroidie à un certain point, pourrait néanmoins être de temps dans l'état de liquéfaction. Voici ces expériences.

SUR LE FER.

N° 1. — Le 29 juillet, à 5 heures 43 minutes, moment auquel la fonte de fer a cessé de couler, on a observé que la gueuse a pris de la consistance sur sa face supérieure en 3 minutes à sa tête, c'est-à-dire à la partie la plus éloignée du fourneau, et en 5 minutes à sa queue, c'est-à-dire à la partie la plus voisine du fourneau. L'ayant alors fait soulever du moule et casser en cinq endroits, on n'a vu aucune marque de fusibilité intérieure dans les quatre premiers morceaux : seulement, dans le morceau cassé le plus près du fourneau, la matière s'est trouvée intérieurement molle, et quelques parties se sont attachées au bout d'un petit ringard, à 5 heures 55 minutes, c'est-à-dire 12 minutes après la fin de la coulée : on a conservé ce morceau numéroté, ainsi que les suivants.

N° 2. — Le lendemain 30 juillet, on a coulé une autre gueuse à 8 heures 1 minute; et à 8 heures 4 minutes, c'est-à-dire 3 minutes après, la surface de sa tête était consolidée; et, ayant fait casser deux morceaux, il est sorti de leur intérieur une petite quantité de fonte coulante; à 8 heures 7 minutes, il y avait encore dans l'intérieur des marques évidentes de fusion, en sorte que la surface a pris consistance en 3 minutes, et l'intérieur ne l'avait pas encore prise en 6 minutes.

N° 3. — Le 31 juillet, la gueuse a cessé de couler à midi 35 minutes; sa surface dans la partie du milieu avait pris sa consistance à 39 minutes, c'est-à-dire en 4 minutes, et l'ayant cassée dans cet endroit à midi 44 minutes, il s'en est écoulé une grande quantité de fonte encore en fusion; on avait remarqué que la fonte de cette gueuse était plus liquide que celle du numéro précédent, et on a conservé un morceau cassé dans lequel l'écoulement de la matière intérieure a laissé une cavité profonde de 26 pouces dans l'intérieur de la gueuse. Ainsi la surface ayant pris en 4 minutes sa consistance solide, l'intérieur était encore en grande liquéfaction après 8 minutes $\frac{1}{2}$.

N° 4. — Le 2 août, à 4 heures 47 minutes, la gueuse qu'on a coulée s'est trouvée d'une fonte très épaisse : aussi sa surface dans le milieu a pris sa consistance en 3 minutes; et 1 minute $\frac{1}{2}$ après, lorsqu'on l'on cassée, toute la fonte de l'intérieur s'est écoulée, et n'a laissé qu'un tuyau de 6 lignes d'épaisseur sous la face supérieure, et de 1 pouce environ d'épaisseur aux autres faces.

N° 5. — Le 3 août, dans une gueuse de fonte très liquide, on a cassé trois morceaux d'environ 2 pieds $\frac{1}{2}$ de long, à commencer du côté de la tête de la gueuse, c'est-à-dire dans la partie la plus froide du moule et la plus éloignée du fourneau, et l'on a reconnu, comme il était naturel de s'y attendre, que la partie intérieure de la gueuse était moins consistante à mesure qu'on approchait du fourneau, et que la cavité intérieure, produite par l'écoulement de la fonte encore liquide, était à peu près en raison inverse de la distance au fourneau. Deux causes évidentes concourent à produire cet effet : le moule de la gueuse, formé par les sables, est d'autant plus échauffé qu'il est plus près du fourneau, et en second lieu il reçoit d'autant plus de chaleur qu'il y passe une plus grande quantité de fonte. Or, la totalité de la fonte qui constitue la gueuse passe dans la partie du moule où se forme la queue, auprès de l'ouverture de la coulée, tandis que la tête de la gueuse n'est formée que de l'excédent qui a parcouru le moule entier et s'est déjà refroidi avant d'arriver dans cette partie la plus éloignée du fourneau, la plus froide de toutes, et qui n'est échauffée que par la seule matière qu'elle contient. Aussi des trois morceaux pris à la tête de cette gueuse, la surface du premier, c'est-à-dire du plus éloigné du fourneau, a pris sa consistance en 1 minute $\frac{1}{2}$, mais tout l'intérieur a coulé au bout de 3 minutes $\frac{1}{2}$. La surface du second a de même pris sa consistance en 1 minute $\frac{1}{2}$, et l'intérieur coulait de même au bout de 3 minutes $\frac{1}{2}$; enfin la surface du troisième morceau, qui était le plus loin de la tête et qui approchait du milieu de la gueuse, a pris sa consistance en 1 minute $\frac{1}{2}$, et l'intérieur coulait encore très abondamment au bout de 4 minutes.

Je dois observer que toutes ces gueuses étaient triangulaires, et que leur face supérieure, qui était la plus grande, avait environ 6 pouces $\frac{1}{2}$ de largeur. Cette face supérieure, qui est exposée à l'action de l'air, se consolide néanmoins plus lentement que les deux faces qui sont dans le sillon où la matière a coulé; l'humidité des sables qui forment cette espèce de moule refroidit et consolide la fonte plus promptement que l'air, car dans tous les morceaux que j'ai fait casser, les cavités formées par l'écoulement de la fonte encore liquide étaient bien plus voisines de la face supérieure que des deux autres faces.

Ayant examiné tous ces morceaux après leur refroidissement, j'ai trouvé : 1° que les morceaux du n° 4 ne s'étaient consolidés que de 6 lignes d'épaisseur sous la face supérieure; 2° que ceux du n° 5 se sont consolidés de 9 lignes d'épaisseur sous cette même face supérieure; 3° que les morceaux du n° 2 s'étaient consolidés de 1 pouce d'épaisseur sous cette même face; 4° que les morceaux du n° 3 s'étaient consolidés de 1 pouce $\frac{1}{2}$ d'épaisseur sous la même face; et enfin que les morceaux du n° 1 s'étaient consolidés jusqu'à 2 pouces 3 lignes sous cette même face supérieure.

Les épaisseurs consolidées sont donc 6, 9, 12, 18, 27 lignes, et les temps employés à cette consolidation sont 1 $\frac{1}{2}$, 2 ou 2 $\frac{1}{2}$, 3, 4 $\frac{1}{2}$, 7 minutes : ce qui fait à très peu près le quart numérique des épaisseurs. Ainsi les temps nécessaires pour consolider le métal

fluide sont précisément en même raison que celle de leur épaisseur : en sorte que si nous supposons un globe isolé de toutes parts, dont la surface aura pris sa consistance en un temps donné, par exemple en 3 minutes, il faudra 4 minute $\frac{1}{2}$ de plus pour le consolider à 6 lignes de profondeur, 2 minutes $\frac{1}{4}$ pour le consolider à 9 lignes, 3 minutes pour le consolider à 12 lignes, 4 minutes pour le consolider à 18 lignes, et 7 minutes pour le consolider à 27 ou 28 lignes de profondeur, et par conséquent 36 minutes pour le consolider à 10 pieds de profondeur, etc.

SUR LE VERRE.

Ayant fait couler du laitier dans des moules très voisins du fourneau, à environ 2 pieds de l'ouverture de la coulée, j'ai reconnu, par plusieurs essais, que la surface de ces morceaux de laitier prend sa consistance en moins de temps que la fonte de fer, et que l'intérieur se consolidait aussi beaucoup plus vite, mais je n'ai pu déterminer, comme je l'ai fait sur le fer, les temps nécessaires pour consolider l'intérieur du verre à différentes épaisseurs ; je ne sais même si l'on en viendrait à bout dans un fourneau de verrerie où l'on aurait le verre en masses fort épaisses : tout ce que je puis assurer, c'est que la consolidation du verre, tant à l'extérieur qu'à l'intérieur, est à peu près une fois plus prompte que celle de la fonte du fer. Et en même temps que le premier coup de l'air condense la surface du verre liquide et lui donne une sorte de consistance solide, il la divise et la fêle en une infinité de petites parties, en sorte que le verre saisi par l'air frais ne prend pas une solidité réelle, et qu'il se brise au moindre choc ; au lieu qu'en le laissant recuire dans un four très chaud, il acquiert peu à peu la solidité que nous lui connaissons. Il paraît donc bien difficile de déterminer par l'expérience les rapports du temps qu'il faut pour consolider le verre à différentes épaisseurs au-dessous de sa surface. Je crois seulement qu'on peut, sans se tromper, prendre le même rapport pour la consolidation que celui du refroidissement du verre au refroidissement du fer, lequel rapport est de 132 à 236 par les expériences du second Mémoire (page 124).

VII. — Ayant déterminé, par les expériences précédentes, les temps nécessaires pour la consolidation du fer en fusion, tant à sa surface qu'aux différentes profondeurs de son intérieur, j'ai cherché à reconnaître, par des observations exactes, quelle était la durée de l'incandescence dans cette même matière.

1. Un renard, c'est-à-dire une loupe détachée de la gueuse par le feu de la chaufferie et prête à être portée sous le marteau, a été mise dans un lieu dont l'obscurité était égale à celle de la nuit quand le ciel est couvert : cette loupe, qui était fort enflammée, n'a cessé de donner la flamme qu'au bout de 24 minutes ; d'abord la flamme était blanche, ensuite rouge et bleuâtre sur la fin ; elle ne paraissait plus alors qu'à la partie inférieure de la loupe qui touchait la terre et ne se montrait que par ondulations ou par reprises, comme celles d'une chandelle qui s'éteint. Ainsi la première incandescence, accompagnée de flamme, a duré 24 minutes : ensuite la loupe, qui était encore bien rouge, a perdu cette couleur peu à peu et a cessé de paraître rouge au bout de 74 minutes, non compris les 24 premières, ce qui fait en tout 98 minutes ; mais il n'y avait que les surfaces supérieures et latérales qui avaient absolument perdu leur couleur rouge ; la surface inférieure, qui touchait à la terre, l'était encore aussi bien que l'intérieur de la loupe. Je commençai alors, c'est-à-dire au bout de 98 minutes, à laisser tomber quelques grains de poudre à tirer sur la surface supérieure ; ils s'enflammèrent avec explosion. On continuait de jeter de temps en temps de la poudre sur la loupe, et ce ne fut qu'au bout de 42 minutes de plus qu'elle cessa de faire explosion : à 43, 44 et 45 minutes la poudre se fondait et fusait sans explosion, en donnant seulement une petite flamme bleue. De là je crus devoir con-

clure que l'incandescence à l'intérieur de la loupe n'avait fini qu'alors, c'est-à-dire 42 minutes après celle de la surface, et qu'en tout elle avait duré 140 minutes.

Cette loupe était de figure à peu près ovale et aplatie sur deux faces parallèles; son grand diamètre était de 13 pouces, et le petit de 8 pouces; elle avait aussi, à très peu près, 8 pouces d'épaisseur partout, et elle pesait 91 livres 4 onces après avoir été refroidie.

2. Un autre renard, mais plus petit que le premier, tout aussi blanc de flamme et pétillant de feu, au lieu d'être porté sous le marteau, a été mis dans le même lieu obscur où il n'a cessé de donner de la flamme qu'au bout de 22 minutes; ensuite il n'a perdu sa couleur rouge qu'après 43 minutes, ce qui fait 65 minutes pour la durée des deux états d'incandescence à la surface, sur laquelle ayant ensuite jeté des grains de poudre, ils n'ont cessé de s'enflammer avec explosion qu'au bout de 40 minutes, ce qui fait en tout 105 minutes pour la durée de l'incandescence, tant à l'extérieur qu'à l'intérieur.

Cette loupe était à peu près circulaire, sur 9 pouces de diamètre, elle avait environ 6 pouces d'épaisseur partout; et elle s'est trouvée du poids de 54 livres après son refroidissement.

J'ai observé que la flamme et la couleur rouge suivent la même marche dans leur dégradation: elles commencent par disparaître à la surface supérieure de cette loupe, tandis qu'elles durent encore aux surfaces latérales, et continuent de paraître assez longtemps autour de la surface inférieure, qui, étant constamment appliquée sur la terre, se refroidit plus lentement que les autres surfaces qui sont exposées à l'air.

3. Un troisième renard tiré du feu très blanc, brûlant et pétillant d'étincelles et de flamme, ayant été porté dans cet état sous le marteau, n'a conservé cette incandescence enflammée que 6 minutes; les coups précipités dont il a été frappé pendant ces 6 minutes, ayant comprimé la matière, en ont en même temps réprimé la flamme qui aurait subsisté plus longtemps sans cette opération, par laquelle on en a fait une pièce de fer de 12 pouces $\frac{1}{2}$ de longueur, sur 4 pouces en carré, qui s'est trouvée peser 48 livres 4 onces après avoir été refroidie. Mais, ayant mis auparavant cette pièce encore toute rouge dans le même lieu obscur, elle n'a cessé de paraître rouge à sa surface qu'au bout de 46 minutes, y compris les 6 premières. Ayant ensuite fait l'épreuve avec de la poudre à tirer qui n'a cessé de s'enflammer avec explosion que 26 minutes après les 46, il en résulte que l'incandescence intérieure et totale a duré 72 minutes.

En comparant ensemble ces trois expériences, on peut conclure que la durée de l'incandescence totale est, comme celle de la prise de consistance, proportionnelle à l'épaisseur de la matière. Car la première loupe, qui avait 8 pouces d'épaisseur, a conservé son incandescence pendant 140 minutes: la seconde, qui avait 6 pouces d'épaisseur, l'a conservée pendant 105 minutes; et la troisième, qui n'avait que 4 pouces, ne l'a conservée que pendant 72 minutes. Or, $105 : 140 :: 6 : 8$, et de même $72 : 140$ à peu près $:: 4 : 8$, en sorte qu'il paraît y avoir même rapport entre les temps qu'entre les épaisseurs.

4. Pour m'assurer encore mieux de ce fait important, j'ai cru devoir répéter l'expérience sur une loupe, prise, comme la précédente, au sortir de la chaufferie. On l'a portée tout enflammée sous le marteau; la flamme a cessé au bout de 6 minutes, et dans ce moment on a cessé de la battre; on l'a mise tout de suite dans le même lieu obscur; le rouge n'a cessé qu'au bout de 39 minutes, ce qui donne 45 minutes pour les deux états d'incandescence à la surface; ensuite la poudre n'a cessé de s'enflammer avec explosion qu'au bout de 28 minutes: ainsi l'incandescence intérieure et totale a duré 73 minutes. Or, cette pièce avait, comme la précédente, 4 pouces juste d'épaisseur, sur deux faces en carré, et 10 pouces $\frac{1}{4}$ de longueur: elle pesait 39 livres 4 onces après avoir été refroidie.

Cette dernière expérience s'accorde si parfaitement avec celle qui la précède et avec les deux autres, qu'on ne peut pas douter qu'en général la durée de l'incandescence ne

soit à très peu près proportionnelle à l'épaisseur de la masse, et que par conséquent ce grand degré de feu ne suive la même loi que celle de la chaleur médiocre; en sorte que, dans des globes de même matière, la chaleur ou le feu du plus haut degré, pendant tout le temps de l'incandescence, s'y conservent et y durent précisément en raison de leur diamètre. Cette vérité, que je voulais acquérir et démontrer par le fait, semble nous indiquer que les causes cachées (*causæ latentes*) de Newton, desquelles j'ai parlé dans le premier de ces Mémoires, ne s'opposent que très peu à la sortie du feu, puisqu'elle se fait de la même manière que si les corps étaient entièrement et parfaitement perméables, et que rien ne s'opposât à son issue. Cependant on serait porté à croire que plus la même matière est comprimée, plus elle doit retenir de temps le feu; en sorte que la durée de l'incandescence devrait être alors en plus grande raison que celle des épaisseurs ou des diamètres. J'ai donc essayé de reconnaître cette différence par l'expérience suivante.

5. J'ai fait forger une masse cubique de fer de 5 pouces 9 lignes de toutes faces; elle a subi trois chaudes successives, et l'ayant laissée refroidir, son poids s'est trouvé de 48 livres 9 onces. Après l'avoir pesée, on l'a mise de nouveau au feu de l'affinerie, où elle n'a été chauffée que jusqu'au rouge couleur de feu, parce qu'alors elle commençait à donner un peu de flamme, et qu'en la laissant au feu plus longtemps le fer aurait brûlé. De là on l'a transportée tout de suite dans le même lieu obscur, où j'ai vu qu'elle ne donnait aucune flamme; néanmoins elle n'a cessé de paraître rouge qu'au bout de 32 minutes, et la poudre n'a cessé de s'enflammer à sa surface avec explosion que 43 minutes après: ainsi l'incandescence totale a duré 95 minutes. On a pesé cette masse une seconde fois après son entier refroidissement; elle s'est trouvée peser 48 livres 1 once: ainsi elle avait perdu au feu 8 onces de son poids, et elle en aurait perdu davantage, si on l'eût chauffée jusqu'au blanc.

En comparant cette expérience avec les autres, on voit que l'épaisseur de la masse étant de 5 pouces $\frac{3}{4}$, l'incandescence totale a duré 95 minutes dans cette pièce de fer, comprimée autant qu'il est possible, et que dans les premières masses qui n'avaient point été comprimées par le marteau, l'épaisseur étant de 7 pouces, l'incandescence a duré 105 minutes, et l'épaisseur étant de 8 pouces, elle a duré 140 minutes. Or, $140 : 8$ ou $105 : 6 :: 95 : 5 \frac{9}{21}$, au lieu que l'expérience nous donne $5 \frac{3}{4}$. Les causes cachées, dont la principale est la compression de la matière, et les obstacles qui en résultent pour l'issue de la chaleur, semblent donc produire cette différence de $5 \frac{3}{4}$ à $5 \frac{9}{21}$, ce qui fait $\frac{27}{84}$ ou un peu plus d'un tiers sur $\frac{15}{3}$, c'est-à-dire environ $\frac{1}{16}$ sur le tout. En sorte que le fer bien battu, bien *sué*, bien comprimé, ne perd son incandescence qu'en 17 de temps, tandis que le même fer qui n'a point été comprimé la perd en 16 du même temps. Et ceci paraît se confirmer par les expériences 3 et 4, où les masses de fer, ayant été comprimées par une seule volée de coups de marteau, n'ont perdu leur incandescence qu'au bout de 72 et 73 minutes, au lieu de 70 qu'a duré celle des loupes non comprimées, ce qui fait $2 \frac{1}{2}$ sur 70 ou $\frac{5}{140}$ ou $\frac{1}{28}$ de différence produite par cette compression. Ainsi l'on ne doit pas être étonné que la seconde et la troisième compression qu'a subies la masse de fer de la cinquième expérience, qui a été battue par trois volées de coups de marteau, aient produit $\frac{1}{16}$ au lieu de $\frac{1}{28}$ de différence dans la durée de l'incandescence. On peut donc assurer en général que la plus forte compression qu'on puisse donner à la matière, pénétrée de feu autant qu'elle peut l'être, ne diminue que d'une seizième partie la durée de son incandescence, et que dans la matière qui ne reçoit point de compression extérieure, cette durée est précisément en même raison que son épaisseur.

Maintenant, pour appliquer au globe de la terre le résultat de ces expériences, nous considérerons qu'il n'a pu prendre sa forme élevée sous l'équateur, et abaissée sous les pôles, qu'en vertu de la force centrifuge, combinée avec celle de la pesanteur; que, par conséquent, il a dû tourner sur son axe pendant un petit temps avant que sa surface ait

pris sa consistance, et qu'ensuite la matière intérieure s'est consolidée dans les mêmes rapports de temps indiqués par nos expériences; en sorte qu'en partant de la supposition d'un jour au moins pour le petit temps nécessaire à la prise de consistance à sa surface, et en admettant, comme nos expériences l'indiquent, un temps de 3 minutes pour en consolider la matière intérieure à 1 pouce de profondeur, il se trouvera 36 minutes pour 1 pied, 216 minutes pour 1 toise, 342 jours pour 1 lieue, et 490,086 jours, ou environ 1,342 ans, pour qu'un globe de fonte de fer qui aurait, comme celui de la terre, 4,432 lieues $\frac{1}{2}$ de demi-diamètre, eût pris sa consistance jusqu'au centre.

La supposition que je fais ici d'un jour de rotation pour que le globe terrestre ait pu s'élever régulièrement sous l'équateur et s'abaisser sous les pôles, avant que sa surface ne fût consolidée, me paraît plutôt trop faible que trop forte; car il a peut-être fallu un grand nombre de révolutions de vingt-quatre heures chacune sur son axe, pour que la matière fluide se soit solidement établie, et l'on voit bien que, dans ce cas, le temps nécessaire pour la prise de consistance de la matière au centre se trouvera plus grand (*). Pour le réduire autant qu'il est possible, nous n'avons fait aucune attention à l'effet de la force centrifuge qui s'oppose à celui de la réunion des parties, c'est-à-dire à la prise de consistance de la matière en fusion. Nous avons supposé encore, dans la même vue de diminuer le temps, que l'atmosphère de la terre, alors toute en feu, n'était néanmoins pas plus chaude que celle de mon fourneau, à quelques pieds de distance, où se sont faites les expériences, et c'est en conséquence de ces deux suppositions trop gratuites que nous ne trouvons que 1,342 ans pour le temps employé à la consolidation du globe jusqu'au centre. Mais il me paraît certain que cette estimation du temps est de beaucoup trop faible, par l'observation constante que j'ai faite sur la prise de consistance des gueuses à la tête et à la queue; car il faut trois fois autant de temps et plus pour que la partie de la gueuse qui est à 18 pieds du fourneau prenne consistance, c'est-à-dire que, si la surface de la tête de la gueuse, qui est à 18 pieds du fourneau, prend consistance en 1 minute $\frac{1}{2}$, celle de la queue, qui n'est qu'à 2 pieds de fourneau, ne prend consistance qu'en 4 minutes $\frac{1}{2}$ ou 5 minutes; en sorte que la chaleur plus grande de l'air contribue prodigieusement au maintien de la fluidité; et l'on conviendra sans peine avec moi que, dans ce premier temps de liquéfaction du globe de la terre, la chaleur de l'atmosphère de vapeurs qui l'entourait était plus grande que celle de l'air à 2 pieds de distance du feu de mon fourneau, et que par conséquent il a fallu beaucoup plus de temps pour consolider le globe jusqu'au centre. Or, nous avons démontré, par les expériences du premier Mémoire (a), qu'un globe de fer gros comme la terre, pénétré de feu seulement jusqu'au rouge, serait plus de quatre-vingt-seize mille six cent soixante-dix ans à se refroidir, auxquels, ajoutant deux ou trois mille ans pour le temps de sa consolidation jusqu'au centre, il résulte qu'en tout il faudrait environ cent mille ans pour refroidir au point de la température actuelle un globe de fer gros comme la terre, sans compter la durée du premier état de liquéfaction, ce qui recule encore les limites du temps, qui semble fuir et s'étendre à mesure que nous cherchons à le saisir. Mais tout ceci sera plus amplement discuté et déterminé plus précisément dans les Mémoires suivants.

(a) Voyez ci-devant, p. 89.

(*) D'après Poisson, en admettant que le globe terrestre ait d'abord été fluide, comme on le pense généralement, c'est par son centre et non par sa surface que le refroidissement et la consolidation auraient commencé.

NEUVIÈME MÉMOIRE

EXPÉRIENCES SUR LA FUSION DES MINES DE FER (*).

Je ne pourrai guère mettre d'autre liaison entre ces Mémoires, ni d'autre ordre entre mes différentes expériences, que celui du temps ou plutôt de la succession de mes idées. Comme je ne me trouvais pas assez instruit dans la connaissance des minéraux, que je n'étais pas satisfait de ce qu'on en dit dans les livres, que j'avais bien de la peine à entendre ceux qui traitent de la chimie, où je voyais d'ailleurs des principes précaires, toutes les expériences faites en petit et toujours expliquées dans l'esprit d'une même méthode, j'ai voulu travailler par moi-même; et, consultant plutôt mes désirs que ma force, j'ai commencé par faire établir sous mes yeux des forges et des fourneaux en grand, que je n'ai pas cessé d'exercer continuellement depuis sept ans.

Le petit nombre d'auteurs qui ont écrit sur les mines de fer ne donnent, pour ainsi dire, qu'une nomenclature assez inutile, et ne parlent point des différents traitements de chacune de ces mines. Ils comprennent dans les mines de fer : l'aimant, l'émeril, l'hématite, etc., etc., qui sont en effet des minéraux ferrugineux en partie, mais qu'on ne doit pas regarder comme de vraies mines de fer, propres à être fondues et converties en ce métal; nous ne parlerons ici que de celles dont on doit faire usage, et on peut les réduire à deux espèces principales.

La première est la mine en roche, c'est-à-dire en masses dures, solides et compactes, qu'on ne peut tirer et séparer qu'à force de coins, de marteaux et de masses, et qu'on pourrait appeler *Pierre de fer*. Ces mines ou roches de fer se trouvent en Suède, en Allemagne, dans les Alpes, dans les Pyrénées, et généralement dans la plupart des hautes montagnes de la terre, mais en bien plus grande quantité vers le nord que du côté du midi. Celles de Suède sont de couleur de fer pour la plupart, et paraissent être du fer presque à demi préparé par la nature; il y en a aussi de couleur brune, rousse ou jaunâtre; il y en a même de toutes blanches à Allevard en Dauphiné, ainsi que d'autres couleurs : ces dernières mines semblent être composées comme du spath, et on ne reconnaît qu'à leur pesanteur, plus grande que celle des autres spaths, qu'elles contiennent une grande quantité de métal. On peut aussi s'en assurer en les mettant au feu; car, de quelque couleur qu'elles soient, blanches, grises, jaunes, rousses, verdâtres, bleuâtres, violettes ou rouges, toutes deviennent noires à une légère calcination. Les mines de Suède, qui, comme je l'ai dit, semblent être de la pierre de fer, sont attirées par l'aimant; il en est de même de la plupart des autres mines en roche, et généralement de toute matière ferrugineuse qui a subi l'action du feu. Les mines de fer en grain, qui ne sont point du tout magnétiques, le deviennent lorsqu'on les fait griller au feu : ainsi les mines de fer en roche et en grandes masses étant magnétiques, doivent leur origine à l'élément du feu. Celles de Suède, qui ont été les mieux observées, sont très étendues et très profondes; les filons sont perpendi-

(*) Buffon avait installé à Montbard des forges importantes dans lesquelles il fit, tant pour son compte que pour celui du gouvernement français, des expériences nombreuses. Il se piquait de fabriquer des fers de qualité égale, sinon supérieure, à tous ceux de l'Angleterre et de la Suède, qui jouissaient alors comme aujourd'hui d'une réputation incontestée. C'est dans ces forges que furent fabriquées la plupart des grillès qui, à l'heure actuelle, entourent les jardins du Muséum.

Il n'y a pas de sacrifices que Buffon ne fit pour améliorer sa fabrication, et il fut un temps où les étrangers eux-mêmes venaient visiter ses ateliers.

culaires, toujours épais de plusieurs pieds, et quelquefois de quelques toises : on les travaille comme on travaillerait de la pierre très dure dans une carrière. On y trouve souvent de l'asbeste, ce qui prouve encore que ces mines ont été formées par le feu.

Les mines de la seconde espèce ont, au contraire, été formées par l'eau, tant du détriement des premières que de toutes les particules de fer que les végétaux et les animaux rendent à la terre par la décomposition de leur substance : ces mines, formées par l'eau, sont le plus ordinairement en grains arrondis, plus ou moins gros, mais dont aucun n'est attirable par l'aimant avant d'avoir subi l'action du feu, ou plutôt celle de l'air par le moyen du feu ; car ayant grillé plusieurs de ces mines dans des vaisseaux ouverts, elles sont toutes devenues très attirables à l'aimant, au lieu que dans les vaisseaux clos, quoique chauffées à un plus grand feu et pendant plus de temps, elles n'avaient point du tout acquis la vertu magnétique.

On pourrait ajouter à ces mines en grain, formées par l'eau, une seconde espèce de mine souvent plus pure, mais bien plus rare, qui se forme également par le moyen de l'eau : ce sont les mines de fer cristallisées. Mais comme je n'ai pas été à portée de traiter par moi-même les mines de fer en roche, produites par le feu, non plus que les mines de fer cristallisées par l'eau, je ne parlerai que de la fusion des mines en grain, d'autant que ces dernières mines sont celles qu'on exploite plus communément dans nos forges de France.

La première chose que j'ai trouvée, et qui me paraît être une découverte utile, c'est qu'avec une mine qui donnait le plus mauvais fer de la province de Bourgogne, j'ai fait du fer aussi ductile, aussi nerveux, aussi ferme que les fers du Berri, qui sont réputés les meilleurs de France. Voici comment j'y suis parvenu : le chemin que j'ai tenu est bien plus long, mais personne avant moi n'ayant frayé la route, on ne sera pas étonné que j'aie fait du circuit.

J'ai pris le dernier jour d'un fondage, c'est-à-dire le jour où l'on allait faire cesser le feu d'un fourneau à fondre la mine de fer, qui durait depuis plus de quatre mois. Ce fourneau, d'environ 20 pieds de hauteur et de 5 pieds $\frac{1}{2}$ de largeur à sa cuve, était bien échauffé, et n'avait été chargé que de cette mine qui avait la fausse réputation de ne pouvoir donner que des fontes très blanches, très cassantes, et par conséquent du fer à très gros grain, sans nerf et sans ductilité. Comme j'étais dans l'idée que la trop grande violence du feu ne peut qu'aigrir le fer, j'employai ma méthode ordinaire, et que j'ai suivie constamment dans toutes mes recherches sur la nature, qui consiste à voir les extrêmes avant de considérer les milieux : je fis donc, non pas ralentir, mais enlever les soufflets, et ayant fait en même temps découvrir le toit de la halle, je substituai aux soufflets un ventilateur simple, qui n'était qu'un cône creux, de 2 $\frac{1}{4}$ pieds de longueur sur 4 pieds de diamètre au gros bout, et 3 pouces seulement à sa pointe, sur laquelle on adapta une buse de fer, et qu'on plaça dans le trou de la tuyère ; en même temps on continuait à charger de charbon et de mine, comme si l'on eût voulu continuer à couler ; les charges descendaient bien plus lentement, parce que le feu n'était plus animé par le vent des soufflets ; il l'était seulement par un courant d'air que le ventilateur tirait d'en haut, et qui, étant plus frais et plus dense que celui du voisinage de la tuyère, arrivait avec assez de vitesse pour produire un murmure constant dans l'intérieur du fourneau. Lorsque j'eus fait charger environ deux milliers de charbon et quatre milliers de mine, je fis discontinuer pour ne pas trop embarrasser le fourneau, et, le ventilateur étant toujours à la tuyère, je laissai baisser les charbons et la mine sans remplir le vide qu'ils laissaient au-dessus. Au bout de quinze ou seize heures, il se forma de petites loupes, dont on tira quelques-unes par le trou de la tuyère, et quelques autres par l'ouverture de la coulée : le feu dura quatre jours de plus, avant que le charbon ne fût entièrement consumé, et dans cet intervalle de temps on tira des loupes plus grosses que les premières ; et, après les quatre jours, on en trouva de plus grosses encore en vidant le fourneau.

Après avoir examiné ces loupes, qui me parurent être d'une très bonne étoffe, et dont la plupart portaient à leur circonférence un grain fin et tout semblable à celui de l'acier, je les fis mettre au feu de l'affinerie et porter sous le marteau : elles en soutinrent le coup sans se diviser, sans s'éparpiller en étincelles, sans donner une grande flamme, sans laisser couler beaucoup de laitier, choses qui toutes arrivent lorsqu'on forge du mauvais fer. On les forgea à la manière ordinaire : les barres qui en provenaient n'étaient pas toutes de la même qualité; les unes étaient de fer, les autres d'acier, et le plus grand nombre de fer par un bout ou par un côté, et d'acier par l'autre. J'en ai fait faire des poinçons et des ciseaux par des ouvriers, qui trouvèrent cet acier aussi bon que celui d'Allemagne. Les barres qui n'étaient que de fer étaient si fermes, qu'il fut impossible de les rompre avec la masse, et qu'il fallut employer le ciseau d'acier pour les entamer profondément des deux côtés avant de pouvoir les rompre ; ce fer était tout nerf, et ne pouvait se séparer qu'en se déchirant par le plus grand effort. En le comparant au fer que donne cette même mine fondue en gueuses à la manière ordinaire, on ne pouvait se persuader qu'il provenait de la même mine, dont on n'avait jamais tiré que du fer à gros grain, sans nerf et très cassant.

La quantité de mine que j'avais employée dans cette expérience aurait dû produire au moins 1,200 livres de fonte, c'est-à-dire environ 800 livres de fer, si elle eût été fondue par la méthode ordinaire, et je n'avais obtenu que 280 livres, tant d'acier que de fer, de toutes les loupes que j'avais réunies ; et en supposant un déchet de moitié du mauvais fer au bon, et de trois quarts du mauvais fer à l'acier, je voyais que ce produit ne pouvait équivaloir qu'à 500 livres de mauvais fer, et que par conséquent il y avait eu plus du quart de mes quatre milliers de mine qui s'était consumé en pure perte, et en même temps près du tiers du charbon brûlé sans produit.

Ces expériences étant donc excessivement chères, et voulant néanmoins les suivre, je pris le parti de faire construire deux fourneaux plus petits, tous deux cependant de 14 pieds de hauteur, mais dont la capacité intérieure du second était d'un tiers plus petite que celle premier. Il fallait, pour charger et remplir en entier mon grand fourneau de fusion, cent trente-cinq corbeilles de charbon de 40 livres chacune, c'est-à-dire 5,400 livres de charbon, au lieu que dans mes petits fourneaux il ne fallait que 900 livres de charbon pour remplir le premier, et 600 livres pour remplir le second, ce qui diminuait considérablement les trop grands frais de ces expériences. Je fis adosser ces fourneaux l'un à l'autre, afin qu'ils pussent profiter de leur chaleur mutuelle : ils étaient séparés par un mur de 3 pieds, et environnés d'un autre mur de 4 pieds d'épaisseur, le tout bâti en bon moellon et de la même pierre calcaire dont on se sert dans le pays pour faire les étalages des grands fourneaux. La forme de la cavité de ces petits fourneaux était pyramidale sur une base carrée, s'élevant d'abord perpendiculairement à 3 pieds de hauteur, et ensuite s'inclinant en dedans sur le reste de leur élévation, qui était de 11 pieds : de sorte que l'ouverture supérieure se trouvait réduite à 14 pouces au plus grand fourneau, et 11 pouces au plus petit. Je ne laissai dans le bas qu'une seule ouverture à chacun de mes fourneaux ; elle était surbaissée en forme de voûte ou de lunette, dont le sommet ne s'élevait qu'à 2 pieds $\frac{1}{2}$ dans la partie intérieure, et à 4 pieds en dehors ; je faisais remplir cette ouverture par un petit mur de briques, dans lequel on laissait un trou de quelques pouces en bas pour écouler le laitier, et un autre trou à 1 pied $\frac{1}{2}$ de hauteur pour pomper l'air : je ne donne point ici la figure de ces fourneaux, parce qu'ils n'ont pas assez bien réussi pour que je prétende les donner pour modèles, et que d'ailleurs j'y ai fait et j'y fais encore des changements essentiels à mesure que l'expérience m'apprend quelque chose de nouveau. D'ailleurs, ce que je viens de dire suffit pour en donner une idée, et aussi pour l'intelligence de ce qui suit.

Ces fourneaux étaient placés de manière que leur face antérieure, dans laquelle étaient

les ouvertures en lunette, se trouvait parallèle au courant d'eau qui fait mouvoir les roues des soufflets de mon grand fourneau et de mes affineries, en sorte que le grand entonnoir ou ventilateur dont j'ai parlé pouvait être posé de manière qu'il recevait sans cesse un air frais par le mouvement des roues; il portait cet air au fourneau auquel il aboutissait par sa pointe, qui était une buse ou tuyau de fer de forme conique, et de 1 pouce $\frac{1}{2}$ de diamètre à son extrémité. Je fis faire en même temps deux tuyaux d'aspiration, l'un de 10 pieds de longueur sur 14 pouces de largeur pour le plus grand de mes petits fourneaux, et l'autre de 7 pieds de longueur et de 11 pouces de côté pour le plus petit. Je fis ces tuyaux d'aspiration carrés, parce que les ouvertures du dessus des fourneaux étaient carrées, et que c'était sur ces ouvertures qu'il fallait les poser; et quoique ces tuyaux fussent faits d'une tôle assez légère, sur un châssis de fer mince, ils ne laissaient pas d'être pesants, et même embarrassants par leur volume, surtout quand ils étaient fort échauffés: quatre hommes avaient assez de peine pour les déplacer et les replacer, ce qui cependant était nécessaire toutes les fois qu'il fallait charger les fourneaux.

J'y ai fait dix-sept expériences, dont chacune durait ordinairement deux ou trois jours et deux ou trois nuits. Je n'en donnerai pas le détail, non seulement parce qu'il serait fort ennuyeux, mais même assez inutile, attendu que je n'ai pu parvenir à une méthode fixe, tant pour conduire le feu que pour le forcer à donner toujours le même produit. Je dois donc me borner aux simples résultats de ces expériences, qui m'ont démontré plusieurs vérités que je crois très utiles.

La première, c'est qu'on peut faire de l'acier de la meilleure qualité sans employer du fer comme on le fait communément, mais seulement en faisant fondre la mine à un feu long et gradué. De mes dix-sept expériences il y en a eu six où j'ai eu de l'acier bon et médiocre, sept où je n'ai eu que du fer, tantôt très bon et tantôt mauvais, et quatre où j'ai eu une petite quantité de fonte et du fer environné d'excellent acier. On ne manquera pas de me dire: Donnez-nous donc au moins le détail de celles qui vous ont produit du bon acier. Ma réponse est aussi simple que vraie, c'est qu'en suivant les mêmes procédés aussi exactement qu'il m'était possible, en chargeant de la même façon, mettant la même quantité de mine et de charbon, ôtant et mettant le ventilateur et les tuyaux d'aspiration pendant un temps égal, je n'en ai pas moins eu des résultats tout différents. La seconde expérience me donnera de l'acier par les mêmes procédés que la première, qui ne m'avait produit que du fer d'une qualité assez médiocre; la troisième, par les mêmes procédés, m'a donné de très bon fer; et quand après cela j'ai voulu varier la suite des procédés et changer quelque chose à mes fourneaux, le produit en a peut-être moins varié par ces grands changements qu'il n'avait fait par le seul caprice du feu, dont les effets et la conduite sont si difficiles à suivre qu'on ne peut les saisir ni même les deviner qu'après une infinité d'épreuves et de tentatives qui ne sont pas toujours heureuses. Je dois donc me borner à dire ce que j'ai fait, sans anticiper sur ce que des artistes plus habiles pourront faire; car il est certain qu'on parviendra à une méthode sûre de tirer de l'acier de toute mine de fer sans la faire couler en gueuses et sans convertir la fonte en fer.

C'est ici la seconde vérité, aussi utile que la première. J'ai employé trois différentes sortes de mines dans ces expériences; j'ai cherché, avant de les employer, le moyen d'en bien connaître la nature. Ces trois espèces de mines étaient, à la vérité, toutes les trois en grains plus ou moins fins; je n'étais pas à portée d'en avoir d'autres, c'est-à-dire des mines en roche, en assez grande quantité pour faire mes expériences; mais je suis bien convaincu, après avoir fait les épreuves de mes trois différents mines en grain, et qui toutes trois m'ont donné de l'acier sans fusion précédente, que les mines en roche, et toutes les mines de fer en général, pourraient donner également de l'acier en les traitant comme j'ai traité les mines en grain. Dès lors il faut donc bannir de nos idées le préjugé si anciennement, si universellement reçu, que la qualité du fer dépend de celle de la mine.

Rien n'est plus mal fondé que cette opinion ; c'est au contraire uniquement de la conduite du feu et de la manipulation de la mine que dépend la bonne ou la mauvaise qualité de la fonte, du fer et de l'acier. Il faut encore bannir un autre préjugé, c'est qu'on ne peut avoir de l'acier qu'en le tirant du fer ; tandis qu'il est très possible, au contraire, d'en tirer immédiatement de toutes sortes de mines. On rejettera donc en conséquence les idées de M. Yonge et de quelques autres chimistes qui ont imaginé qu'il y avait des mines qui avaient la qualité particulière de pouvoir donner de l'acier à l'exclusion de toutes les autres.

Une troisième vérité que j'ai recueillie de mes expériences, c'est que toutes nos mines de fer en grain, telles que celles de Bourgogne, de Champagne, de Franche-Comté, de Lorraine, du Nivernais, de l'Angoumois, etc., c'est-à-dire presque toutes les mines dont on fait nos fers en France, ne contiennent point de soufre comme les mines en roche de Suède ou d'Allemagne, et que par conséquent elles n'ont pas besoin d'être grillées ni traitées de la même manière : le préjugé du soufre contenu en grande quantité dans les mines de fer nous est venu des métallurgistes du Nord, qui, ne connaissant que leurs mines en roche qu'on tire de la terre à de grandes profondeurs, comme nous tirons des pierres d'une carrière, ont imaginé que toutes les mines de fer étaient de la même nature et contenaient, comme elles, une grande quantité de soufre. Et comme les expériences sur les mines de fer sont très difficiles à faire, nos chimistes s'en sont rapportés aux métallurgistes du Nord, et ont écrit, comme eux, qu'il y avait beaucoup de soufre dans nos mines de fer, tandis que toutes les mines en grain que je viens de citer n'en contiennent point du tout, ou si peu qu'on n'en sent pas l'odeur de quelque façon qu'on les brûle. Les mines en roche ou en pierre, dont j'ai fait venir des échantillons de Suède et d'Allemagne, répandent au contraire une forte odeur de soufre lorsqu'on les fait griller, et en contiennent réellement une très grande quantité dont il faut les dépouiller avant de les mettre au fourneau pour les fondre.

Et de là suit une quatrième vérité tout aussi intéressante que les autres, c'est que nos mines en grain valent mieux que ces mines en roche tant vantées, et que si nous ne faisons pas du fer aussi bon ou meilleur que celui de Suède, c'est purement notre faute et point du tout celle de nos mines, qui toutes nous donneraient des fers de la première qualité si nous les traitions avec le même soin que prennent les étrangers pour arriver à ce but. Il nous est même plus aisé de l'atteindre, nos mines ne demandant pas, à beaucoup près, autant de travaux que les leurs. Voyez, dans Swedenborg, le détail de ces travaux : la seule extraction de la plupart de ces mines en roche qu'il faut aller arracher du sein de la terre à 3 ou 400 pieds de profondeur, casser à coups de marteaux, de masses et de leviers, enlever ensuite par des machines jusqu'à la hauteur de terre, doit coûter beaucoup plus que le tirage de nos mines en grain, qui se fait, pour ainsi dire, à fleur de terrain et sans autre instrument que la pioche et la pelle. Ce premier avantage n'est pas encore le plus grand, car il faut reprendre ces quartiers, ces morceaux de pierres de fer, les porter sous les maillets d'un bocard pour les concasser, les broyer et les réduire au même état de division où nos mines en grain se trouvent naturellement ; et comme cette mine concassée contient une grande quantité de soufre, elle ne produirait que de très mauvais fer si on ne prenait pas la précaution de lui enlever la plus grande partie de ce soufre surabondant avant de la jeter au fourneau. On la répand à cet effet sur des bûchers d'une vaste étendue où elle se grille pendant quelques semaines : cette consommation très considérable de bois, jointe à la difficulté de l'extraction de la mine, rendrait la chose impraticable en France à cause de la cherté des bois. Nos mines, heureusement, n'ont pas besoin d'être grillées, et il suffit de les laver pour les séparer de la terre avec laquelle elles sont mêlées ; la plupart se trouvent à quelques pieds de profondeur : l'exploitation de nos mines se fait donc à beaucoup moins de frais, et cependant nous ne profitons pas

de tous ces avantages, ou du moins nous n'en avons pas profité jusqu'ici, puisque les étrangers nous apportent leurs fers qui leur coûtent tant de peines, et que nous les achetons de préférence aux nôtres, sur la réputation qu'ils ont d'être de meilleure qualité.

Ceci tient à une cinquième vérité, qui est plus morale que physique : c'est qu'il est plus aisé, plus sûr et plus profitable de faire, surtout en ce genre, de la mauvaise marchandise que de la bonne. Il est bien plus commode de suivre la routine qu'on trouve établie dans les forges que de chercher à en perfectionner l'art. Pourquoi vouloir faire du bon fer ? disent la plupart des maîtres de forges ; on ne le vendra pas une pistole au-dessus du fer commun, et il nous reviendra peut-être à trois ou quatre de plus, sans compter les risques et les frais des expériences et des essais, qui ne réussissent pas tous à beaucoup près. Malheureusement cela n'est que trop vrai : nous ne profiterons jamais de l'avantage naturel de nos mines, ni même de notre intelligence, qui vaut bien celle des étrangers, tant que le gouvernement ne donnera pas à cet objet plus d'attention, tant qu'on ne favorisera pas le petit nombre de manufactures où l'on fait du bon fer, et qu'on permettra l'entrée des fers étrangers. Il me semble que l'on peut démontrer avec la dernière évidence le tort que cela fait aux arts et à l'État ; mais je m'écarterais trop de mon sujet si j'entrais ici dans cette discussion.

Tout ce que je puis assurer comme une sixième vérité, c'est qu'avec toutes sortes de mines on peut toujours obtenir du fer de même qualité : j'ai fait brûler et fondre successivement dans mon plus grand fourneau, qui a 23 pieds de hauteur, sept espèces de mines différentes, tirées à deux, trois et quatre lieues de distance les unes des autres, dans des terrains tous différents, les unes en grains plus gros que des pois, les autres en grains gros comme des chevrotines, plomb à lièvre, et les autres plus menues que le plus petit plomb à tirer ; et de ces sept différentes espèces de mine, dont j'ai fait fondre plusieurs centaines de milliers, j'ai toujours eu le même fer : ce fer est bien connu, non seulement dans la province de Bourgogne où sont situées mes forges, mais même à Paris, où s'en fait le principal débit, et il est regardé comme de très bonne qualité. On serait donc fondé à croire que j'ai toujours employé la même mine, qui, toujours traitée de la même façon, m'aurait constamment donné le même produit, tandis que, dans le vrai, j'ai usé de toutes les mines que j'ai pu découvrir, et que ce n'est qu'en vertu des précautions et des soins que j'ai pris de les traiter différemment que je suis parvenu à en tirer un résultat semblable, et un produit de même qualité. Voici les observations et les expériences que j'ai faites à ce sujet : elles seront utiles et même nécessaires à tous ceux qui voudront connaître la qualité des mines qu'ils emploient.

Nos mines de fer en grain ne se trouvent jamais pures dans le sein de la terre : toutes sont mélangées d'une certaine quantité de terre qui peut se délayer dans l'eau, et d'un sable plus ou moins fin, qui, dans de certaines mines, est de nature calcaires, dans d'autres de nature vitrifiable, et quelquefois mêlée l'une de l'autre ; je n'ai pas vu qu'il n'y eût aucun autre mélange dans les sept espèces de mines que j'ai traitées et fondues avec un égal succès. Pour reconnaître la quantité de terre qui doit se délayer dans l'eau, et que l'on peut espérer de séparer de la mine au lavage, il faut en peser une petite quantité dans l'état même où elle sort de la terre, la faire ensuite sécher, et mettre en compte le poids de l'eau qui se sera dissipée par le dessèchement. On mettra cette terre séchée dans un vase que l'on remplira d'eau, et on la remuera : dès que l'eau sera jaune ou bourbeuse, on la versera dans un vase plat pour en faire évaporer l'eau par le moyen du feu ; après l'évaporation, on mettra à part le résidu terreux. On réitérera cette même manipulation jusqu'à ce que la mine ne colore plus l'eau qu'on verse dessus, ce qui n'arrive jamais qu'après un grand nombre de lotions. Alors on réunit ensemble tous ces résidus terreux, et on les pèse pour connaître leur quantité relative à celle de la mine.

Cette première partie du mélange étant connue et son poids constaté, il restera les

grains de mines et les sables que l'eau n'a pu délayer : si ces sables sont calcaires, il faudra les faire dissoudre à l'eau-forte, et on en connaîtra la quantité en les faisant précipiter après les avoir dissous ; on les pèsera, et dès lors on saura au juste combien la mine contient de terre, de sable calcaire et de fer en grain. Par exemple, la mine dont je me suis servi pour la première expérience de ce Mémoire contenait, par once, 1 gros $\frac{1}{2}$ de terre délayée par l'eau, 1 gros 55 grains de sable dissous par l'eau-forte, 3 gros 66 grains de mine de fer, et il y a eu 59 grains de perdus dans les lotions et dissolutions. C'est M. Daubenton, de l'Académie des sciences, qui a bien voulu faire cette expérience à ma prière, et qui l'a faite avec toute l'exactitude qu'il apporte à tous les sujets qu'il traite.

Après cette épreuve, il faut examiner attentivement la mine dont on vient de séparer la terre et le sable calcaire, et tâcher de reconnaître, à la seule inspection, s'il ne se trouve pas encore parmi les grains de fer des particules d'autres matières que l'eau-forte n'aurait pu dissoudre, et qui par conséquent ne seraient pas calcaires. Dans celle dont je viens de parler, il n'y en avait point du tout, et dès lors j'étais assuré que, sur une quantité de 576 livres de cette mine, il y avait 282 parties de mines de fer, 127 de matière calcaire, et le reste de terre qui peut se délayer à l'eau. Cette connaissance une fois acquise, il sera aisé d'en tirer les procédés qu'il faut suivre pour faire fondre la mine avec avantage et avec certitude d'en obtenir du bon fer, comme nous le dirons dans la suite.

Dans les six autres espèces de mines que j'ai employées, il s'en est trouvé quatre dont le sable n'était point dissoluble à l'eau-forte, et dont par conséquent la nature n'était pas calcaire, mais vitrifiable ; et les deux autres, qui étaient à plus gros grains de fer que les cinq premières, contenaient des graviers calcaires en assez petite quantité, et de petits cailloux arrondis qui étaient de la nature de la calcédoine, et qui ressemblaient par la forme aux chrysalides des fourmis : les ouvriers employés à l'extraction et au lavage de mes mines les appelaient *œufs de fourmis*. Chacune de ces mines exige une suite de procédés différents pour les fondre avec avantage et pour en tirer du fer de même qualité.

Ces procédés, quoique assez simples, ne laissent pas d'exiger une grande attention : comme il s'agit de travailler sur des milliers de quintaux de mine, on est forcé de chercher tous les moyens et de prendre toutes les voies qui peuvent aller à l'économie ; j'ai acquis sur cela de l'expérience à mes dépens, et je ne ferai pas mention des méthodes qui, quoique plus précises et meilleures que celles dont je vais parler, seraient trop dispendieuses pour pouvoir être mises en pratique. Comme je n'ai pas eu d'autre but dans mon travail que celui de l'utilité publique, j'ai tâché de réduire ces procédés à quelque chose d'assez simple pour pouvoir être entendu et exécuté par tous les maîtres de forges qui voudront faire du bon fer : mais néanmoins en les prévenant d'avance que ce bon fer leur coûtera plus que le fer commun qu'ils ont coutume de fabriquer, par la même raison que le pain blanc coûte plus que le pain bis ; car il ne s'agit de même que de cribler, trier et séparer le bon grain de toutes les matières hétérogènes dont il se trouve mélangé.

Je parlerai ailleurs de la recherche et de la découverte des mines, mais je suppose ici les mines toutes trouvées et triées ; je suppose aussi que, par des épreuves semblables à celles que je viens d'indiquer, on connaisse la nature des sables qui y sont mélangés. La première opération qu'il faut faire, c'est de les transporter aux lavoirs, qui doivent être d'une construction différente selon les différentes mines : celles qui sont en grains plus gros que les sables qu'elles contiennent, doivent être lavées dans des lavoirs forcés de fer et percés de petits trous comme ceux qu'a proposés M. Robert (a), et qui sont très bien

(a) *Méthode pour laver les mines de fer*, in-12. Paris, 1757.

imaginés, car ils servent en même temps de lavoirs et de cribles ; l'eau emmène avec elle toute la terre qu'elle peut délayer, et les sablons plus menus que les grains de la mine passent en même temps par les petits trous dont le fond du lavoir est percé ; et, dans le cas où les sablons sont aussi gros, mais moins durs que le grain de la mine, le râble de fer les écrase, et ils tombent avec l'eau au-dessous du lavoir ; la mine reste nette et assez dure pour qu'on la puisse fondre avec économie. Mais ces mines, dont les grains sont plus gros et plus durs que ceux des sables ou petits cailloux qui y sont mélangés, sont assez rares. Des sept espèces de mine que j'ai eu occasion de traiter, il ne s'en est trouvée qu'une qui fût dans le cas d'être lavée à ce lavoir, que j'ai fait exécuter et qui a bien réussi : cette mine est celle qui ne contenait que du sable calcaire, qui communément est moins dur que le grain de la mine. J'ai néanmoins observé que les râbles de fer, en frottant contre le fond du lavoir, qui est aussi de fer, ne laissaient pas d'écraser une assez grande quantité de grains de mine, qui dès lors passaient avec le sable et tombaient en pure perte sous le lavoir, et je crois cette perte inévitable dans les lavoirs foncés de fer. D'ailleurs la quantité de castine que M. Robert était obligé de mêler à ses mines, et qu'il dit être d'un tiers de la mine (a), prouve qu'il restait encore après le lavage une portion considérable de sablon vitrifiable ou de terre vitrescible dans ces mines ainsi lavées ; car il n'aurait eu besoin que d'un sixième ou même d'un huitième de castine, si les mines eussent été plus épurées, c'est-à-dire plus dépourvues de la terre grasse ou du sable vitrifiable qu'elles contenaient.

Au reste, il n'était pas possible de se servir de ce même lavoir pour les autres six espèces de mines que j'ai eu à traiter : de ces six, il y en avait quatre qui se sont trouvées mêlées d'un sablon vitrescible aussi dur et même plus dur, et en même temps plus gros ou aussi gros que les grains de la mine. Pour épurer ces quatre espèces de mine, je me suis servi de lavoirs ordinaires et foncés de bois plein, avec un courant d'eau plus rapide qu'à l'ordinaire ; on les passait neuf fois de suite à l'eau, et à mesure que le courant vif de l'eau emportait la terre et le sablon le plus léger et le plus petit, on faisait passer la mine dans les cribles de fil de fer assez serrés pour retenir tous les petits cailloux plus gros que les grains de la mine. En lavant ainsi neuf fois et en criblant trois fois, on parvenait à ne laisser dans ces mines qu'environ un cinquième ou un sixième de ces petits cailloux ou sablons vitrescibles, et c'était ceux qui, étant de la même grosseur que les grains de la mine, étaient aussi de la même pesanteur, en sorte qu'on ne pouvait les séparer ni par le lavoir ni par le crible. Après cette première préparation, qui est tout ce qu'on peut faire par le moyen du lavoir et des cribles à l'eau, la mine était assez nette pour pouvoir être mise au fourneau ; et comme elle était encore mélangée d'un cinquième ou d'un sixième de matières vitrescibles, on pouvait la fondre avec un quart de castine ou matière calcaire, et en obtenir de très bon fer en ménageant les charges, c'est-à-dire en mettant moins de mine que l'on n'en met ordinairement ; mais comme alors on ne fond pas à profit, parce qu'on use une grande quantité de charbon, il faut encore tâcher d'épurer sa mine avant de la jeter au fourneau. On ne pourra guère en venir à bout qu'en la faisant vanner et cribler à l'air, comme l'on vanne et crible le blé. J'ai séparé par ces moyens encore plus d'une moitié des matières hétérogènes qui restaient dans mes mines, et, quoique cette dernière opération soit longue et même assez difficile à exécuter en grand, j'ai reconnu, par l'épargne du charbon, qu'elle était profitable ; il en coûtait vingt sous pour vanner et cribler quinze cents pesants de mine, mais on épargnait au fourneau trente-cinq sous de charbon pour la fondre : je crois donc que, quand cette pratique sera connue, on ne manquera pas de l'adopter. La seule difficulté qu'on y trouvera, c'est de faire sécher assez les mines pour les faire passer aux

(a) *Méthode pour laver les fers*, p. 12 et 13.

cribles et les vanner avantageusement. Il y a très peu de matières qui retiennent l'humidité aussi longtemps que les mines de fer en grain (a). Une seule pluie les rend humides pour plus d'un mois; il faut donc des hangars couverts pour les déposer, il faut les étendre par petites couches de 3 ou 4 pouces d'épaisseur, les remuer, les exposer au soleil, en un mot les sécher autant qu'il est possible; sans cela, le van ni le crible ne peuvent faire leur effet. Ce n'est qu'en été qu'on peut y travailler, et quand il s'agit de faire passer au crible quinze ou dix-huit cent milliers de mine que l'on brûle au fourneau dans cinq ou six mois, on sent bien que le temps doit toujours manquer, et il manque en effet; car je n'ai pu, par chaque été, faire traiter ainsi qu'environ cinq ou six cents milliers. Cependant, en augmentant l'espace des hangars, et en doublant les machines et les hommes, on en viendrait à bout, et l'économie qu'on trouverait par la moindre consommation de charbon dédommagerait et au delà de tous ces frais.

On doit traiter de même les mines qui sont mélangées de graviers calcaires et de petits cailloux ou de sable vitrescible; en séparer le plus que l'on pourra de cette seconde matière à laquelle la première sert de fondant, et que par cette raison il n'est pas nécessaire d'ôter, à moins qu'elle ne fût en trop grande quantité: j'en ai travaillé deux de cette espèce; elles sont plus fusibles que les autres, parce qu'elles contiennent une bonne quantité de castine, et qu'il ne leur en faut ajouter que peu ou même point du tout, dans le cas où il n'y aurait que peu ou point de matières vitrescibles.

Lorsque les mines de fer ne contiennent point de matières vitrescibles et ne sont mélangées que de matières calcaires, il faut tâcher de reconnaître la proportion du fer et de la matière calcaire, en séparant les grains de mine un à un sur une petite quantité, ou en dissolvant à l'eau-forte les parties calcaires, comme je l'ai dit ci-devant. Lorsqu'on se sera assuré de cette proportion, on saura tout ce qui est nécessaire pour fondre ces mines avec succès: par exemple, la mine qui a servi à la première expérience, et qui contenait 1 gros 55 grains de sable calcaire sur 3 gros 66 grains de fer en grain, et dont il s'était perdu 59 grains dans les lotions et la dissolution, était par conséquent mélangée d'environ un tiers de castine ou de matière calcaire, sur deux tiers de fer en grain. Cette mine porte donc naturellement sa castine, et on ne peut que gâter la fonte si on ajoute encore de la matière calcaire pour la fondre. Il faut au contraire y mêler des matières vitrescibles, et choisir celles qui se fondent le plus aisément: en mettant un quinzième ou même un seizième de terre vitrescible qu'on appelle *aubue*, j'ai fondu cette mine avec un grand succès, et elle m'a donné d'excellent fer, tandis qu'en la fondant avec une addition de castine, comme c'était l'usage dans le pays avant moi, elle ne produisait qu'une mauvaise fonte qui cassait par son propre poids sur les rouleaux en la conduisant à l'affinerie.

Ainsi, toutes les fois qu'une mine de fer se trouve naturellement surchargée d'une grande quantité de matières calcaires, il faut, au lieu de castine, employer de l'*aubue* pour la fondre avec avantage. On doit préférer cette terre *aubue* à toutes les autres matières vitrescibles, parce qu'elle fond plus aisément que le caillou, le sable cristallin et les autres matières du genre vitrifiable qui pourraient faire le même effet, mais qui exigeraient plus de charbon pour se fondre. D'ailleurs, cette terre *aubue* se trouve presque partout, et est la terre la plus commune dans nos campagnes. En se fondant elle saisit les sablons calcaires, les pénètre, les ramollit et les fait couler avec elle plus promptement que ne pour-

(a) Pour reconnaître la quantité d'humidité qui réside dans la mine de fer, j'ai fait sécher, et, pour ainsi dire, griller dans un four très chaud 300 livres de celle qui avait été la mieux lavée, et qui s'était déjà séchée à l'air; et ayant pesé cette mine au sortir du four, elle ne pesait plus que 252 livres: ainsi la quantité de la matière humide ou volatile que la chaleur lui enlève est à très peu près d'un sixième de son poids total, et je suis persuadé que si on la grillait à un feu plus violent, elle perdrait encore plus.

rait faire le petit caillou ou le sable vitrescible, auxquels il faut beaucoup plus de feu pour les fondre.

On est dans l'erreur lorsqu'on croit que la mine de fer ne peut se fondre sans castine. On peut la fondre, non seulement sans castine, mais même sans aubue et sans aucun autre fondant lorsqu'elle est nette et pure; mais il est vrai qu'alors il se brûle une quantité assez considérable de mine qui tombe en mauvais laitier et qui diminue le produit de la fonte; il s'agit donc, pour fondre le plus avantageusement qu'il est possible, de trouver d'abord quel est le fondant qui convient à la mine, et ensuite dans quelle proportion il faut lui donner ce fondant pour qu'elle se convertisse entièrement en fonte de fer, et qu'elle ne brûle pas avant d'entrer en fusion. Si la mine est mêlée d'un tiers ou d'un quart de matières vitrescibles, et qu'il ne s'y trouve aucune matière calcaire, alors un demi-tiers ou un demi-quart de matières calcaires suffira pour la fondre; et si, au contraire, elle se trouve naturellement mélangée d'un tiers ou d'un quart de sable ou de graviers calcaires, un quinzième ou un dix-huitième d'aubue suffira pour la faire couler et la préserver de l'action trop subite du feu qui ne manquerait pas de la brûler en partie. On pêche presque partout par l'excès de castine qu'on met dans les fourneaux; il y a même des maîtres de cet art assez peu instruits pour mettre de la castine et de l'aubue tout ensemble ou séparément, suivant qu'ils imaginent que leur mine est trop froide ou trop chaude, tandis que dans le réel toutes les mines de fer, du moins toutes les mines en grain, sont également fusibles, et ne diffèrent les unes des autres que par les matières dont elles sont mélangées, et point du tout par leurs qualités intrinsèques, qui sont absolument les mêmes et qui m'ont démontré que le fer, comme tout autre métal, est un dans la nature.

On reconnaîtra par les laitiers si la proportion de la castine ou de l'aubue que l'on jette au fourneau pêche par excès ou par défaut: lorsque les laitiers sont trop légers, spongieux et blancs, presque semblables à la pierre ponce, c'est une preuve certaine qu'il y a trop de matière calcaire; en diminuant la quantité de cette matière on verra le laitier prendre plus de solidité, et former un verre ordinairement de couleur verdâtre qui file, s'étend et coule lentement au sortir du fourneau. Si au contraire le laitier est trop visqueux, s'il ne coule que très difficilement, s'il faut l'arracher du sommet de la dame, on peut être sûr qu'il n'y a pas assez de castine, ou peut-être pas assez de charbon proportionnellement à la mine; la consistance et même la couleur du laitier sont les indices les plus sûrs du bon ou du mauvais état du fourneau, et de la bonne ou mauvaise proportion des matières qu'on y jette; il faut que le laitier coule seul et forme un ruisseau lent sur la pente qui s'étend du sommet de la dame au terrain; il faut que sa couleur ne soit pas d'un rouge trop vif ou trop foncé, mais d'un rouge pâle et blanchâtre, et lorsqu'il est refroidi on doit trouver un verre solide, transparent et verdâtre, aussi pesant et même plus que le verre ordinaire. Rien ne prouve mieux le mauvais travail du fourneau ou la disproportion des mélanges que les laitiers trop légers, trop pesants, trop obscurs; et ceux dans lesquels on remarque plusieurs petits trous ronds, gros comme les grains de mine, ne sont pas des laitiers proprement dits, mais de la mine brûlée qui ne s'est pas fondue.

Il y a encore plusieurs attentions nécessaires, et quelques précautions à prendre pour fondre les mines de fer avec la plus grande économie. Je suis parvenu, après un grand nombre d'essais réitérés, à ne consommer que 4 livre 7 onces $\frac{1}{2}$ ou tout au plus 4 livre 8 onces de charbon pour 4 livre de fonte; car avec 2,880 livres de charbon, lorsque mon fourneau est pleinement animé, j'obtiens constamment des gueuses de 1,875, 1,900 et 1,950 livres, et je crois que c'est le plus haut point d'économie auquel on puisse arriver; car M. Robert, qui, de tous les maîtres de cet art, est peut-être celui qui, par le moyen de son lavoir, a le plus épuré ses mines, consommait néanmoins 4 livre 10 onces

de charbon pour chaque livre de fonte, et je doute que la qualité de ses fontes fût aussi parfaite que celle des miennes; mais cela dépend, comme je viens de le dire, d'un grand nombre d'observations et de précautions dont je vais indiquer les principales.

1^o La cheminée du fourneau, depuis la cuve jusqu'au gueulard, doit être circulaire et non pas à huit pans, comme était le fourneau de M. Robert, ou carrée, comme le sont les cheminées de la plupart des fourneaux en France : il est bien aisé de sentir que dans un carré la chaleur se perd dans les angles sans réagir sur la mine, et que par conséquent on brûle plus de charbon pour en fondre la même quantité.

2^o L'ouverture du gueulard ne doit être que de la moitié du diamètre de la largeur de la cuve du fourneau : j'ai fait des fondages avec de très grands et de très petits gueulards, par exemple, de 3 pieds $\frac{1}{2}$ de diamètre, la cuve n'ayant que 5 pieds de diamètre, ce qui est à peu près la proportion des fourneaux de Suède; et j'ai vu que chaque livre de fonte consommait près de 2 livres de charbon. Ensuite, ayant rétréci la cheminée du fourneau, et laissant toujours à la cuve un diamètre de 5 pieds, j'ai réduit le gueulard à 2 pieds de diamètre, et dans ce fondage j'ai consommé 1 livre 13 onces de charbon pour chaque livre de fonte. La proportion qui m'a le mieux réussi, et à laquelle je me suis tenu, est celle de 2 pieds $\frac{1}{2}$ de diamètre au gueulard, sur 5 pieds à la cuve, la cheminée formant un cône droit, portant sur des gueuses circulaires depuis la cuve au gueulard, le tout construit avec des briques capables de résister au plus grand feu. Je donnerai ailleurs la composition de ces briques, et les détails de la construction du fourneau, qui est toute différente de ce qui s'est pratiqué jusqu'ici, surtout pour la partie qu'on appelle *l'ouvrage dans le fourneau*.

3^o La manière de charger le fourneau ne laisse pas d'influer beaucoup plus qu'on ne croit sur le produit de la fusion : au lieu de charger, comme c'est l'usage, toujours du côté de la rustine, et de laisser couler la mine en pente, de manière que ce côté de rustine est constamment plus chargé que les autres, il faut la placer au milieu du gueulard, l'élever en cône obtus, et ne jamais interrompre le cours de la flamme qui doit toujours envelopper le tas de mine tout autour, et donner constamment le même degré de feu. Par exemple, je fais charger communément six paniers de charbon de 40 livres chacun, sur huit mesures de mine de 55 livres chacune, et je fais couler à douze charges; j'obtiens communément 1,925 livres de fonte de la meilleure qualité; on commence, comme partout ailleurs, à mettre le charbon; j'observe seulement de ne me servir au fourneau que de charbon de bois de chêne, et je laisse pour les affineries le charbon des bois plus doux. On jette d'abord cinq paniers de ce gros charbon de bois de chêne, et le dernier panier qu'on impose sur les cinq autres doit être d'un charbon plus menu que l'on entasse et brise avec un râble, pour qu'il remplisse exactement les vides que laissent entre eux les gros charbons : cette précaution est nécessaire pour que la mine, dont les grains sont très menus, ne perce pas trop vite, et n'arrive pas trop tôt au bas du fourneau; c'est aussi par la même raison, qu'avant d'imposer la mine sur ce dernier charbon, qui doit être non pas à fleur du gueulard, mais à 2 pouces au-dessous, il faut, suivant la nature de la mine, répandre une portion de la castine ou de l'aubue, nécessaire à la fusion, sur la surface du charbon : cette couche de matière soutient la mine et l'empêche de percer. Ensuite on impose au milieu de l'ouverture une mesure de mine qui doit être mouillée, non pas assez pour tenir à la main, mais assez pour que les grains aient entre eux quelque adhérence, et fassent quelques petites pelotes : sur cette première mesure de mine, on en met une seconde et on relève le tout en cône, de manière que la flamme l'enveloppe en entier, et, s'il y a quelques points dans cette conférence où la flamme ne perce pas, on enfonce un petit ringard pour lui donner jour, afin d'en entretenir l'égalité tout autour de la mine. Quelques minutes après, lorsque le cône de mine est affaissé de moitié ou des deux tiers, on impose de la même façon une

troisième et une quatrième mesure qu'on relève de même, et ainsi de suite jusqu'à la huitième mesure. On emploie quinze ou vingt minutes à charger successivement la mine : cette manière est meilleure et bien plus profitable que la façon ordinaire qui est en usage, par laquelle on se presse de jeter, et toujours du même côté, la mine tout ensemble en moins de trois ou quatre minutes.

4^o La conduite du vent contribue beaucoup à l'augmentation du produit de la mine et de l'épargne du charbon ; il faut, dans le commencement du fondage, donner le moins de vent qu'il est possible, c'est-à-dire à peu près six coups de soufflets par minute, et augmenter peu à peu le mouvement pendant les quinze premiers jours, au bout desquels on peut aller jusqu'à onze et même jusqu'à douze coups de soufflets par minute ; mais il faut encore que la grandeur des soufflets soit proportionnée à la capacité du fourneau, et que l'orifice de la tuyère soit placé d'un tiers plus près de la rustine que de la tympe, afin que le vent ne se porte pas trop du côté de l'ouverture qui donne passage au laitier. Les buses des soufflets doivent être posées à 6 ou 7 pouces en dedans de la tuyère, et le milieu du creuset doit se trouver à l'aplomb du centre du gueulard ; de cette manière, le vent circule à peu près également dans toute la cavité du fourneau, et la mine descend, pour ainsi dire, à plomb, et ne s'attache que très rarement et en petite quantité aux parois du fourneau : dès lors il s'en brûle très peu, et l'on évite les embarras qui se forment souvent par cette mine attachée, et les bouillonnements qui arrivent dans le creuset lorsqu'elle vient à se détacher et y tomber en masse ; mais je renvoie les détails de la construction et de la conduite des fourneaux à un autre Mémoire, parce que ce sujet exige une très longue discussion. Je pense que j'en ai dit assez pour que les maîtres de forges puissent m'entendre et changer ou perfectionner leurs méthodes d'après la mienne. J'ajouterai seulement que, par les moyens que je viens d'indiquer et en ne pressant pas le feu, en ne cherchant point à accélérer les coulées, en n'augmentant de mine qu'avec précaution, en se tenant toujours au-dessous de la quantité qu'on pourrait charger, on sera sûr d'avoir de très bonne fonte grise dont on tirera d'excellent fer, et qui sera toujours de même qualité, de quelque mine qu'il provienne ; je puis l'assurer de toutes les mines en grain, puisque j'ai sur cela l'expérience la plus constante et les faits les plus réitérés. Mes fers, depuis cinq ans, n'ont jamais varié pour la qualité, et néanmoins j'ai employé sept espèces de mine différentes ; mais je n'ai garde d'assurer de même que les mines de fer en roche donneraient, comme celles en grain, du fer de même qualité, car celles qui contiennent du cuivre ne peuvent guère produire que du fer aigre et cassant, de quelque manière qu'on voulût les traiter, parce qu'il est comme impossible de les purger de ce métal, dont le moindre mélange gâte beaucoup la qualité du fer ; celles qui contiennent des pyrites et beaucoup de soufre demandent à être traitées dans de petits fourneaux presque ouverts, ou à la manière des forges des Pyrénées ; mais comme toutes les mines en grain, du moins toutes celles que j'ai eu occasion d'examiner (et j'en ai vu beaucoup, m'en étant procuré d'un grand nombre d'endroits), ne contiennent ni cuivre ni soufre, on sera certain d'avoir du très bon fer, et de la même qualité, en suivant les procédés que je viens d'indiquer. Et comme ces mines en grain sont, pour ainsi dire, les seules que l'on exploite en France, et qu'à l'exception des provinces du Dauphiné, de Bretagne, du Roussillon, du pays de Foix, etc., où l'on se sert de mine en roche, presque toutes nos autres provinces n'ont que des mines en grain, les procédés que je viens de donner pour le traitement de ces mines en grain seront plus généralement utiles au royaume que les manières particulières de traiter les mines en roche, dont d'ailleurs on peut s'instruire dans Swedenborg et dans quelques autres auteurs.

Ces procédés, que tous les gens qui connaissent les forges peuvent entendre aisément, se réduisent à séparer d'abord autant qu'il sera possible toutes les matières étrangères qui se trouvent mêlées avec la mine : si l'on pouvait en avoir le grain pur et sans aucun mélange, tous les fers, dans tous les pays, seraient exactement de la même qualité. Je me suis

assuré, par un grand nombre d'essais, que toutes les mines en grain, ou plutôt tous les grains des différentes mines, sont à très peu près de la même substance. Le fer est un dans la nature, comme l'or et tous les autres métaux; et dans les mines en grain les différences qu'on y trouve ne viennent pas de la matière qui compose le grain, mais de celles qui se trouvent mêlées avec les grains et que l'on ne sépare pas avant de les faire fondre. La seule différence que j'aie observée entre les grains des différentes mines que j'ai fait trier un à un pour faire mes essais, c'est que les plus petits sont ceux qui ont la plus grande pesanteur spécifique, et par conséquent ceux qui, sous le même volume, contiennent le plus de fer; il y a communément une petite cavité au centre de chaque grain; plus ils sont gros plus ce vide est grand; il n'augmente pas comme le volume seulement, mais en bien plus grande proportion, en sorte que les plus gros grains sont à peu près comme les géodes ou pierres d'aigle, qui sont elles-mêmes de gros grains de mine de fer, dont la cavité intérieure est très grande: ainsi les mines en grain très menus sont ordinairement les plus riches; j'en ai tiré jusqu'à quarante-neuf et cinquante par cent de fer en gueuse, et je suis persuadé que, si je les avais épurées en entier, j'aurais obtenu plus de soixante par cent; car il y restait environ un cinquième de sable vitrescible aussi gros et à peu près aussi pesant que le grain, et que je n'avais pu séparer; ce cinquième déduit sur cent, reste quatre-vingts, dont ayant tiré cinquante, on aurait par conséquent obtenu soixante-deux et demi. On demandera peut-être comment je devais m'assurer qu'il ne restait qu'un cinquième de matières hétérogènes dans la mine, et comment il faut faire en général pour reconnaître cette quantité; cela n'est point du tout difficile: il suffit de peser exactement une demi-livre de la mine, la livrer ensuite à une petite personne attentive, once par once, et lui en faire trier tous les grains un à un; ils sont toujours très reconnaissables par leur luisant métallique; et lorsqu'on les a tous triés, on pèse les grains d'un côté et les sablons de l'autre pour reconnaître la proportion de leurs quantités.

Les métallurgistes qui ont parlé des mines de fer en roche disent qu'il y en a quelques-unes de si riches, qu'elles donnent soixante-dix et même soixante-quinze et davantage de fer en gueuse par cent; cela semble prouver que ces mines en roche sont en effet plus abondantes en fer que les mines en grain. Cependant j'ai quelque peine à le croire, et ayant consulté les Mémoires de feu M. Jars, qui a fait en Suède des observations exactes sur les mines, j'ai vu que, selon lui, les plus riches ne donnent que cinquante pour cent de fonte en gueuse. J'ai fait venir des échantillons de plusieurs mines de Suède, de celles des Pyrénées et de celles d'Allevard en Dauphiné, que M. le comte de Baral a bien voulu me procurer en m'envoyant la note ci-jointe (a), et les ayant comparées à la balance hydrostatique avec nos mines en grain, elles se sont à la vérité trouvées plus pesantes; mais cette épreuve n'est pas concluante, à cause de la cavité qui se trouve dans chaque grain de nos

(a) « La terre d'Allevard est composée du bourg d'Allevard et de cinq paroisses, dans lesquelles il peut y avoir près de six mille personnes toutes occupées, soit à l'exploitation des mines, soit à convertir les bois en charbon et aux travaux des fourneaux, forges et martinets: la hauteur des montagnes est pleine de rameaux de mines de fer, et elles y sont si abondantes qu'elles fournissent des mines à toute la province du Dauphiné. Les qualités en sont si fines et si pures qu'elles ont toujours été absolument nécessaires pour la fabrique royale de canons de Saint-Gervais, d'où l'on vient les chercher à grands frais; ces mines sont toutes répandues dans le cœur des roches, où elles forment des rameaux, et dans lesquelles elles se renouvellent par une végétation continuelle.

» Le fourneau est situé dans le centre des bois et des mines, c'est l'eau qui souffle le feu, et les courants d'eau sont immenses. Il n'y a par conséquent aucun soufflet, mais l'eau tombe dans des arbres creusés dans de grands tonneaux, y attire une quantité d'air immense qui va par un conduit souffler le fourneau; l'eau, plus pesante, s'enfuit par d'autres conduits. »

mines, dont on ne peut pas estimer au juste, ni même à peu près, le rapport avec le volume total du grain; et l'épreuve chimique que M. Sage a faite, à ma prière, d'un morceau de mine de fer cubique, semblable à celui de Sibérie, que mes tireurs de mine ont trouvé dans le territoire de Montbard, semble confirmer mon opinion, M. Sage n'en ayant tiré que cinquante pour cent (a). Cette mine est toute différente de nos mines en grain, le fer y étant contenu en masses de figure cubique, au lieu que tous nos grains sont toujours plus ou moins arrondis, et que, quand ils forment une masse, ils ne sont pour ainsi dire qu'agglutinés par un ciment terreux facile à diviser; au lieu que dans cette mine cubique, ainsi que dans toutes les autres vraies mines en roche, le fer est intimement uni avec les autres matières qui composent leur masse. J'aurais bien désiré faire l'épreuve en grand de cette mine cubique; mais on n'en a trouvé que quelques petits morceaux dispersés çà et là dans les fouilles des autres mines, et il m'a été impossible d'en rassembler assez pour en faire l'essai dans mes fourneaux.

Les essais en grand des différentes mines de fer sont plus difficiles et demandent plus d'attention qu'on ne l'imaginerait. Lorsque l'on veut fondre une nouvelle mine, et en comparer au juste le produit avec celui des mines dont on usait précédemment, il faut prendre le temps où le fourneau est en plein exercice, et, s'il consomme dix mesures de mine par charge, ne lui en donner que sept ou huit de la nouvelle mine. Il m'est arrivé d'avoir fort embarrassé mon fourneau faute d'avoir pris cette précaution, parce qu'une mine dont on n'a point encore usé peut exiger plus de charbon qu'une autre ou plus ou moins de vent, plus ou moins de castine, et pour ne rien risquer il faut commencer par une moindre quantité, et changer ainsi jusqu'à la première coulée. Le produit de cette première coulée est une fonte mélangée environ par moitié de la mine ancienne et de la nouvelle; et ce n'est qu'à la seconde, et quelquefois même à la troisième coulée que l'on a sans mélange la fonte produite par la nouvelle mine; si la fusion s'en fait avec succès, c'est-à-dire sans embarrasser le fourneau, et si les charges descendent promptement, on augmentera la quantité de mine par demi-mesure, non pas de charge en charge, mais seulement de coulées en coulées, jusqu'à ce qu'on parvienne au point d'en mettre la plus grande quantité qu'on puisse employer sans gâter sa fonte. C'est ici le point essentiel, et auquel tous les gens de cet art manquent par raison d'intérêt: comme ils ne cherchent qu'à faire la plus grande quantité de fonte, sans trop se soucier de la qualité; qu'ils paient même leur fondeur au millier, et qu'ils en sont d'autant plus contents, que cet ouvrier coule plus de fonte toutes les vingt-quatre heures, ils ont coutume de faire charger le fourneau d'autant de mine qu'il faut en supporter sans s'obstruer; et, par ce moyen, au lieu de quatre cents milliers de bonne fonte qu'ils feraient en quatre mois, ils en font, dans ce même espace de temps, cinq à six cents milliers. Cette fonte, toujours très cassante et très blanche, ne

(a) Cette mine est brune, fait feu avec le briquet, et est minéralisée par l'acide marin: on remarque dans sa fracture de petits points brillants de pyrites martiales; dans les fentes, on trouve des cubes de fer de 2 lignes de diamètre, dont les surfaces sont striées; les stries sont opposées suivant les faces. Ce caractère se remarque dans les mines de fer de Sibérie; cette mine est absolument semblable à celles de ce pays, par la couleur, la configuration des cristaux et les minéralisations; elle en diffère en ce qu'elle ne contient point d'or.

Par la distillation au fourneau de réverbère, j'ai retiré de six cents grains de cette mine vingt gouttes d'eau insipide et très claire: j'avais enduit d'huile de tartre par défaillance le récipient que j'avais adapté à la cornue; la distillation finie, je l'ai trouvé obscurci par des cristaux cubiques de sel fébrifuge de Sylvius.

Le résidu de la distillation était d'un rouge pourpre, et avait diminué de 10 livres par quintal.

J'ai retiré de cette mine 52 livres de fer par quintal; il était très ductile.

peut produire que du fer très médiocre ou mauvais : mais comme le débit en est plus assuré que celui du bon fer qu'on ne peut pas donner au même prix, et qu'il y a beaucoup plus à gagner, cette mauvaise pratique s'est introduite dans presque toutes les forges, et rien n'est plus rare que les fourneaux où l'on fait de bonnes fontes. On verra dans le Mémoire suivant, où je rapporte les expériences que j'ai faites au sujet des canons de la marine, combien les bonnes fontes sont rares, puisque celle même dont on se sert pour les canons n'est pas à beaucoup près d'une aussi bonne qualité qu'on pourrait et qu'on devrait la faire.

Il en coûte à peu près un quart de plus pour faire de la bonne fonte que pour en faire de la mauvaise : ce quart, que dans la plupart de nos provinces on peut évaluer à dix francs par millier, produit une différence de quinze francs sur chaque millier de fer ; et ce bénéfice qu'on ne fait qu'en trompant le public, c'est-à-dire en lui donnant de la mauvaise marchandise, au lieu de lui en fournir de la bonne, se trouve encore augmenté de près du double par la facilité avec laquelle ces mauvaises fontes coulent à l'affinerie ; elles demandent beaucoup moins de charbon et encore moins de travail pour être converties en fer ; de sorte qu'entre la fabrication du bon fer et du mauvais fer, il se trouve nécessairement, et tout au moins une différence de vingt-cinq francs. Et néanmoins dans le commerce, tel qu'il est aujourd'hui et depuis plusieurs années, on ne peut espérer de vendre le bon fer que dix francs tout au plus au-dessus du mauvais : il n'y a donc que les gens qui veulent bien, pour l'honneur de leur manufacture, perdre quinze francs par millier de fer, c'est-à-dire environ deux mille écus par an, qui fassent de bon fer. Perdre, c'est-à-dire gagner moins ; car avec de l'intelligence, et en se donnant beaucoup de peine, on peut encore trouver quelque bénéfice en faisant du bon fer, mais ce bénéfice est si médiocre, en comparaison du gain qu'on fait sur le fer commun, qu'on doit être étonné qu'il y ait encore quelques manufactures qui donnent du bon fer. En attendant qu'on réforme cet abus, suivons toujours notre objet : si l'on n'écoute pas ma voix aujourd'hui, quelque jour on obéira en consultant mes écrits, et l'on sera fâché d'avoir attendu si longtemps à faire un bien qu'on pourrait faire dès demain, en proscrivant l'entrée des fers étrangers dans le royaume, ou en diminuant les droits de la marque des fers.

Si l'on veut donc avoir, je ne dis pas de la fonte parfaite et telle qu'il la faudrait pour les canons de la marine, mais seulement de la fonte assez bonne pour faire du fer liant, moitié nerf et moitié grain, du fer et en un mot aussi bon et meilleur que les fers étrangers, on y parviendra très aisément par les procédés que je viens d'indiquer. On a vu dans le quatrième Mémoire, où j'ai traité de la ténacité du fer, combien il y a de différence pour la force et pour la durée entre le bon et le mauvais fer, mais je me borne dans celui-ci à ce qui a rapport à la fusion des mines et à leur produit en fonte : pour m'assurer de leur qualité et reconnaître en même temps si elle ne varie pas, mes garde-fourneaux ne manquent jamais de faire un petit enfoncement horizontal d'environ 3 pouces de profondeur à l'extrémité antérieure du moule de la gueuse ; on casse le petit morceau lorsqu'on la sort du moule, et on l'enveloppe d'un morceau de papier portant le même numéro que celui de la gueuse ; j'ai de chacun de mes fondages deux ou trois cents de ces morceaux numérotés, par lesquels je connais non seulement le grain et la couleur de mes fontes, mais aussi la différence de leur pesanteur spécifique, et par là je suis en état de prononcer d'avance sur la qualité du fer que chaque gueuse produira ; car quoique la mine soit la même et qu'on suive les mêmes procédés au fourneau, le changement de la température de l'air, le haussement ou le baissement des eaux, le jeu des soufflets plus ou moins soutenu, les retardements causés par les glaces ou par quelque accident aux roues, aux harnais ou à la tuyère, et au creuset du fourneau, rendent la fonte assez différente d'elle-même, pour qu'on soit forcé d'en faire un choix si l'on veut avoir du fer toujours de même qualité. En général, il faut, pour qu'il soit de cette bonne qualité,

que la couleur de la fonte soit d'un gris un peu brun, que le grain en soit presque aussi fin que celui de l'acier commun, que le poids spécifique soit d'environ 504 ou 505 livres par pied cube, et qu'en même temps elle soit d'une si grande distance, qu'on ne puisse casser les gueuses avec la masse.

Tout le monde sait que, quand on commence un fondage, on ne met d'abord qu'une petite quantité de mine, un sixième, un cinquième, et tout au plus un quart de la quantité qu'on mettra dans la suite, et qu'on augmente peu à peu cette première quantité pendant les premiers jours, parce qu'il en faut au moins quinze pour que le fond du fourneau soit échauffé; on donne aussi assez peu de vent dans ces commencements, pour ne pas détruire le creuset et les étalages du fourneau en leur faisant subir une chaleur trop vive et trop subite; il ne faut pas compter sur la qualité des fontes que l'on tire pendant ces premiers quinze ou vingt jours: comme le fourneau n'est pas encore réglé, le produit en varie suivant les différentes circonstances, mais lorsque le fourneau a acquis le degré de chaleur suffisant, il faut bien examiner la fonte et s'en tenir à la quantité de mine qui donne la meilleure; une mesure sur dix suffit souvent pour en changer la qualité. Ainsi l'on doit toujours se tenir au-dessous de ce que l'on pourrait fondre avec la même quantité de charbon, qui ne doit jamais varier si l'on conduit bien son fourneau. Mais je réserve les détails de cette conduite du fourneau et tout ce qui regarde sa forme et sa construction pour l'article où je traiterai du fer en particulier, dans l'histoire des minéraux, et je me bornerai ici aux choses les plus générales et les plus essentielles de la fusion des mines.

Le fer étant, comme je l'ai dit, toujours de même nature dans toutes les mines en grain, on sera donc sûr, en les nettoyant et en les traitant comme je viens de le dire, d'avoir toujours de la fonte d'une bonne et même qualité; on le reconnaîtra non seulement à la couleur, à la finesse du grain, à la pesanteur spécifique, mais encore à la ténacité de la matière: la mauvaise fonte est très cassante, et si l'on veut en faire des plaques minces et des côtés de cheminées, le seul coup de l'air les fait fendre au moment que ces pièces commencent à se refroidir, au lieu que la bonne fonte ne casse jamais, quelque mince quelle soit. On peut même reconnaître au son la bonne ou la mauvaise qualité de la fonte: celle qui sonne le mieux est toujours la plus mauvaise, et lorsqu'on veut en faire des cloches, il faut, pour qu'elles résistent à la percussion du battant, leur donner plus d'épaisseur qu'aux cloches de bronze, et choisir de préférence une mauvaise fonte, car la bonne sonnerait mal.

Au reste, la fonte de fer n'est point encore un métal: ce n'est qu'une matière mêlée de fer et de verre, qui est bonne ou mauvaise, suivant la quantité dominante de l'un ou de l'autre. Dans toutes les fontes noires, brunes et grises, dont le grain est fin et serré, il y a beaucoup plus de fer que de verre ou d'autre matière hétérogène; dans toutes les fontes blanches, où l'on voit plutôt des lames et des écailles que des grains, le verre est peut-être plus abondant que le fer: c'est par cette raison qu'elles sont plus légères et très cassantes. Le fer qui en provient conserve les mêmes qualités. On peut, à la vérité, corriger un peu cette mauvaise qualité de la fonte par la manière de la traiter à l'affinerie, mais l'art du marteleur est comme celui du fondeur, un pauvre petit métier, dont il n'y a que les maîtres de forges ignorants qui soient dupes. Jamais la mauvaise fonte ne peut produire d'aussi bon fer que la bonne; jamais le marteleur ne peut réparer pleinement ce que le fondeur a gâté.

Cette manière de fondre la mine de fer et de la faire couler en gueuses, c'est-à-dire en gros lingots de fonte, quoique la plus générale, n'est peut-être pas la meilleure ni la moins dispendieuse: on a vu, par le résultat des expériences que j'ai citées dans ce Mémoire, qu'on peut faire d'excellent fer, et même de très bon acier, sans les faire passer par l'état de la fonte. Dans nos provinces voisines des Pyrénées, en Espagne, en Italie, en Styrie,

et dans quelques autres endroits, on tire immédiatement le fer de la mine sans le faire couler en fonte. On fond ou plutôt on ramollit la mine sans fondant, c'est-à-dire sans castine, dans de petits fourneaux dont je parlerai dans la suite, et on tire des loupes ou des masses de fer déjà pur qui n'a point passé par l'état de la fonte, qui s'est formé par une demi-fusion, par une espèce de coagulation de toutes les parties ferrugineuses de la mine. Ce fer fait par coagulation est certainement le meilleur de tous : on pourrait l'appeler *fer à 24 carats* ; car, au sortir du fourneau, il est déjà presque aussi pur que celui de la fonte qu'on a purifiée par deux chaudes au feu de l'affinerie. Je crois donc cette pratique excellente, je suis même persuadé que c'est la seule manière de tirer immédiatement de l'acier de toutes les mines, comme je l'ai fait dans mes fourneaux de 14 pieds de hauteur ; mais n'ayant fait exécuter que l'été dernier, 1772, les petits fourneaux des Pyrénées, d'après un Mémoire envoyé à l'Académie des sciences, j'y ai trouvé des difficultés qui m'ont arrêté, et me forcent à renvoyer à un autre Mémoire tout ce qui a rapport à cette manière de fondre les mines de fer.

DIXIÈME MÉMOIRE

OBSERVATIONS ET EXPÉRIENCES FAITES DANS LA VUE D'AMÉLIORER LES CANONS DE LA MARINE.

Les canons de la marine sont de fonte de fer, en France comme en Angleterre, en Hollande et partout ailleurs. Deux motifs ont pu donner également naissance à cet usage ; le premier est celui de l'économie : un canon de fer coulé coûte beaucoup moins qu'un canon de fer battu, et encore beaucoup moins qu'un canon de bronze ; et cela seul a peut-être suffi pour les faire préférer, d'autant que le second motif vient à l'appui du premier. On prétend, et je suis très porté à le croire, que les canons de bronze, dont quelques-uns de nos vaisseaux de parade sont armés, rendent dans l'instant de l'explosion un son si violent qu'il en résulte dans l'oreille de tous les habitants du vaisseau un tintement assourdissant, qui leur ferait perdre en peu de temps le sens de l'ouïe. On assure, d'autre côté, que les canons de fer battu sur lesquels on pourrait, par l'épargne de la matière, regagner une partie des frais de la fabrication, ne doivent point être employés sur les vaisseaux, par cette raison même de leur légèreté, qui paraîtrait devoir les faire préférer : l'explosion les fait sauter dans les sabords, où l'on ne peut, dit-on, les retenir invinciblement, ni même assez pour les diriger à coup sûr. Si cet inconvénient n'est pas réel, ou si l'on pouvait y parer, nul doute que les canons de fer forgé ne dussent être préférés à ceux de fer coulé : ils auraient moitié plus de légèreté et plus du double de résistance. Le maréchal de Vauban en avait fait fabriquer de très beaux, dont il restait encore, ces années dernières, quelques tronçons à la manufacture de Charleville (a). Le

(a) Une personne très versée dans la connaissance de l'art des forges m'a donné la note suivante :

« Il me paraît que l'on peut faire des canons de fer battu, qui seraient beaucoup plus sûrs et plus légers que les canons de fer coulé, et voici les proportions sur lesquelles il faudrait en tenter les expériences.

» Les canons de fer battu, de quatre livres de balles, auront 7 pouces $\frac{1}{2}$ d'épaisseur à leur plus grand diamètre.

» Ceux de huit, 10 pouces.

travail n'en serait pas plus difficile que celui des ancres, et une manufacture aussi bien montée pour cet objet que l'est celle (a) de M. de la Chaussade, pour les ancres, pourrait être d'une très grande utilité.

» Ceux de douze, 1 pied.

» Ceux de vingt-quatre livres, 14 pouces.

» Ceux de trente-six livres, 16 pouces $\frac{1}{2}$.

» Ces proportions sont plutôt trop fortes que trop faibles : peut-être pourrait-on les réduire à 6 pouces $\frac{1}{2}$ pour les canons de 4 ; ceux de huit livres, à 8 pouces $\frac{1}{2}$; ceux de douze livres, à 9 pouces $\frac{1}{2}$; ceux de vingt-quatre, à 12 pouces, et ceux de trente-six, à 14 pouces.

» Les longueurs pour les canons de quatre seront de 5 pieds $\frac{1}{2}$; ceux de huit, de 7 pieds de longueur ; ceux de douze livres, 7 pieds 9 pouces de longueur ; ceux de vingt-quatre, 8 pieds 9 pouces ; ceux de trente-six, 9 pieds 2 pouces de longueur.

» L'on pourrait même diminuer ces proportions de longueur assez considérablement sans que le service en souffrit, c'est-à-dire faire les canons de quatre, de 5 pieds de longueur seulement ; ceux de huit livres, de 6 pieds 8 pouces de longueur ; ceux de douze livres, à 7 pieds de longueur ; ceux de vingt-quatre, à 7 pieds 10 pouces ; et ceux de trente-deux, à 8 pieds, et peut-être même encore au-dessous.

» Or, il ne paraît pas bien difficile : 1^o de faire des canons de quatre livres qui n'auraient que 5 pieds de longueur, sur 6 pouces $\frac{1}{2}$ d'épaisseur dans leur plus grand diamètre ; il suffirait pour cela de souder ensemble quatre barres de 3 pouces forts en carré, et d'en former un cylindre massif de 6 pouces $\frac{1}{2}$ de diamètre, sur 5 pieds de longueur ; et comme cela ne serait pas praticable dans les chaufferies ordinaires, ou du moins que cela deviendrait très difficile, il faudrait établir des fourneaux de réverbère, où l'on pourrait chauffer ces barres dans toute leur longueur pour les souder ensuite ensemble, sans être obligé de les remettre plusieurs fois au feu. Ce cylindre une fois formé, il sera facile de le forer et tourner, car le fer battu obéit bien plus aisément au foret que le fer coulé.

» Pour les canons de huit livres qui ont 6 pieds 8 pouces de longueur, sur 8 pouces $\frac{1}{2}$ d'épaisseur, il faudrait souder ensemble neuf barres de 3 pouces faibles en carré chacune, en les faisant toutes chauffer ensemble au même fourneau de réverbère, pour en faire un cylindre plein de 8 pouces $\frac{1}{2}$ de diamètre.

» Pour les canons de douze livres de balles qui doivent avoir 10 pouces $\frac{1}{2}$ d'épaisseur, on pourra les faire avec neuf barres de 3 pouces $\frac{1}{2}$ carrés, que l'on soudera toutes ensemble par les mêmes moyens.

» Et pour les canons de vingt-quatre, avec seize barres de 3 pouces en carré.

» Comme l'exécution de cette espèce d'ouvrage devient beaucoup plus difficile pour les gros canons que pour les petits, il sera juste et nécessaire de les payer à proportion plus cher.

» Le prix du fer battu est ordinairement de deux tiers plus haut que celui du fer coulé. Si l'on paie vingt francs le quintal les canons de fer coulé, il faudra donc payer ceux-ci soixante livres le quintal ; mais comme ils seront beaucoup plus minces que ceux de fer coulé, je crois qu'il serait possible de les faire fabriquer à quarante livres le quintal et peut-être au-dessous.

» Mais quand même ils coûteraient quarante livres, il y aurait encore beaucoup à gagner :

» 1^o Pour la sûreté du service, car ces canons ne crèveraient pas, ou s'ils venaient à crever, ils n'éclateraient jamais et ne feraient que se fendre, ce qui ne causerait aucun malheur ;

» 2^o Ils résisteraient beaucoup plus à la rouille, et dureraient pendant des siècles, ce qui est un avantage très considérable ;

» 3^o Comme on les forerait aisément, la direction de l'âme en serait parfaite ;

» 4^o Comme la matière en est homogène partout, il n'y aurait jamais ni cavités ni chambres ;

» 5^o Enfin comme ils seraient beaucoup plus légers, ils chargeraient beaucoup moins, tant sur mer que sur terre, et seraient plus aisés à manœuvrer. »

(a) A Guérigoy près de Nevers.

Quoi qu'il en soit, comme ce n'est pas l'état actuel des choses, nos observations ne porteront que sur les canons de fer coulé. On s'est beaucoup plaint, dans ces derniers temps, de leur peu de résistance; malgré la rigueur des épreuves, quelques-uns ont crevé sur nos vaisseaux, accident terrible, et qui n'arrive jamais sans grand dommage et perte de plusieurs hommes. Le ministère, voulant remédier à ce mal, ou plutôt le prévenir par la suite, informé que je faisais à mes forges des expériences sur la qualité de ma fonte, me demanda mes conseils en 1768, et m'invita à travailler sur ce sujet important. Je m'y livrai avec zèle, et de concert avec M. le vicomte de Morogues, homme très éclairé, je donnai, dans ce temps et dans les deux années suivantes, quelques observations au ministre, avec les expériences faites et celles qui restaient à faire pour perfectionner les canons. J'en ignore aujourd'hui le résultat et le succès: le ministre de la marine ayant changé, je n'ai plus entendu parler ni d'expériences ni de canons. Mais cela ne doit pas m'empêcher de donner, sans qu'on me le demande, les choses utiles que j'ai pu trouver en m'occupant pendant deux à trois ans de ce travail; et c'est ce qui fera le sujet de ce Mémoire qui tient de si près à celui où j'ai traité de la fusion des mines de fer qu'on peut l'en regarder comme une suite.

Les canons se fondent, en situation perpendiculaire, dans des moules de plusieurs pieds de profondeur, la culasse au fond et la bouche en haut: comme il faut plusieurs milliers de matière en fusion pour faire un gros canon plein et chargé de la masse qui doit le comprimer à sa partie supérieure, on était dans le préjugé qu'il fallait deux, et même trois fourneaux, pour fondre du gros canon. Comme les plus fortes gueuses que l'on coule dans les plus grands fourneaux ne sont que de deux mille cinq cents ou tout au plus trois mille livres, et que la matière en fusion ne séjourne jamais que douze ou quinze heures dans le creuset du fourneau, on imaginait que le double ou le triple de cette quantité de matière en fusion, qu'on serait obligé de laisser pendant trente-six ou quarante heures dans le creuset avant de la couler, non seulement pouvait détruire le creuset, mais même le fourneau par son bouillonnement et son explosion: au moyen de quoi on avait pris le parti qui paraissait le plus prudent, et on coulait les gros canons en tirant en même temps ou successivement la fonte de deux ou trois fourneaux placés de manière que les trois ruisseaux de fonte pouvaient arriver en même temps dans le moule.

Il ne faut pas beaucoup de réflexion pour sentir que cette pratique est mauvaise: il est impossible que la fonte de chacun de ces fourneaux soit au même degré de chaleur, de pureté, de fluidité; par conséquent le canon se trouve composé de deux ou trois matières différentes, en sorte que plusieurs de ses parties, et souvent un côté tout entier, se trouve nécessairement d'une matière moins bonne et plus faible que le reste, ce qui est le plus grand de tous les inconvénients en fait de résistance, puisque l'effort de la poudre, agissant également de tous côtés, ne manque jamais de se faire jour par le plus faible. Je voulus donc essayer et voir en effet s'il y avait quelque danger à tenir pendant plus de temps qu'on ne le fait ordinairement une plus grande quantité de matière en fusion: j'attendis pour cela que le creuset de mon fourneau, qui avait 18 pouces de largeur sur 4 pieds de longueur et 18 pouces de hauteur, fut encore élargi par l'action du feu, comme cela arrive toujours vers la fin du fondage; j'y laissai amasser de la fonte pendant trente-six heures; il n'y eut ni explosion ni autre bouillonnement que ceux qui arrivent quelquefois quand il tombe des matières crues dans le creuset; je fis couler après les trente-six heures, et l'on eut trois gueuses pesant ensemble quatre mille six cents livres, d'une très bonne fonte.

Par une seconde expérience, j'ai gardé la fonte pendant quarante-huit heures sans aucun inconvénient; ce long séjour ne fait que la purifier davantage, et par conséquent en diminuer le volume en augmentant la masse: comme la fonte contient une grande quantité de parties hétérogènes dont les unes se brûlent et les autres se convertissent

en verre, l'un des plus grands moyens de la dépurer est de la laisser séjourner au fourneau.

M'étant donc bien assuré que le préjugé de la nécessité de deux ou trois fourneaux était très mal fondé, je proposai de réduire à un seul les fourneaux de Ruelle en Angoumois (a), où l'on fond nos gros canons : ce conseil fut suivi et exécuté par ordre du ministre; on fonda sans inconvénient et avec tout succès, à un seul fourneau, des canons de vingt-quatre, et je ne sais si l'on n'a pas fondu depuis des canons de trente-six, car j'ai tout lieu de présumer qu'on réussirait également. Ce premier point une fois obtenu, je cherchai s'il n'y avait pas encore d'autres causes qui pouvaient contribuer à la fragilité de nos canons, et j'en trouvai en effet qui y contribuent plus encore que l'inégalité de l'étoffe dont on les composait en les coulant à deux ou trois fourneaux.

La première de ces causes est le mauvais usage qui s'est établi depuis plus de vingt ans de faire tourner la surface extérieure des canons, ce qui les rend plus agréables à la vue : il en est cependant du canon comme du soldat, il vaut mieux qu'il soit robuste qu'élégant; et ces canons tournés, polis et guillochés, ne devaient point en imposer aux yeux des braves officiers de notre marine; car il me semble qu'on peut démontrer qu'ils sont non seulement beaucoup plus faibles, mais aussi d'une bien moindre durée. Pour peu qu'on soit versé dans la connaissance de la fusion des mines de fer, on aura remarqué en coulant des enclumes, des boulets, et à plus forte raison des canons, que la force centrifuge de la chaleur pousse à la circonférence la partie la plus massive et la plus pure de la fonte : il ne reste au centre que ce qu'il y a de plus mauvais, et souvent même il s'y forme une cavité. Sur un nombre de boulets que l'on fera casser, on en trouvera plus de moitié qui auront une cavité dans le centre, et dans tous les autres une matière plus poreuse que le reste du boulet : on remarquera de plus qu'il y a plusieurs rayons qui tendent du centre à la circonférence, et que la matière est plus compacte et de meilleure qualité à mesure qu'elle est plus éloignée du centre. On observera encore que l'écorce du boulet, de l'enclume ou du canon, est beaucoup plus dure que l'intérieur : cette dureté plus grande provient de la trempe que l'humidité du moule donne à l'extérieur de la pièce, et elle pénètre jusqu'à 3 lignes d'épaisseur dans les petites pièces, et à 1 ligne $\frac{1}{2}$ dans les grosses. C'est en quoi consiste la plus grande force du canon, car cette couche extérieure réunit les extrémités de tous les rayons divergents dont je viens de parler, qui sont les lignes par où se ferait la rupture; elle sert de cuirasse au canon, elle en est la

(a) Voici l'extrait de cette proposition faite au ministre.

Comme les canons de gros calibre, tels que ceux de trente-six et de vingt-quatre, supposent un grand volume de fer en fusion, on se sert ordinairement de trois, ou tout au moins de deux fourneaux pour les couler. La mine fondue dans chacun de ces fourneaux arrive dans le moule par autant de ruisseaux particuliers. Or, cette pratique me paraît avoir les plus grands inconvénients, car il est certain que chacun de ces fourneaux donne une fonte de différente espèce, en sorte que leur mélange ne peut se faire d'une manière intime ni même en approcher. Pour le voir clairement, ne supposons que deux fourneaux, et que la fonte de l'un arrive à droite, et la fonte de l'autre arrive à gauche dans le moule du canon : il est certain que l'une de ces deux fontes étant ou plus pesante, ou plus légère, ou plus chaude, ou plus froide, ou, etc., que l'autre, elles ne se mêleront pas, et que par conséquent l'un des côtés du canon sera plus dur que l'autre; que dès lors il résistera moins d'un côté que de l'autre, et qu'ayant le défaut d'être composé de deux matières différentes, le ressort de ces parties ainsi que leur cohérence ne sera pas égal, et que par conséquent ils résisteront moins que ceux qui seraient faits d'une matière homogène. Il n'est pas moins certain que si l'on veut forer ces canons, le foret trouvant plus de résistance d'un côté que de l'autre, se détournera de la perpendiculaire du côté le plus tendre, et que la direction de l'intérieur du canon prendra de l'obliquité, etc. : il me paraît donc qu'il faudrait tâcher de fondre les canons de fer coulé avec un seul fourneau, et je crois la chose très possible.

partie la plus pure, et par sa grande dureté elle contient toutes les parties intérieures qui sont plus molles, et céderaient sans cela plus aisément à la force de l'explosion. Or que fait-on lorsqu'on tourne les canons? on commence par enlever au ciseau, poussé par le marteau, toute cette surface extérieure que les couteaux du tour ne pourraient entamer; on pénètre dans l'extérieur de la pièce jusqu'au point où elle se trouve assez douce pour se laisser tourner, et on lui enlève en même temps par cette opération peut-être un quart de sa force.

Cette couche extérieure que l'on a si grand tort d'enlever est en même temps la cuirasse et la sauvegarde du canon; non seulement elle lui donne toute la force de résistance qu'il doit avoir, mais elle le défend encore de la rouille qui ronge en peu de temps ces canons tournés : on a beau les lustrer avec de l'huile, les peindre ou les polir, comme la matière de la surface extérieure est aussi tendre que tout le reste, la rouille y mord avec mille fois plus d'avantage que sur ceux dont la surface est garantie par la trempe. Lorsque je fus donc convaincu, par mes propres observations, du préjudice que portait à nos canons cette mauvaise pratique, je donnai au ministre mon avis motivé pour qu'elle fût proscrite; mais je ne crois pas qu'on ait suivi cet avis, parce qu'il s'est trouvé plusieurs personnes, très éclairées d'ailleurs, et nommément M. de Morogues, qui ont pensé différemment. Leur opinion, si contraire à la mienne, est fondée sur ce que la trempe rend le fer plus cassant, et dès lors ils regardent la couche extérieure comme la plus faible et la moins résistante de toutes les parties de la pièce, et concluent qu'on ne lui fait pas grand tort de l'enlever; ils ajoutent que, si l'on veut même remédier à ce tort, il n'y a qu'à donner aux canons quelques lignes d'épaisseur de plus.

J'avoue que je n'ai pu me rendre à ces raisons : il faut distinguer dans la trempe, comme dans toute autre chose, plusieurs états et même plusieurs nuances. Le fer et l'acier, chauffés à blanc et trempés subitement dans une eau très froide, deviennent très cassants; trempés dans une eau moins froide ils sont beaucoup moins cassants, et dans de l'eau chaude la trempe ne leur donne aucune fragilité sensible. J'ai sur cela des expériences qui me paraissent décisives. Pendant l'été dernier, 1772, j'ai fait tremper dans l'eau de la rivière, qui était assez chaude pour s'y baigner, toutes les barres de fer qu'on forgeait à un des feux de ma forge, et comparant ce fer avec celui qui n'était pas trempé, la différence du grain n'en était pas sensible, non plus que celle de leur résistance à la masse lorsqu'on les cassait. Mais ce même fer, travaillé de la même façon par les mêmes ouvriers, et trempé cet hiver dans l'eau de la même rivière, qui était presque glacée partout, est non seulement devenu fragile, mais a perdu en même temps tout son nerf, en sorte qu'on aurait cru que ce n'était plus le même fer. Or la trempe qui se fait à la surface du canon n'est assurément pas une trempe à froid; elle n'est produite que par la petite humidité qui sort du moule déjà bien séché; il ne faut donc pas en raisonner comme d'une trempe à froid, ni en conclure qu'elle rend cette couche extérieure beaucoup plus cassante qu'elle ne le serait sans cela. Je supprime plusieurs autres raisons que je pourrais alléguer, parce que la chose me paraît assez claire.

Un autre objet, et sur lequel il n'est pas aisé de prononcer affirmativement, c'est la pratique où l'on est actuellement de couler les canons pleins, pour les forer ensuite avec des machines difficiles à exécuter, et encore plus difficiles à conduire, au lieu de les couler creux comme on le faisait autrefois; et dans ce temps nos canons crevaient moins qu'aujourd'hui. J'ai balancé les raisons pour et contre, et je vais les présenter ici. Pour couler un canon creux, il faut établir un noyau dans le moule, et le placer avec la plus grande précision, afin que le canon se trouve partout de l'épaisseur requise, et qu'un côté ne soit pas plus fort que l'autre : comme la matière en fusion tombe entre le noyau et le moule, elle a beaucoup moins de force centrifuge; et dès lors la qualité de la matière est moins inégale dans le canon coulé creux que dans le canon coulé plein; mais aussi cette

matière, par la raison même qu'elle est moins inégale, est au total moins bonne dans le canon creux, parce que les impuretés qu'elle contient s'y trouvent mêlées partout, au lieu que dans le canon coulé plein, cette mauvaise matière reste au centre et se sépare ensuite du canon par l'opération des forets. Je penserais donc, par cette première raison, que les canons forés doivent être préférés aux canons à noyaux. Si l'on pouvait cependant couler ceux-ci avec assez de précision pour n'être pas obligé de toucher à la surface intérieure; si, lorsqu'on tire le noyau, cette surface se trouvait assez unie, assez égale dans toutes ses directions pour n'avoir pas besoin d'être calibrée, et par conséquent en partie détruite par l'instrument d'acier, ils auraient un grand avantage sur les autres, parce que, dans ce cas, la surface intérieure se trouverait trempée comme la surface extérieure, et dès lors la résistance de la pièce se trouverait bien plus grande. Mais notre art ne va pas jusque-là : on était obligé de ratisser à l'intérieur toutes les pièces coulées creux afin de les calibrer; en les forant on ne fait que la même chose, et on a l'avantage d'ôter toute la mauvaise matière qui se trouve autour du centre de la pièce coulée plein, matière qui reste au contraire dispersée dans toute la masse de la pièce coulée creux.

D'ailleurs, les canons coulés pleins sont beaucoup moins sujets aux soufflures, aux chambres, aux gerçures ou fausses soudures, etc. Pour bien couler les canons à noyau et les rendre parfaits, il faudrait des événements, au lieu que les canons pleins n'en ont aucun besoin : comme ils ne touchent à la terre ou au sable dont leur moule est composé que par la surface extérieure, qu'il est rare, si ce moule est bien préparé, bien séché, qu'il s'en détache quelque chose, pourvu qu'on ne fasse pas tomber la fonte trop précipitamment et qu'elle soit bien liquide, elle ne retient ni les bulles de l'air ni celles des vapeurs qui s'exhalent à mesure que le moule se remplit dans toute sa cavité; il ne doit pas se trouver autant de ces défauts à beaucoup près dans cette matière coulée pleine, que dans celle où le noyau, rendant à l'intérieur son air et son humidité, ne peut guère manquer d'occasionner des soufflures et des chambres qui se formeront d'autant plus aisément que l'épaisseur de la matière est moindre, sa qualité moins bonne et son refroidissement plus subit. Jusqu'ici tout semble donc concourir à donner la préférence à la pratique de couler les canons pleins : néanmoins comme il faut une moindre quantité de matière pour les canons creux, qu'il est dès lors plus aisé de l'épurer au fourneau avant de la couler, que les frais des machines à forer sont immenses, en comparaison de ceux des noyaux, on ferait bien d'essayer si, par le moyen des événements que je viens de proposer, on n'arriverait pas au point de rendre les pièces coulées au noyau assez parfaites pour n'avoir pas à craindre les soufflures, et n'être pas obligé de leur enlever la trempe de leur surface intérieure : ils seraient alors d'une plus grande résistance que les autres, auxquels on peut d'ailleurs faire quelques reproches pour les raisons que je vais exposer.

Plus la fonte de fer est épurée, plus elle est compacte, dure et difficile à forer ; les meilleurs outils d'acier ne l'entament qu'avec peine, et l'ouvrage de la forerie va d'autant moins vite que la fonte est meilleure. Ceux qui ont introduit cette pratique ont donc, pour la commodité de leurs machines, altéré la nature de la matière (a); ils ont changé

(a) Sur la fin de l'année 1762, M. Maritz fit couler aux fourneaux de la Nouée, en Bretagne, des gueuses avec les mines de la Ferrière et de Noyal; il en examina la fonte, en dressa un procès-verbal, et sur les assurances qu'il donna aux entrepreneurs que leur fer avait toutes les qualités requises pour faire de bons canons, ils se déterminèrent à établir des mouleries, fonderies, décapiteries, centreriers, foreries, et tous les nécessaires pour tourner extérieurement les pièces. Les entrepreneurs, après avoir formé leur établissement, ont mis les deux fourneaux en feu le 29 janvier 1763, et le 12 février suivant on commença à couler du canon de huit. M. Maritz, s'étant rendu à la forge le 21 mars, trouva que toutes ces pièces étaient trop dures pour souffrir le forage, et jugea à propos de changer la matière. On coula deux pièces de douze avec un nouveau mélange, et une autre pièce de douze

l'usage où l'on était de faire de la fonte dure, et n'ont fait couler que des fontes tendres, qu'ils ont appelées *douces* pour qu'on en sentit moins la différence; dès lors tous nos canons coulés plein ont été fondus de cette matière douce, c'est-à-dire d'une assez mauvaise fonte, et qui n'a pas à beaucoup près la pureté, la densité, la résistance, qu'elle devrait avoir. J'en ai acquis la preuve la plus complète par les expériences que je vais rapporter.

Au commencement de l'année 1767, on m'envoya, de la forge de la Nouée en Bretagne, six tronçons de gros canons coulés plein, pesant ensemble cinq mille trois cent cinquante-huit livres. L'été suivant je les fis conduire à mes forges, et en ayant cassé les tourillons, j'en trouvai la fonte d'un assez mauvais grain, ce que l'on ne pouvait pas reconnaître sur les tranches de ces morceaux, parce qu'ils avaient été sciés avec de l'émeri ou quelque autre matière qui remplissait les pores extérieurs. Ayant pesé cette fonte à la balance hydrostatique, je trouvai qu'elle était trop légère, qu'elle ne pesait que quatre cent soixante-une livres le pied cube, tandis que celle que l'on coulait alors à mon fourneau en pesait cinq cent quatre, et que, quand je la veux encore épurer, elle pèse jusqu'à cinq cent vingt livres le pied cube. Cette seule épreuve pouvait me suffire pour juger de la qualité plus

avec un autre mélange, et encore deux autres pièces de douze avec un troisième mélange, qui parurent *si durs sous la scie et au premier foret* que M. Maritz jugea inutile de fondre avec ces mélanges de différentes mines, et fit un autre essai avec onze mille cinq cent cinquante livres de la mine de Noyal, trois mille trois cent quatre-vingt-dix livres de la mine de la Ferrière, et trois mille six cents livres de la mine des environs, faisant en tout dix-huit mille cinq cent quarante livres, dont on coula le 31 mars une pièce de douze, à trente charges basses. A la décapiterie, ainsi qu'en formant le support de la volée, M. Maritz jugea ce fer de bonne nature, mais *le forage de cette pièce fut difficile*, ce qui porta M. Maritz à faire une autre expérience.

Le 1^{er} et le 3 avril, il fit couler deux pièces de douze, pour chacune desquelles on porta trente-quatre charges, composées chacune de dix-huit mille sept cents livres de mine de Noyal et de deux mille sept cent vingt livres de mine des environs, en tout vingt-un mille quatre cent vingt livres. Ceci démontra à M. Maritz l'impossibilité qu'il y avait de fondre avec de la mine de Noyal seule, car même avec ce mélange l'intérieur du fourneau s'embarrassa au point que le laitier ne coulait plus, et que les ouvriers avaient une peine incroyable à l'arracher du fond de l'ouvrage; d'ailleurs les deux pièces venues de cette expérience *se trouvèrent si dures au forage*, et si profondément chambrées à 18 et 20 pouces de la volée, que quand même la mine de Noyal pourrait se fondre sans être alliée avec une espèce plus chaude, la fonte qui en proviendrait ne serait cependant pas d'une nature *propre à couler des canons forables*.

Le 4 avril 1765, pour septième et dernière expérience, M. Maritz fit couler une neuvième pièce de douze en trente-six charges basses, et composées de onze mille huit cent quatre-vingt livres de mine de Noyal, de sept mille deux cents livres de mine de Phlemet, et de deux mille huit cent quatre-vingts livres de mine des environs, en tout vingt-un mille neuf cent soixante livres de mine.

Après la coulée de cette dernière pièce, les ouvrages des fourneaux se trouvèrent si embarrassés qu'on fut obligé de mettre hors, et M. Maritz congédia les fondeurs et mouleurs qu'il avait fait venir des forges d'Angoumois.

Cette dernière pièce *se forait facilement*, en donnant une limaille de belle couleur; mais lors du forage, il se trouva des endroits *si tendres et si peu condensés* qu'il parut plusieurs grelots de la grosseur d'une noisette qui ouvrirent plusieurs chambres dans l'âme de la pièce.

Je n'ai rapporté les faits contenus dans cette note que pour prouver que les auteurs de la pratique du forage des canons n'ont cherché qu'à faire couler des fontes tendres, et qu'ils ont par conséquent sacrifié la matière à la forme, en rejetant toutes les bonnes fontes que leurs forets ne pouvaient entamer aisément, tandis qu'il faut au contraire chercher la matière la plus compacte et la plus dure si l'on veut avoir des canons d'une bonne résistance.

que médiocre de cette fonte; mais je ne m'en tins pas là. En 1770, sur la fin de l'été, je fis construire une chaufferie plus grande que mes chaufferies ordinaires, pour y faire fondre et convertir en fer ces tronçons de canon, et l'on en vint à bout à force de vent et de charbon : je les fis couler en petites gueuses, et après qu'elles furent refroidies j'en examinai la couleur et le grain en les faisant casser à la masse; j'en trouvai, comme je m'y attendais, la couleur plus grise et le grain plus fin; la matière ne pouvait manquer de s'épurer par cette seconde fusion, et en effet l'ayant portée à la balance hydrostatique, elle se trouva peser quatre cent soixante-neuf livres le pied cube; ce qui cependant n'approche pas encore de la densité requise pour une bonne fonte.

Et en effet, ayant fait convertir en fer successivement, et par mes meilleurs ouvriers, toutes les petites gueuses refondues et provenant de ces tronçons de canon, nous n'obtinmes que du fer d'une qualité très commune, sans aucun nerf, et d'un grain assez gros, aussi différent de celui de mes forges que le fer commun l'est du bon fer.

En 1770, on m'envoya de la forge de Ruelle en Angoumois, où l'on fond actuellement la plus grande partie de nos canons, des échantillons de la fonte dont on les coule. Cette fonte a la couleur grise, le grain assez fin, et pèse quatre cent quatre-vingt-quinze livres le pied cube (a) : réduite en fer battu et forgé avec soin, j'en ai trouvé le grain semblable à celui du fer commun, et ne prenant que peu ou point de nerf, quoique travaillé en petites verges et passé sous le cylindre; en sorte que cette fonte, quoique meilleure que celle qui m'est venue des forges de la Nouée, n'est pas encore de la bonne fonte. J'ignore si depuis ce temps l'on ne coule pas aux fourneaux de Ruelle des fontes meilleures et plus pesantes; je sais seulement que deux officiers de marine (b), très habiles et zélés, y ont été envoyés successivement, et qu'ils sont tous deux fort en état de perfectionner l'art et de bien conduire les travaux de cette fonderie. Mais jusqu'à l'époque que je viens de citer, et qui est bien récente, je suis assuré que les fontes de nos canons coulés plein n'étaient que de médiocre qualité, qu'une pareille fonte n'a pas assez de résistance, et qu'en lui ôtant encore le lien qui la contient, c'est-à-dire en enlevant, par les couteaux du tour, la surface trempée, il y a tout à craindre du service de ces canons.

On ne manquera pas de dire que ce sont ici des frayeurs paniques et mal fondées. qu'on ne se sert jamais que des canons qui ont subi l'épreuve, et qu'une pièce, une fois éprouvée par une moitié de plus de charge, ne doit ni ne peut crever à la charge ordinaire. A ceci je réponds que non seulement cela n'est pas certain, mais encore que le contraire est beaucoup plus probable. En général, l'épreuve des canons par la poudre est peut-être la plus mauvaise méthode que l'on pût employer pour s'assurer de leur résistance. Le

(a) Ces morceaux de fonte, envoyé du fourneau de Ruelle, étaient de forme cubique de 3 pouces, faibles dans toutes leurs dimensions : le premier, marqué S, pesait dans l'air 7 livres 2 onces 4 gros $\frac{1}{2}$, c'est-à-dire, 916 gros $\frac{1}{2}$. Le même morceau pesait dans l'eau 6 livres 2 onces 2 gros $\frac{1}{2}$; donc le volume d'eau égal au volume de ce morceau de fonte pesait 130 gros. L'eau dans laquelle il a été pesé pesait elle-même 70 livres le pied cube. Or, 130 gros : 70 livres :: 916 gros $\frac{1}{2}$: 493 $\frac{3}{13}$ livres, poids du pied cube de cette fonte. Le second morceau, marqué P, pesait dans l'air 7 livres 4 onces 1 gros, c'est-à-dire, 929 gros. Le même morceau pesait dans l'eau 6 livres 3 onces 6 gros, c'est-à-dire, 798 gros; donc le volume d'eau, égal au volume de ce morceau de fonte, pesait 131 gros. Or, 131 gros : 70 livres :: 929 gros : 496 $\frac{54}{131}$ livres, poids du pied cube de cette fonte. On observera que ces morceaux qu'on avait voulu couler sur les dimensions d'un cube de 3 pouces étaient trop faibles. Ils auraient dû contenir chacun 27 pouces cubiques, et par conséquent le pied cube du premier n'aurait pesé que 458 livres 4 onces, car 27 pouces : 1,728 pouces :: 916 gros $\frac{1}{2}$: 458 livres 4 onces. Et le pied cube du second n'aurait pesé que 464 livres $\frac{1}{4}$, au lieu de 493 livres $\frac{3}{13}$, et de 496 livres $\frac{54}{131}$.

(b) MM. de Souville et de Vialis.

canon ne peut subir le trop violent effort des épreuves qu'en y cédant autant que la cohérence de la matière le permet, sans se rompre; et comme il s'en faut bien que cette matière de la fonte soit à ressort parfait, les parties séparées par le trop grand effort ne peuvent se rapprocher ni se rétablir comme elles étaient d'abord : cette cohésion des parties intégrantes de la fonte étant donc fort diminuée par le grand effort des épreuves, il n'est pas étonnant que le canon crève ensuite à la charge ordinaire; c'est un effet très simple qui dérive d'une cause tout aussi simple. Si le premier coup d'épreuve écarte les parties d'une moitié ou d'un tiers de plus que le coup ordinaire, elles se rétabliront, se réuniront moins dans la même proportion; car, quoique leur cohérence n'ait pas été détruite, puisque la pièce a résisté, il n'en est pas moins vrai que cette cohérence n'est pas si grande qu'elle était auparavant, et qu'elle a diminué dans la même raison que diminue la force d'un ressort imparfait : dès lors un second ou un troisième coup d'épreuve fera éclater les pièces qui auront résisté au premier, et celles qui auront subi les trois épreuves sans se rompre ne sont guère plus sûres que les autres; après avoir subi trois fois le même mal, c'est-à-dire le trop grand écartement de leurs parties intégrantes, elles en sont nécessairement devenues bien plus faibles, et pourront par conséquent céder à l'effort de la charge ordinaire.

Un moyen bien plus sûr, bien simple et mille fois moins coûteux pour s'assurer de la résistance des canons, serait d'en faire peser la fonte à la balance hydrostatique : en coulant le canon, l'on mettrait à part un morceau de la fonte; lorsqu'il serait refroidi, on le pèserait dans l'air et dans l'eau, et, si la fonte ne pesait pas au moins cinq cent vingt livres le pied cube, on rebouterait la pièce comme non recevable : l'on épargnerait la poudre, la peine des hommes, et on bannirait la crainte très bien fondée de voir crever les pièces souvent après l'épreuve. Étant une fois sûr de la densité de la matière, on serait également assuré de sa résistance, et si nos canons étaient faits avec de la fonte pesant cinq cent vingt livres le pied cube, et qu'on ne s'avisât pas de les tourner ni de toucher à leur surface extérieure, j'ose assurer qu'ils résisteraient et dureraient autant qu'on doit se le promettre. J'avoue que par ce moyen, peut-être trop simple pour être adopté, on ne peut pas savoir si la pièce est saine, s'il n'y a pas dans l'intérieur de la matière des défauts, des soufflures, des cavités; mais, connaissant une fois la bonté de la fonte, il suffirait, pour s'assurer du reste, de faire éprouver une seule fois, et à la charge ordinaire, les canons nouvellement fondus, et l'on serait beaucoup plus sûr de leur résistance que de celle de ceux qui ont subi des épreuves violentes.

Plusieurs personnes ont donné des projets pour faire de meilleurs canons : les uns ont proposé de les doubler de cuivre, d'autres de fer battu, d'autres de souder ce fer battu avec la fonte. Tout cela peut être bon à certains égards; et dans un art, dont l'objet est aussi important et la pratique aussi difficile, les efforts doivent être accueillis et les moindres découvertes récompensées. Je ne ferai point ici d'observations sur les canons de M. Feutry, qui ne laissent pas de demander beaucoup d'art dans leur exécution; je ne parlerai pas non plus des autres tentatives, à l'exception de celle de M. de Souville, qui m'a paru la plus ingénieuse, et qu'il a bien voulu me communiquer par sa lettre datée d'Angoulême, le 6 avril 1771, dont je donne ici l'extrait (a). Mais je dirai seulement que la soudure

(a) « Les canons fabriqués avec des spirales ont opposé la plus grande résistance à la plus forte charge de poudre et à la manière la plus dangereuse de les charger. Il ne manque à cette méthode, pour être bonne, que d'empêcher qu'il ne se forme des chambres dans ces bouches à feu; cet inconvénient, il est vrai, m'obligerait à l'abandonner si je n'y parvenais; mais pourquoi ne pas le tenter? Beaucoup de personnes ont proposé de faire des canons avec des doublures ou des enveloppes de fer forgé, mais ces doublures et ces enveloppes ont toujours été un assemblage de barres inflexibles que leur forme, et leur position et leur raideur rendent inutiles. La spirale n'a pas les mêmes défauts, elle se

du cuivre avec le fer rend celui-ci beaucoup plus aigre ; que, quand on soude de la fonte avec elle-même par le moyen du soufre, on la change de nature, et que la ligne de jonction des deux parties soudées n'est plus de la fonte de fer, mais de la pyrite très cassante ; et qu'en général le soufre est un intermède qu'on ne doit jamais employer lorsqu'on veut souder du fer sans en altérer la qualité : je ne donne ceci que pour avis à ceux qui pourraient prendre cette voie comme la plus sûre et la plus aisée pour rendre le fer fusible et en faire de grosses pièces.

Si l'on conserve l'usage de forer les canons, et qu'on les coule de bonne fonte dure, il faudra en revenir aux machines à forer de M. le marquis de Montalembert, celles de M. Maritz n'étant bonnes que pour le bronze ou la fonte de fer tendre. M. de Montalembert est encore un des hommes de France qui entend le mieux cet art de la fonderie des canons, et j'ai toujours gémi que son zèle, éclairé de toutes les connaissances nécessaires en ce genre, n'ait abouti qu'au détriment de sa fortune : comme je vis éloigné de lui, j'écrivis ce Mémoire sans le lui communiquer, mais je serai plus flatté de son approbation que de celle de qui que ce soit, car je ne connais personne qui entende mieux ce dont il est ici question. Si l'on mettait en masse, dans ce royaume, les trésors de lumière que l'on jette à l'écart, ou qu'on a l'air de dédaigner, nous serions bientôt la nation la plus florissante et le peuple le plus riche. Par exemple, il est le premier qui ait conseillé de reconnaître la résistance de la fonte par sa pesanteur spécifique ; il a aussi cherché à perfectionner l'art de la moulure en sable des canons de fonte de fer, et cet art est perdu depuis qu'on a imaginé de les tourner. Avec les moules en terre, dont on se servait auparavant, la surface des canons était toujours chargée d'aspérités et de rugosités : M. de Montalembert avait trouvé le moyen de faire des moules en sable qui donnaient à la surface du canon tout le lisse et même le luisant qu'on pouvait désirer. Ceux qui connaissent les arts en grand sentiront bien les difficultés qu'il a fallu surmonter pour en venir à bout, et les peines qu'il a fallu prendre pour former des ouvriers capables d'exécuter ces moules, auxquels ayant substitué le mauvais usage du tour, on a perdu un art excellent pour adopter une pratique funeste (a).

Une attention très nécessaire lorsque l'on coule du canon, c'est d'empêcher les écumes

» prête à toutes les formes que prend la matière ; elle s'affaise avec elle dans le moule : son
 » fer ne perd ni sa ductilité ni son ressort, dans la commotion du *tir* l'effort est distribué
 » sur toute son étendue. Elle enveloppe presque toute l'épaisseur du canon, et dès lors
 » s'oppose à sa rupture avec une résistance de près de trente mille livres de force. Si la
 » fonte éprouve une plus grande dilatation que le fer, elle résiste avec toute cette force ; si
 » cette dilatation est moindre, la spirale ne reçoit que le mouvement qui lui est communi-
 » qué. Ainsi dans l'un et l'autre cas, l'effet est le même. L'assemblage des barres, au con-
 » traire, ne résiste que par les cercles qui les contiennent. Lorsqu'on en a revêtu l'âme des
 » canons, on n'a pas augmenté la résistance de la fonte, sa tendance à se rompre a été la
 » même, et lorsqu'on a enveloppé son épaisseur, les cercles n'ont pu soutenir également
 » l'effort qui se partage sur tout le développement de la spirale. Les barres d'ailleurs s'op-
 » posent aux vibrations des cercles. La spirale que j'ai mise dans un canon de six, foré et
 » éprouvé au calibre de douze, ne pesait que quatre-vingt-trois livres ; elle avait 2 pouces
 » de largeur et 4 lignes d'épaisseur. La distance d'une hélice à l'autre était aussi de 2 pouces ;
 » elle était roulée à chaud sur un mandrin de fer. »

(a) L'outil à langue de carpe perce la fonte de fer avec une vitesse presque double de celle de l'outil à cylindre. Il n'est point nécessaire, avec ce premier outil, de seringuer de l'eau dans la pièce, comme il est d'usage de le faire en employant le second qui s'échauffe beaucoup par son frottement très considérable. L'outil à cylindre serait détrempe en peu de temps sans cette précaution : elle est même souvent insuffisante ; dès que la fonte se trouve plus compacte et plus dure, cet outil ne peut la forer. La limaille sort naturellement avec l'outil à langue de carpe, tandis qu'avec l'outil à cylindre il faut employer continuellement

qui surmontent la fonte, de tomber avec elle dans le moule. Plus la fonte est légère et plus elle fait d'écumes, et l'on pourrait juger à l'inspection même de la coulée si la fonte est de bonne qualité, car alors sa surface est lisse et ne porte point d'écumes; mais dans tous ces cas il faut avoir soin de comprimer la matière coulante par plusieurs torches de paille placées dans les coulées : avec cette précaution il ne passe que peu d'écumes dans le moule, et si la fonte était dense et compacte, il n'y en aurait point du tout. La bourre de la fonte ne vient ordinairement que de ce qu'elle est trop crue et trop précipitamment fondue. D'ailleurs la matière la plus pesante sort la première du fourneau, la plus légère vient la dernière; la culasse du canon est par cette raison toujours d'une meilleure matière que les parties supérieures de la pièce; mais il n'y aura jamais de bourre dans le canon si d'une part on arrête les écumes par les torches de paille, et qu'en même temps on lui donne une forte masselotte de matière excédante, dont il est même aussi nécessaire qu'utile qu'il reste encore après la coulée trois ou quatre quintaux en fusion dans le creuset : cette fonte qui reste y entretient la chaleur; et comme elle est encore mêlée d'une assez grande quantité de laitier, elle conserve le fond du fourneau et empêche la mine fondante de brûler en s'y attachant.

Il me paraît qu'en France on a souvent fondu les canons avec les mines en roche, qui toutes contiennent une plus ou moins grande quantité de soufre; et comme l'on n'est pas dans l'usage de les griller dans nos provinces où le bois est cher, ainsi qu'il se pratique dans les pays du Nord où le bois est commun, je présume que la qualité cassante de la fonte de nos canons de la marine pourrait aussi provenir de ce soufre qu'on n'a pas soin d'enlever à la mine avant de la jeter au fourneau de fusion. Les fonderies de Ruelle en Angoumois, de Saint-Gervais en Dauphiné et de Baigorry dans la Basse-Navarre, sont les seules dont j'aie connaissance, avec celle de la Nouée en Bretagne, dont j'ai parlé, et où je crois que le travail ait cessé : dans toutes quatre, je crois qu'on ne s'est servi et qu'on ne se sert encore que de mine en roche, et je n'ai pas ouï dire qu'on les grillât ailleurs qu'à Saint-Gervais et à Baigorry; j'ai tâché de me procurer des échantillons de chacune

un crochet pour la tirer, ce qui ne peut se faire assez exactement pour qu'il n'en reste pas entre l'outil et la pièce, ce qui la gêne et augmente encore son frottement.

Il faudrait s'attacher à perfectionner la moulure. Cette opération est difficile, mais elle n'est pas impossible à quelqu'un d'intelligent. Plusieurs choses sont absolument nécessaires pour y réussir : 1° des moulures plus étendues, pour pouvoir y placer plus de chantiers et y faire plus de moules à la fois, afin qu'ils puissent sécher plus lentement; 2° une grande fosse pour les recevoir debout, ainsi que cela se pratique pour les canons de cuivre, afin d'éviter que le moule ne soit arqué, et par conséquent le canon; 3° un petit chariot à quatre roues fort basses avec des montants assez élevés pour y suspendre le moule recuit, et le transporter de la moulure à la cuve du fourneau, comme on transporte un lustre; 4° un juste mélange d'une terre grasse et d'une terre sableuse, tel qu'il le faut pour qu'au recuit le moule ne se fende pas de mille et mille fentes qui rendent le canon défectueux, et surtout pour que cette terre, avec cette qualité de ne pas se fendre, puisse conserver l'avantage de *s'écaler* (c'est-à-dire de se détacher du canon quand on vient à le nettoyer) : plus la terre est grasse, mieux elle *s'écale*, et plus elle se fend; plus elle est maigre ou sableuse, moins elle se fend, mais moins elle *s'écale*. Il y a des moules de cette terre qui se tiennent si fort attachés au canon qu'on ne peut avec le marteau et le ciseau en emporter que la plus grosse partie : ces sortes de canons restent encore plus vilains que ceux cicatrisés par les fentes innombrables des moules de terre grasse. Ce mélange de terre est donc très difficile; il demande beaucoup d'attention, d'expérience, et ce qu'il y a de fâcheux, c'est que les expériences dans ce genre, faites pour de petits calibres, ne concluent rien pour les gros. Il n'est jamais difficile de faire écaler de petits canons avec un mélange sableux. Mais ce même mélange ne peut plus être employé dès que les calibres passent celui de douze; pour ceux de trente-six surtout, il est très difficile d'attraper le point du mélange.

de ces mines, et, au défaut d'une assez grande quantité de ces échantillons, tous les renseignements que j'ai pu obtenir par la voie de quelques amis intelligents. Voici ce que m'a écrit M. de Morogues au sujet des mines qu'on emploie à Ruelle.

« La première est dure, compacte, pesante, faisant feu avec l'acier, de couleur rouge brun, formée par deux couches d'inégale épaisseur, dont l'une est spongieuse, parsemée de trous ou cavités, d'un velouté violet foncé, et quelquefois d'un bleu indigo à sa cassure, ayant des mamelons, teignant en rouge de sanguine; caractères qui peuvent la faire ranger dans la septième classe de l'art des forges, comme une espèce de pierre hématite, mais elle est riche et douce.

» La seconde ressemble assez à la précédente pour la pesanteur, la dureté et la couleur, mais elle est un peu *salardée* (on appelle *salard* ou mine salardée, celle qui a des grains de sable clair, et qui est mêlée de sable gris blanc, de caillou et de fer); elle est riche en métal; employée avec de la mine très douce, elle se fond très facilement. Son tissu à sa cassure est strié et parsemé quelquefois de cavités d'un brun noir. Elle paraît de la sixième espèce de la mine rougeâtre dans l'art des forges.

» La troisième, qu'on nomme dans le pays *glacieuse* parce qu'elle a ordinairement quelques-unes de ses faces lisses et douces au toucher, n'est ni fort pesante ni fort riche; elle a communément quelques petits points noirs et luisants, d'un grain semblable au maroquin : sa couleur est variée; elle a du rouge assez vif, du brun, du jaune, un peu de vert et quelques cavités; elle paraît, à cause de ses faces unies et luisantes, avoir quelque rapport à la mine spéculaire de la huitième espèce.

» La quatrième, qui fournit d'excellent fer, mais en petite quantité, est légère, spongieuse, assez tendre, d'une couleur brune presque noire, ayant quelques mamelons et sablonneuse; elle paraît être une sorte de mine limoneuse de la onzième espèce.

» La cinquième est une mine salardée faisant beaucoup de feu avec l'acier, dure, compacte, pesante, parsemée à la cassure de petits points brillants qui ne sont que du sable de couleur de lie de vin. Cette mine est difficile à fondre; la qualité de son fer passe pour n'être pas mauvaise, mais elle en produit peu; les ouvriers prétendent qu'il n'y a pas moyen de la fondre seule, et que l'abondance des crasses qui s'en séparent l'agglutine à l'ouvrage du fourneau. Cette mine ne paraît pas avoir de ressemblance bien caractérisée avec celle dont Swedenborg a parlé.

» On emploie encore un grand nombre d'autres espèces de mine, mais elles ne diffèrent des précédentes que par moins de qualité, à l'exception d'une espèce d'ocre martiale qui peut fournir ici une sixième classe. Cette mine est assez abondante dans les minières; elle est aisée à tirer, on l'enlève comme la terre, elle est jaune et quelquefois mêlée de petites grenailles, elle fournit peu de fer, elle est très douce, on peut la ranger dans la douzième espèce de l'art des forges.

» La gangue de toutes les mines du pays est une terre vitrifiable rarement argileuse. Toutes ces espèces de mines sont mêlées, et le terrain dont on les tire est presque tout sableux.

» On appelle *schiffre* en Angoumois un caillou assez semblable aux pierres à feu, et qui en donne beaucoup quand on le frappe avec l'acier. Il est d'un jaune clair, fort dur; il tient quelquefois à des matières qui peuvent avoir du fer, mais ce n'est point le schiste.

» La castine est une vraie pierre calcaire assez pure, si l'on en peut juger par l'uniformité de sa cassure et de sa couleur qui est gris blanc; elle est pesante, assez dure, et prend un poli fort doux au toucher. »

Par ce récit de M. de Morogues, il me semble qu'il n'y a que la sixième espèce qui ne demande pas à être grillée, mais seulement bien lavée avant de la jeter au fourneau.

Au reste, quoique généralement parlant, et comme je l'ai dit, les mines en roche, et qui se trouvent en grandes masses solides, doivent leur origine à l'élément du feu, néanmoins il se trouve aussi plusieurs mines de fer en assez grosses masses qui se sont formées par le mouvement et l'intermède de l'eau. On distinguera, par l'épreuve de l'aimant, celles qui ont subi l'action du feu, car elles seront toujours magnétiques, au lieu que celles qui ont été produites par la stillation des eaux ne le sont point du tout et ne le deviendront qu'après avoir été bien grillées et presque liquéfiées. Ces mines en roche, qui ne sont point attirables par l'aimant, ne contiennent pas plus de soufre que nos mines en grain : l'opération de les griller, qui est très coûteuse, doit dès lors être supprimée, à moins qu'elle ne soit nécessaire pour attendrir ces pierres de fer assez pour qu'on puisse les concasser sous les pilons du bocard.

J'ai tâché de présenter, dans ce Mémoire, tout ce que j'ai cru qui pourrait être utile à l'amélioration des canons de notre marine; je sens en même temps qu'il reste beaucoup de choses à faire, surtout pour se procurer dans chaque fonderie une fonte pure et assez compacte pour avoir une résistance supérieure à toute explosion; cependant je ne crois point du tout que cela soit impossible, et je pense qu'en purifiant la fonte de fer, autant qu'elle peut l'être, on arriverait au point que la pièce ne ferait que se fendre au lieu d'éclater par une trop forte charge : si l'on obtenait une fois ce but, il ne nous resterait plus rien à craindre ni rien à désirer à cet égard.

THE HISTORY OF THE UNITED STATES

The history of the United States is a story of growth and expansion. From a small collection of colonies on the eastern coast, it grew into a vast nation that stretched across the continent. The early years were marked by struggle and conflict, as the colonies fought for their independence from British rule. The American Revolution was a turning point in the nation's history, leading to the signing of the Declaration of Independence in 1776. The new nation then faced the challenge of building a government that would unite the diverse states and territories. The Constitution was drafted in 1787, providing a framework for the federal government. The years following the Revolution were a period of rapid growth and westward expansion. The Louisiana Purchase in 1803 doubled the size of the nation, and the discovery of gold in California in 1848 led to a massive influx of settlers. The Civil War, which began in 1861, was a defining moment in the nation's history, as it fought to preserve the Union and end slavery. The war ended in 1865, and the Reconstruction period followed, as the nation sought to rebuild and reunite. The late 19th and early 20th centuries were a period of industrialization and progress. The invention of the automobile and the airplane revolutionized transportation, and the rise of big business and corporations transformed the economy. The United States emerged as a world power, leading the world in many areas of science, technology, and culture. The 20th century was a period of global conflict and change. The United States played a leading role in World War II, and emerged as a superpower. The Cold War followed, as the United States and the Soviet Union competed for global influence. The Vietnam War was a controversial conflict that ended in 1975. The 1960s and 1970s were a period of social and cultural change, with the Civil Rights Movement and the anti-war movement leading the way. The 1980s and 1990s were a period of economic growth and technological advancement. The United States led the world in the space race, and the internet revolutionized communication. The 21st century has been a period of global challenges, including the September 11 attacks in 2001, the global financial crisis in 2008, and the COVID-19 pandemic in 2020. The United States remains a leading nation in the world, and its history continues to shape the future.

The history of the United States is a story of growth and expansion. From a small collection of colonies on the eastern coast, it grew into a vast nation that stretched across the continent. The early years were marked by struggle and conflict, as the colonies fought for their independence from British rule. The American Revolution was a turning point in the nation's history, leading to the signing of the Declaration of Independence in 1776. The new nation then faced the challenge of building a government that would unite the diverse states and territories. The Constitution was drafted in 1787, providing a framework for the federal government. The years following the Revolution were a period of rapid growth and westward expansion. The Louisiana Purchase in 1803 doubled the size of the nation, and the discovery of gold in California in 1848 led to a massive influx of settlers. The Civil War, which began in 1861, was a defining moment in the nation's history, as it fought to preserve the Union and end slavery. The war ended in 1865, and the Reconstruction period followed, as the nation sought to rebuild and reunite. The late 19th and early 20th centuries were a period of industrialization and progress. The invention of the automobile and the airplane revolutionized transportation, and the rise of big business and corporations transformed the economy. The United States emerged as a world power, leading the world in many areas of science, technology, and culture. The 20th century was a period of global conflict and change. The United States played a leading role in World War II, and emerged as a superpower. The Cold War followed, as the United States and the Soviet Union competed for global influence. The Vietnam War was a controversial conflict that ended in 1975. The 1960s and 1970s were a period of social and cultural change, with the Civil Rights Movement and the anti-war movement leading the way. The 1980s and 1990s were a period of economic growth and technological advancement. The United States led the world in the space race, and the internet revolutionized communication. The 21st century has been a period of global challenges, including the September 11 attacks in 2001, the global financial crisis in 2008, and the COVID-19 pandemic in 2020. The United States remains a leading nation in the world, and its history continues to shape the future.

The history of the United States is a story of growth and expansion. From a small collection of colonies on the eastern coast, it grew into a vast nation that stretched across the continent. The early years were marked by struggle and conflict, as the colonies fought for their independence from British rule. The American Revolution was a turning point in the nation's history, leading to the signing of the Declaration of Independence in 1776. The new nation then faced the challenge of building a government that would unite the diverse states and territories. The Constitution was drafted in 1787, providing a framework for the federal government. The years following the Revolution were a period of rapid growth and westward expansion. The Louisiana Purchase in 1803 doubled the size of the nation, and the discovery of gold in California in 1848 led to a massive influx of settlers. The Civil War, which began in 1861, was a defining moment in the nation's history, as it fought to preserve the Union and end slavery. The war ended in 1865, and the Reconstruction period followed, as the nation sought to rebuild and reunite. The late 19th and early 20th centuries were a period of industrialization and progress. The invention of the automobile and the airplane revolutionized transportation, and the rise of big business and corporations transformed the economy. The United States emerged as a world power, leading the world in many areas of science, technology, and culture. The 20th century was a period of global conflict and change. The United States played a leading role in World War II, and emerged as a superpower. The Cold War followed, as the United States and the Soviet Union competed for global influence. The Vietnam War was a controversial conflict that ended in 1975. The 1960s and 1970s were a period of social and cultural change, with the Civil Rights Movement and the anti-war movement leading the way. The 1980s and 1990s were a period of economic growth and technological advancement. The United States led the world in the space race, and the internet revolutionized communication. The 21st century has been a period of global challenges, including the September 11 attacks in 2001, the global financial crisis in 2008, and the COVID-19 pandemic in 2020. The United States remains a leading nation in the world, and its history continues to shape the future.

The history of the United States is a story of growth and expansion. From a small collection of colonies on the eastern coast, it grew into a vast nation that stretched across the continent. The early years were marked by struggle and conflict, as the colonies fought for their independence from British rule. The American Revolution was a turning point in the nation's history, leading to the signing of the Declaration of Independence in 1776. The new nation then faced the challenge of building a government that would unite the diverse states and territories. The Constitution was drafted in 1787, providing a framework for the federal government. The years following the Revolution were a period of rapid growth and westward expansion. The Louisiana Purchase in 1803 doubled the size of the nation, and the discovery of gold in California in 1848 led to a massive influx of settlers. The Civil War, which began in 1861, was a defining moment in the nation's history, as it fought to preserve the Union and end slavery. The war ended in 1865, and the Reconstruction period followed, as the nation sought to rebuild and reunite. The late 19th and early 20th centuries were a period of industrialization and progress. The invention of the automobile and the airplane revolutionized transportation, and the rise of big business and corporations transformed the economy. The United States emerged as a world power, leading the world in many areas of science, technology, and culture. The 20th century was a period of global conflict and change. The United States played a leading role in World War II, and emerged as a superpower. The Cold War followed, as the United States and the Soviet Union competed for global influence. The Vietnam War was a controversial conflict that ended in 1975. The 1960s and 1970s were a period of social and cultural change, with the Civil Rights Movement and the anti-war movement leading the way. The 1980s and 1990s were a period of economic growth and technological advancement. The United States led the world in the space race, and the internet revolutionized communication. The 21st century has been a period of global challenges, including the September 11 attacks in 2001, the global financial crisis in 2008, and the COVID-19 pandemic in 2020. The United States remains a leading nation in the world, and its history continues to shape the future.

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME DEUXIÈME.

	Pages.
DES ÉPOQUES DE LA NATURE.	1
Première époque. — Lorsque la terre et les planètes ont pris leur forme. . .	24
Seconde époque. — Lorsque la matière, s'étant consolidée, a formé la roche intérieure du globe ainsi que les grandes masses vitrescibles qui sont à la surface.	39
Troisième époque. — Lorsque les eaux ont couvert nos continents.	50
Quatrième époque. — Lorsque les eaux se sont retirées et que les volcans ont commencé d'agir.	70
Cinquième époque. — Lorsque les éléphants et les autres animaux du Midi ont habité les terres du Nord.	89
Sixième époque. — Lorsque s'est faite la séparation des continents.	103
Septième et dernière époque. — Lorsque la puissance de l'homme a secondé celle de la nature.	121
Notes justificatives des faits rapportés dans les époques de la nature. — Sur le premier discours.	136
Notes sur la première époque.	147
Notes sur la seconde époque.	148
Notes sur la troisième époque.	156
Notes sur la cinquième époque.	166
Notes sur la sixième époque.	166
Notes sur la septième époque.	182
Explication de la carte géographique.	187
Vues de la nature.	193
Première vue.	195
Seconde vue.	202
INTRODUCTION A L'HISTOIRE DES MINÉRAUX. — Des éléments.	213
Première partie. — De la lumière, de la chaleur et du feu.	213
Seconde partie. — De l'air, de l'eau et de la terre.	243
Réflexions sur la loi de l'attraction.	263
Addition	267
La loi de l'attraction, par rapport à la distance, ne peut pas être exprimée par deux termes.	267

	Pages.
Seconde addition.	267
Partie expérimentale.	270
Premier mémoire. — Expériences sur le progrès de la chaleur dans les corps	271
Expériences	272
Second mémoire. — Suite des expériences sur le progrès de la chaleur dans les différentes substances minérales.	282
Table des rapports du refroidissement des différentes substances minérales.	325
Troisième mémoire. — Observations sur la nature du platine.	334
Première addition.	339
Seconde addition.	344
Expériences faites par M. de Morveau en septembre 1773.	345
Quatrième mémoire. — Expériences sur la ténacité et sur la décomposition du fer.	349
Cinquième mémoire. — Expériences sur les effets de la chaleur obscure. . .	360
Sixième mémoire. — Expériences sur la lumière et sur la chaleur qu'elle peut produire	371
Article I ^{er} . — Invention de miroirs pour brûler à de grandes distances. . . .	371
Article II. — Réflexions sur le jugement de Descartes au sujet des miroirs d'Archimède, avec le développement de la théorie de ces miroirs et l'explication de leurs principaux usages.	382
Article III. — Invention d'autres miroirs pour brûler à de moindres distances.	403
Septième mémoire. — Observations sur les couleurs accidentelles et sur les ombres colorées.	411
Huitième mémoire. — Expériences sur la pesanteur du feu et sur la durée de l'incandescence.	419
Neuvième mémoire. — Expériences sur la fusion des mines de fer.	433
Dixième mémoire. — Observations et expériences faites dans la vue d'améliorer les canons de la marine.	449
HISTOIRE NATURELLE DES MINÉRAUX. — De la figuration des minéraux.	463
Des verres primitifs.	474
Du quartz.	478
Du jaspe.	484
Du mica et du talc.	488
Du feldspath.	492
Du schorl	495
Des roches vitreuses de deux et trois substances, et en particulier du porphyre.	496
Du granit.	503
Du grès.	516
Des argiles et des glaises.	524
Des schistes et de l'ardoise.	535

TABLE DES MATIÈRES.

635

	Pages.
De la craie.	543
De la marne.	548
De la pierre calcaire.	551
De l'albâtre	574
Du marbre.	585
Du plâtre et du gypse.	598
Des pierres composées de matières vitreuses et de substances calcaires. . .	610
De la terre végétale.	616



FIN DE LA TABLE DU DEUXIÈME VOLUME.

Table-Of-Contents listing page numbers and titles, including entries like 'De la terre végétale', 'Des pierres composées de matières vitreuses et de substances calcaires', and 'Du plâtre et du gypse'.

