

Nº 13816

OEUVRES

COMPLÈTES

DE BUFFON.

**DE L'IMPRIMERIE DE PLASSAN, RUE DE VAUGIRARD, N° 15,
DERRIÈRE L'ODÉON.**

OEUVRES
COMPLÈTES
DE BUFFON,

MISES EN ORDRE
PAR M. LE COMTE DE LACEPÈDE.

SECONDE ÉDITION.

TOME TROISIÈME.



A PARIS,
CHEZ RAPET, RUE SAINT-ANDRÉ-DES-ARCS, N° 41.

M. DCCC. XIX.

683091 - B.

3

HISTOIRE NATURELLE.

SUITE DE L'INTRODUCTION

A

L'HISTOIRE DES MINÉRAUX.



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 même les plus conjecturales, et qui pourroient paroître 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.

PREMIER MÉMOIRE.

Expériences sur le Progrès de la Chaleur dans les corps.

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

Le premier d'un demi-pouce de diamètre.

Le second d'un pouce.

Le troisième d'un pouce et demi.

Le quatrième de deux pouces.

Le cinquième de deux pouces et demi.

Le sixième de trois pouces.

Le septième de trois pouces et demi.

Le huitième de quatre pouces.

Le neuvième de quatre pouces et demi.

Le dixième de cinq pouces.

Ce fer venoit 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 pesoit 190 grains, ou 2 gros 46 grains.

Le boulet d'un pouce pesoit 1522 grains, ou 2 onces 5 gros 10 grains.

Le boulet d'un pouce et demi pesoit 5136 grains, ou 8 onces 7 gros 24 grains.

Le boulet de deux pouces pesoit 12,173 grains, ou 1 livre 5 onces 1 gros 5 grains.

Le boulet de deux pouces et demi pesoit 23,781 grains, ou 2 livres 9 onces 2 gros 21 grains.

Le boulet de trois pouces pesoit 41,085 grains, ou 4 livres 7 onces 2 gros 45 grains.

Le boulet de trois pouces et demi pesoit 65,254 grains, ou 7 livres 1 once 2 gros 22 grains.

Le boulet de quatre pouces pesoit 97,388 grains, ou 10 livres 9 onces 44 grains.

Le boulet de quatre pouces et demi pesoit 138,179 grains, ou 14 livres 15 onces 7 gros 11 grains.

Le boulet de cinq pouces pesoit 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, étoit à la congélation ou à quelques degrés au-dessous;¹ mais qu'on a laissé refroidir les boulets dans une cave où le thermomètre étoit 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 cessoient de brûler, c'est-à-dire le moment où on pouvoit les toucher et les tenir avec la main pendant une seconde sans se brûler; le second temps de ce refroidissement étoit 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 connoître 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'avoient point été chauffés, et que l'on touchoit en même temps que ceux qui avoient été chauffés. Par cet attouchement immédiat et simultané de la

¹ Division de Réaumur.

main ou des deux mains sur les deux boulets, on pouvoit juger assez bien du moment où ces boulets étoient 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 reconnoître 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°. 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 avoient été chauffés, dont la surface étoit 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 deux 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 deux 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 trois 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 trois 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 quatre 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 quatre 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 cinq 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 47 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', 55' $\frac{1}{2}$, 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 54 minutes; car, en supposant chaque terme augmenté de 54, 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 une troisième fois les mêmes expériences sur les mêmes boulets; mais j'ai vu que je ne pouvois compter que sur les premières, parce que je me suis aperçu qu'à chaque fois qu'on chauffoit les boulets, ils perdoient considérablement de leur poids; car

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Le boulet de cinq pouces, après avoir été chauffé trois fois, avoit perdu à très-peu près la douzième partie de son poids; car il pesoit, avant d'avoir été chauffé, vingt livres dix onces un gros cinquante-neuf grains.¹

On voit que cette perte sur chacun des boulets est extrêmement considérable, et qu'elle paroît 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 long-temps que les corps sont plus

¹ 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 volume 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.

grands : mais, en tout, cette perte de poids non-seulement est occasionée 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 paroît 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 ¹ a donné naissance à ces expériences.

Globus ferri candentis, digitum unum latus, calorem suum omnem spatio horæ unius, in aëre consistens, vix amitteret. Globus autem major calorem diutiùs conservaret in ratione diametri, propterea quòd superficies (ad cujus mensuram per contactum aëris ambientis refrigeratur) in illá ratione minor

est pro quantitate materiæ suæ calidæ inclusæ; ideoque globus ferri candentis huic terræ æqualis, id est, pedes plus minùs 40,000,000 latus, diebus totidem et idcirco annis 50,000, vix refrigesceret. Suspitor tamen quòd duratio caloris ob causas latentes augeatur in minori ratione quàm eâ diametri; et optarim rationem veram per experimenta investigari.

Newton désiroit donc qu'on fît les expériences que je viens d'exposer; et je me suis déterminé à les tenter, non-seulement parce que j'en avois besoin pour des vues semblables aux siennes, mais encore parce que j'ai cru m'apercevoir que ce grand homme pouvoit s'être trompé en disant que la durée de la chaleur devoit 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 pouvoient 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 conserveroit sa chaleur plus long-temps qu'un plus petit, en raison du diamètre, si on supposoit 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 ma-

thématique que la durée de la chaleur seroit 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 serois porté à croire que Newton, qui voyoit clair aussi jusque dans les choses même qu'il ne faisoit 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 paroît dire ailleurs précisément le contraire de ce qu'il dit ici; c'est dans la onzième question de son *Traité d'optique*¹: « Les corps d'un » grand volume, dit-il, ne conservent-ils pas plus » long-temps (ce mot *plus long-temps* ne peut si- » gnifier 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

¹ Traduction de Coste.

» en telle abondance que par l'émission et la réaction de sa lumière, par les réflexions et les réflexions 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'

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 avoit commencé de faire quelques expériences qu'il se proposoit de pousser plus loin; qu'il croit que l'opinion de Newton est conforme à la vérité, et que les corps semblables con-

servent 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 avoit raison à cet égard ; mais en même temps il avoit tort de croire, d'après Newton , que tous les corps semblables , solides ou fluides , conservent leur 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'aucune de ses parties ne peut 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 vouloit chercher avec Newton combien il faudroit de temps à un globe gros comme la Terre pour se refroidir, on trouveroit, d'après les expériences précédentes, qu'au lieu de cin-

quante mille ans qu'il assigne pour le temps du refroidissement de la Terre jusqu'à la température actuelle, il faudroit déjà quarante-deux mille neuf cent soixante-quatre ans et deux cent vingt-un jours pour la refroidir seulement jusqu'au point où elle cesseroit 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, celle 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 2865 lieues, de 25 au degré, ou de 6,537,930 toises de 6 pieds, en faisant la lieue de 2282 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 $54 N - 15 = 50,858,943,662$

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 pourroit croire que celui du refroidissement de la Terre devoit 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 seroient 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 pourroit 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 ré-

sident, 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 actuelle¹; 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 paroît le supposer dans le passage que je vais rapporter.

Est calor Solis ut radiorum densitas, hoc est recíprocè ut quadratum distantiae locorum à Sole; ideo-

* ¹ 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 pénétroit, 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.

que, cùm distantia cometæ à centro Solis decemb. 8, ubi in perihelio versabatur, esset ad distantiam Terræ à centro Solis ut 6 ad 1000 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 convector) quasi triplò vel quadruplò major quàm calor aquæ ebullientis; ideoque calor quem terra arida apud cometam in perihelio versantem ex radiis solaribus concipere posset, quasi 2000 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 paroît lui-même le sentir, et donner à entendre que cette chaleur du fer rougi paroît 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; ideoque calor apud cometam in perihelio versantem quasi 2000 (1000) 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 faudroit, pour que la comète eût reçu cette chaleur mille fois plus grande que celle du fer rougi, qu'elle eût sé

journal 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 étoit, le 8 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 heures après, elle étoit déjà à une distance six fois plus grande, et où la chaleur étoit par conséquent trente-six fois moindre.

Si l'on vouloit donc connoître la quantité de cette chaleur communiquée à la comète par le Soleil, voici comment on pourroit 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 étoit encore éloignée du Soleil d'une distance égale à celle de la Terre à cet astre, auquel point la comète recevoit par conséquent une chaleur égale à celle que la Terre reçoit du Soleil, et que je prends ici pour l'unité : nous supposerons 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 étoit 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 1000, où la chaleur est 1.

En sommant toutes les chaleurs à chaque distance, on trouvera 363,410 pour le total de la chaleur que la comète a reçue du Soleil tant en descendant qu'en remontant, qu'il faut multiplier par le temps, c'est-à-dire par $\frac{4}{3}$ d'heure; on aura donc 484,547, qu'on divisera par 2000, qui représente la chaleur totale que la Terre a reçue dans ce même temps de 1332 heures, puisque la distance est toujours 1000, 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 faudroit-il diminuer cette chaleur $242 \frac{547}{2000}$, parce que la comète parcourroit, par son accélération, d'autant plus de chemin dans le même temps qu'elle étoit 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 faudroit dix fois plus de temps, c'est-à-dire 13,320 heures au lieu de 1332. Par conséquent on peut comparer à la comète un globe de fer qu'on auroit 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' $\frac{7n-3}{2}$ minutes.

On aura donc $\frac{7n-3}{2} = 799,200$ minutes.

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

Ainsi, avec le feu de forge, on ne pourroit chauffer à blanc en 799,200 minutes ou 13,320 heures qu'un globe dont le diamètre seroit de 228,342 demi-pouces, et par conséquent il faudroit, pour que

toute la masse de la comète fût 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 $\frac{7^n-3}{2}$; en sorte, par exemple, que si l'on veut supposer la comète égale à la Terre, on aura $n = 941,461,920$ demi-pouces, et $\frac{7^n-3}{2} = 3,295,116,718$ minutes, c'est-à-dire qu'au lieu de 13,320 heures, il en faudroit 54,918,612, ou, si l'on veut, au lieu d'un an 190 jours, il faudroit 6269 ans pour chauffer à blanc un globe gros comme la Terre; et, par la même raison, il faudroit que la comète, au lieu de n'avoir séjourné que 1332 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-long-temps durable, comme le dit Newton, et comme on seroit 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 chas-

se 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 de notre calcul à la comète et à la Terre, il faut les supposer composées de matières qui demanderoient 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'ai trouvé de même que les globes de grès de deux pouces se sont refroidis au point de les tenir dans la main en quarante-cinq minutes, ceux de deux pouces et demi en cinquante-huit minutes, et ceux de trois pouces en soixante-quinze minutes; ce qui étant comparé avec le temps du refroidissement des boulets de fer de ces mêmes diamètres, donne les rapports de 46 à 80 pour deux pouces, de 58 à 102 pour deux pouces et demi, et de 75 à 127 pour trois pouces, ce qui fait à très-peu près la raison de 9 à 5; en sorte que, pour le refroidissement du grès, il faut plus de 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 long-temps que pour le fer; et quoiqu'il ne fallût guère que le tiers du temps pour rougir le grès, de

ce qu'il en falloit 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 pesoit sept onces deux gros trente grains avant d'être mis au feu, n'a perdu que quarante-un grains, ce qui ne fait pas la centième partie de son poids; celui de deux pouces et demi, qui pesoit 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 celui de trois pouces, qui pesoit vingt-quatre onces cinq gros treize grains, ayant été chauffé pendant dix-huit minutes, c'est-à-dire à peu près autant que le fer, n'a perdu que soixante-dix-huit grains, ce qui ne fait que la cent quatre-vingt-unième partie de son poids. Ces pertes sont si petites, qu'on pourroit 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 occasionées par les parties ferrugineuses qui se sont trouvées dans ce 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 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 les glaises 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 commençoit 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,¹ 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-

¹ Voyez la chimie de Boërhave, partie 1^{re}, pag. 266 et 276, et aussi 160, 264 et 267; Musschenbroeck, *Essais de physique*, pag. 94 et 969, etc.

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 paroisse 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'échaufferoient en raison de leurs diamètres, ne pourroient être que ceux qui seroient parfaitement perméables à la chaleur, et que ce seroient en même temps ceux qui s'échaufferoient ou se refroidiroient en moins de temps. Dès-lors, j'ai pensé que les fluides, dont toutes les parties ne se tiennent que par un foible lien, approchoient 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 reconnoître que le progrès de la chaleur dans les corps ne doit 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.

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 opposée 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 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 denses 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 beaucoup plus vite, et que l'étain et le marbre, qui sont au contraire moins denses, s'échauffent et se refroidissent aussi beaucoup plus vite que le fer et le cuivre, et qu'il en est de même de plusieurs autres matières qui, quoique plus ou 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 connoîtroit 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.

Suite 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.

Or le plus pur, affiné par les soins de M. Til-

let, de l'Académie des Sciences, qui a fait travailler ce globe à ma prière, pèse.

Plomb, pèse.

onc.	gros.	grains.
6	2	17
5	6	28

PARTIE EXPÉRIMENTALE.

37

	onc.	gros.	grains.
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 avoit de petites cavités à sa surface, pèse.	2	1	34
Zinc, pèse.	2	1	2
Émeril, pèse.	1	2	24 $\frac{1}{2}$
Marbre blanc, pèse.	1	0	25
Grès pur, pèse.	0	7	24
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'Anières près de Dijon, pèse.	0	6	36
Cristal de roche : il étoit un peu trop petit, et il y avoit plusieurs défauts et quelques petites fêlures à sa surface; je présume que, sans cela, il auroit 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 $\frac{1}{2}$
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 assésur 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 avoient plus d'un pouce de diamètre ; mais quelques-uns qui étoient un tant soit peu trop petits, comme ceux de cristal de roche, de verre, et de porcelaine, sont demeurés tels qu'ils étoient : j'ai seulement rejeté ceux d'agate, de jaspe, de porphyre, et de jade, qui étoient sensiblement trop petits. Néanmoins ce degré de précision de grosseur, très-difficile à saisir, n'étoit pas absolument nécessaire ; car il ne pouvoit changer que très-peu le résultat de mes expériences.

Avant d'avoir commandé tous ces globes d'un pouce de diamètre, j'avois 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'avois trouvé, par des essais réitérés, que le plomb s'échauffoit plus vite et se refroidissoit 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 matiè-

res, le fer me parut celle qui est la moins accessible à la chaleur, et en même temps celle qui la retient le plus long-temps. Ceci me fit connoître que la loi du progrès de la chaleur, c'est-à-dire, de son entrée et de sa sortie dans les corps, n'étoit 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 laissois exposés à la même action du feu, jusqu'à ce que le globe d'étain commençoit à fondre, et, dans ce moment, on les enlevoit tous ensemble, et on les posoit sur une table dans de petites cases préparées pour les recevoir; je les y laissois refroidir sans les bouger, en essayant assez souvent de les toucher, au moment qu'ils commençoient à ne plus brûler les doigts, et que je pouvois les tenir dans ma main pendant une demi-seconde; je marquois le nombre des minutes qui s'étoient écoulées depuis qu'ils étoient retirés du feu;

ensuite je les laissois tous refroidir au point de la température actuelle, dont je tâchois de juger par le moyen d'autres petits globes de même matière qui n'avoient pas été chauffés, et que je touchois en même temps que ceux qui se refroidissoient. 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'aurois 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

	Refroidis à les tenir dans la main pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température actuelle.
Plomb, en.	8 min.	En. ..	23 min
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 :

	Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température actuelle.
Étain, en.	$6\frac{1}{2}$ min.	En.	16 min
Plomb, en.	8	En.	17
Grès, en.	9	En.	19

	Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température actuelle.
Marbre commun, en.	10 min.	En.	21 min.
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 :

	Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.
Plomb, en.	10 $\frac{1}{2}$ min.	En.	42 min.
Grès, en.	12 $\frac{1}{2}$	En.	46
Marbre commun, en.	13 $\frac{1}{2}$	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 :

	Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.
Étain, en.	7 $\frac{1}{2}$ min.	En.	25 min.
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 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 avoit 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 entier refroidissement.

2°. Que les temps du refroidissement du cuivre

ont 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 ont 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 ont à ceux du refroidissement du plomb :: $45 : 27$ pour le premier refroidissement, et :: $125 : 94\frac{1}{2}$ pour le refroidissement entier.

VI. Comme il n'y avoit, 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 avoit, 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, $:: 33 : 24\frac{1}{2}$ pour le premier refroidissement, et $:: 93 : 64$ pour le second refroidissement.

VIII. Comme il n'y avoit 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 :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.	
Étain, en.	$7\frac{1}{2}$ min.	En.	23 min.
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 : 21 $\frac{1}{2}$, 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 neuf 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 :

	Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.
Étain fondu par sa partie			
d'en-bas, en.	8 min.	En.	24 min.
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 :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.	
Étain, en.	7 min.	En.	20 min.
Argent, en.	11	En.	31
Or, en.	12 $\frac{1}{2}$	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 :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.	
Étain, en.	6 min.	En.	17 min.
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 précé-

dentes (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 : 114.

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, $27\frac{1}{4}$ à $13\frac{1}{4}$ 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 132 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 :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.	
Antimoine, en.	6 $\frac{1}{2}$ min.	En.	25 min.
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.	38

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 :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.	
Antimoine, en.	7 $\frac{1}{2}$ min.	En.	28 min.
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 :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.	
Antimoine, en.	6 min.	En.	23 min.
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

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.	
Or, en. .	11 min.	En.	32 min.
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 :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.	
Antimoine, en.	6 $\frac{1}{2}$ min.	En.	23 min.
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. .	13 $\frac{1}{2}$	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 :: 85 : 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 : $52\frac{1}{2}$, 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 précé-

dentes (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 : 57 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 : 46 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 pouvoir 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 avoit 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'étoit fondu en entier, et que le plomb et l'antimoine étoient 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 :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.	
Antimoine, en.	7 min.	En.	27 min.
Bismuth, en.	8	En.	29
Plomb, en.	9	En.	33
Zinc, en.	12	En.	37
Or, en.	13	En.	42
Émeril, en.	15½	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, :: 15½ : 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, $71\frac{1}{2} : 41\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente étant :: $48 : 33$, 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, $55\frac{1}{2}$ 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 ajou-

tant 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 : $19\frac{1}{2}$, 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 :: 57 : 53, 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 est à 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 étant :: 57 : 29, et par les expériences précédentes (art. XV) :: 100 : 80, on aura, en ajoutant ces temps, 157 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 expé-rien-

ces 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 $::25:20\frac{1}{2}$ 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 : 71 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 avoit 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'étoit 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:

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.	
Antimoine, en.	6 min.	En.	29 min.
Bismuth, en.	7	En.	31
Plomb, en.	$8\frac{1}{4}$	En.	34
Argent, en.	$11\frac{1}{2}$	En.	36

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.	
Zinc, en.	12 $\frac{1}{2}$ min.	En.	39 min.
Émeril, en. . . .	15 $\frac{1}{2}$	En.	47

On doit conclure de cette expérience et de celles des art. 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 $\frac{1}{4}$ 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 $::47:51$, 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 $49\frac{3}{4}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente étant :: 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, :: $32\frac{1}{2} : 23\frac{1}{4}$, 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, :: $8\frac{1}{4} : 7$ par la présente expérience, et :: 32 : $28\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. XVI). On aura, en ajoutant ces temps, $40\frac{1}{4}$ à $35\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroi-

dissement; 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, :: $8\frac{1}{2}$: 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, et ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.	
Étain, en.	8 min.	En.	17 min.
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 :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.	
Étain, en.	7 $\frac{1}{2}$ min.	En.	21 min.
Verre, en.	8	En.	23
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 :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.	
Étain, en.	8 $\frac{1}{2}$ min.	En.	22 min.
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 :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.	
Étain, en.	8 $\frac{1}{2}$ min.	En.	25 min.
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 (article 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.

tes (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 étant :: $186 : 92$, et :: $274 : 134$ par les expériences précédentes (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 :

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

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

	Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.
Gypse, en.	4 min.	En.	13 min.
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 :

	Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.
Gypse, en.	$2\frac{1}{2}$ min.	En.	12 min.
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 : 66 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; ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.	Refroidis à la température.
Pierre calcaire tendre, en. 8 min.	En. 25 min.
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 :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.	Refroidis à la température.
Pierre calcaire tendre, en. 9 min.	En. 27 min.
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 :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.	
Pierre calcaire tendre, en.	9 min.	En.	26 min.
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, :: $39\frac{1}{2} : 31\frac{2}{2}$, 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 :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.	Refroidis à la température.
Pierre calcaire tendre, en. 9 min.	En. . 29 min.
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 :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.	
Pierre calcaire tendre, en.	6 min.	En.	19 min.
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 :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.	
Pierre tendre, en.	7 min.	En.	20 min.
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, :: $59\frac{1}{2} : 32$, 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, :: $59\frac{1}{2} : 29\frac{1}{2}$, 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, :: 33 : 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 :: $8\frac{1}{4}$: 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 :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.	
Gypse, en.	3 min.	En.	14 min.
Porcelaine, en.	$6\frac{1}{2}$	En.	17
Verre, en.	$8\frac{1}{4}$	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 :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.	
Gypse, en	3 min.	En.	13 min.
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 :

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

Il résulte de ces trois 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 : 54 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 $\frac{1}{2}$: 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, :: $26\frac{1}{2} : 19\frac{1}{2}$ par les présentes expériences, et :: $28\frac{1}{2} : 21$ par les expériences précédentes (art. XXV). 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 donné par les présentes expériences étant :: $80 : 54$, et :: $90 : 66$ 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 : 51, 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, :: $19\frac{1}{2}$: 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 :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.	
Craie, en.	6 min.	En.	15 min.
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 :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.	
Craie, en.	4 min.	En.	11 min.
Ocre, en.	5	En.	15
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 :: 58 : 24 par les expériences précédentes (art. XVI). Ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 47 $\frac{1}{2}$ à 51 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport don-

né 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, :: $21\frac{1}{2}$: $11\frac{1}{2}$, 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 :

	Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.	Refroidis à la température actuelle.
Pierre ponce, en.	2 min.	En. 5 min.
Bois, en.	2	En. 6
Gypse, en.	$2 \frac{1}{2}$	En. 11
Argent, en.	10	En. 35
Fer, en.	15	En. 40

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

	Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.	Refroidis à la température.
Pierre ponce, en.	$1 \frac{1}{2}$ min.	En. 4 min.

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.	
Bois, en.	2 min.	En.	5 min.
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 156 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 :

	Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.
Gypse, en.	4 $\frac{1}{2}$ min.	En.	14 min.
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 :: 187 : 159 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 étant :: $47 : 14$, 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 tenoit ordinairement les boulets au feu, qui étoit communément de dix minutes, les boulets de fer, de cuivre, de verre, de plomb, et d'étain, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.	
Étain, en.	10 min.	En.	25 min.
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 pouvoir 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 les tenir, :: $20\frac{1}{2} : 12$ par l'expérience présente, 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 les pouvoir 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 rapport 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 :: $156\frac{1}{2} : 76$ 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 :: $504 : 224$ 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 $41\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente étant :: 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 :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.	
Antimoine, en.	8 min.	En.	24 min.
Bismuth, en.	8	En.	23
Étain, en.	$8\frac{1}{2}$	En.	25
Zinc, en.	12	En.	30
Cuivre, en.	14	En.	40

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

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.	
Antimoine, en.	8 min.	En.	23 min.
Bismuth, en.	8	En.	24
Étain, en.	$9\frac{1}{2}$	En.	25
Zinc, en.	12	En.	38
Cuivre, en.	14	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) :: 548 : 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 : 59 $\frac{1}{2}$ 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 étant :: 68 : 47, et :: 220 : 155 par les expériences précédentes (art. XVII), on aura, en ajoutant ces temps, 288 à 202 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 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 $\frac{1}{2}$: 52 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 pré-

cis 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 :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.	
Pierre calcaire dure, en.	11 $\frac{1}{4}$ min.	En.	32 min.
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 pouvoir 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 refroidissement; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience étant :: $46 : 37$, 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, :: $13 : 12$ 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 :

	Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.
Pierre calcaire tendre, en.	6 $\frac{1}{2}$ min.	En.	20 min.
Plomb, en.	8	En.	29
Grès, en.	8 $\frac{1}{2}$	En.	29
Marbre blanc, en.	10 $\frac{1}{2}$	En.	29
Fer, en.	15	En.	43

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

	Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.
Pierre calcaire tendre, en.	7 min.	En.	21 min.
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 $159\frac{1}{2}$ 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 : 25 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 :: 150 : 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

13.816



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 :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.	
Gypse, en.	$3\frac{1}{2}$ min.	En.	15 min.
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 :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.	
Gypse, en.	$3\frac{1}{2}$ min.	En.	14 min.
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.

2°. Que le temps du refroidissement du verre est à celui du refroidissement de la craie, au point de les tenir, :: $16\frac{1}{2} : 11$, 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, :: $16\frac{1}{2}$: 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, :: $16\frac{1}{2}$: 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 : 78 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, :: $15\frac{1}{2}$: 11 par la présente expérience, et :: $12\frac{1}{2}$: 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 présentes 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, :: $13\frac{1}{2} : 11$ par les présentes expériences, et :: $12\frac{1}{2} : 11\frac{1}{2}$ 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, :: $13\frac{1}{2} : 17$, 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, :: $11 : 11$ par les présentes expériences, et :: $10 : 11\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (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, :: 11 : 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, :: 11 : 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 :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.	
Antimoine, en.	6 min.	En.	16 min.
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 :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.	
Antimoine, en.	5 min.	En.	13 min.
Étain, en.	6	En.	16
Grès, en.	7	En.	21
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 : 55 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 : 11 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.

10°. Que le temps du refroidissement de l'étain est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de pouvoir les tenir, :: $12\frac{1}{2}$: 11 par les présentes expériences, et :: 18 : 16 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. XL), 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 :

	Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.
Ocre, en.	6 min.	En. . .	18 min.
Bismuth, en.	7	En.	22
Glaise, en.	7	En.	23

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.	
Cuivre, en.	13 min.	En.	36 min.
Émeril, en.	15 $\frac{1}{2}$	En.	43

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

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.	
Ocre, en.	5 $\frac{1}{2}$ min.	En.	13 min.
Bismuth, en.	6	En.	18
Glaise, en.	6	En.	19
Cuivre, en.	10	En.	30
Émeril, en.	11 $\frac{1}{2}$	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 : 12, 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 : 13 par les présentes expériences, et :: 71 : 55 $\frac{1}{2}$ 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 du refroidissement du cuivre est à celui du refroidissement du bismuth, au point de pouvoir les 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, :: 55 : $11\frac{1}{2}$, 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 :: 13 : 13, 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, :: 13 : 11 $\frac{1}{2}$ 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, :: 13 : 11 $\frac{1}{2}$, 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 :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.	
Craie, en.	6 $\frac{1}{2}$ min.	En.	18 min.
Bismuth, en.	7	En.	19
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 :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.	Refroidis à la température.
Craie, en. 7 min.	En. 20 min.
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, :: $40\frac{1}{2} : 14\frac{1}{2}$, 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, :: $31 : 14\frac{1}{2}$ par les présentes expériences.

ces, 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 $:: 100 : 80$ par les expériences précédentes (art. XV), on aura, en ajoutant ces temps, 159 à 120 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, $:: 31 : 12\frac{1}{2}$, et $:: 59 : 38$ 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 :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.	
Bois, en.	$2\frac{1}{2}$ min.	En.	15 min.
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 :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.	
Bois, en.	2 min.	En.	13 min.

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.	
Verre, en.	7 $\frac{1}{2}$ min.	En. . . .	21 min.
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 :: 15 $\frac{1}{2}$: 12 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, :: $19 : 17$ par les présentes expériences, et :: $55 : 52$ 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 :: $170 : 152$ 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 :

	Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.
Gypse, en.	5 min.	En.	15 min.
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 :

	Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.
Gypse, en.	4 min.	En.	13 min.
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 236 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 : 59 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 : 22 par les présentes expériences, et :: 37 : 21 par les expériences précédentes (art. XI). Ainsi on aura, en ajoutant ces temps, 68 à 45 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 refroidissement 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 du refroidissement 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, de glaise, d'ocre, et de bois, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.	
Bois, en.	2 $\frac{1}{2}$ min.	En.	9 min.
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 :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.
Bois, en.	3 min.	En. . . . 11 min.
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 :: $59\frac{1}{2}$: 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 :: 115 : 113 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 :: $12\frac{1}{2}$: $11\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. XXXV). Ainsi on aura, en ajoutant ces temps, $28\frac{1}{2}$ à 20 pour le rapport 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 :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.	
Craie, en.	$5\frac{1}{2}$ min.	En.	16 min.
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 long-temps se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.	
Craie, en.	7 min.	En.	22 min.
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 : 25 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 : $17\frac{1}{2}$, 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 pouvoir les tenir, :: 22 : $17\frac{1}{2}$ par les expériences présentes, et :: $16\frac{1}{2}$: $13\frac{1}{2}$ 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 :: $16 \frac{1}{2}$: 11 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 plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences étant :: 67 : 58, et :: 46 : 32 par les expériences pré-

cédentes (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 57 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente 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 étant :: 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 :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.	
Gypse, en	11 min.	En.	28 min.
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 :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.	
Gypse, en.	4 $\frac{1}{2}$ min.	En.	16 min.
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.	45

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 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 $53\frac{1}{2}$ 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, :: $51\frac{1}{2} : 26$ par les présentes expériences, et :: $58\frac{1}{2} : 52$ 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, :: $10 : 9\frac{1}{2}$ 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 :: 52 : 20, et :: 187 : 178 par les expériences précédentes (art. XLIV), on aura, en ajoutant ces temps, 211 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 rap-

port 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 :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.	
Craie, en.	$6\frac{1}{2}$ min.	En.	20 min.
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 :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		Refroidis à la température.	
Craie, en.	$5\frac{1}{2}$ min.	En.	18 min.
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 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 les tenir, :: $29\frac{1}{2} : 17\frac{1}{2}$ 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. XXX), 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 :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.	Refroidis à la température.
Ocre, en. 5 min.	En. 16 min.
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 :: 21 : 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 : 30 par les expériences précédentes (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, :: 10 : $8\frac{1}{2}$ 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 : 21, et par les expériences précédentes (art. XXXIX) :: 132 : 117, 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, :: $10 : 7\frac{1}{2}$ par la présente expérience, 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 :: $113 : 87$ par les expériences précédentes (art. LX), on aura, en ajoutant ces temps, 140 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, :: $10 : 5$ 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) :: $113 : 75$, on aura, en ajoutant ces temps, 140 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, :: $10\frac{1}{2} : 9\frac{1}{2}$, 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, $:: 10\frac{1}{2} : 8\frac{1}{2}$, 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, $:: 10\frac{1}{2} : 7\frac{1}{2}$, 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, $:: 10\frac{1}{2} : 5$, 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 l'expérience présente étant $:: 23 : 21$, et $:: 109 : 89$ par les expériences précédentes (art. XXXIX), on aura, en ajoutant ces temps, 132 à 110 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, 16 $\frac{1}{2}$ à 13 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rap-

port donné par la présente expérience étant :: 23 : 20, et :: 18 : 15 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, $16\frac{1}{2}$ à 10 pour le rapport plus précis de leur premier 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, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.	Refroidis à la température.
Gypse, en. 3½ min.	En. 11 min.
Craie, en. 5	En. 16
Antimoine, en. 6	En. 22
Pierre tendre, en. 7½	En. 25
Zinc, en. 14½	En. 29

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

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.	Refroidis à la température.
Gypse, en. 3½ min.	En. 12 min.
Craie, en. 4½	En. 14
Antimoine, en. 6	En. 20
Pierre tendre, en. 8	En. 21
Zinc, en. 13½	En. 28

On peut conclure de ces deux expériences :

1°. Que le temps du refroidissement du zinc est

à celui du refroidissement de la pierre tendre, au point de pouvoir les tenir, :: 28 : 15 $\frac{1}{2}$, 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. XLVIII). 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 :: 13 $\frac{1}{2}$: 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 du refroidissement de l'anti-

moine 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 :: 44 : 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 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 $::71:57$ par les expériences précédentes (art. LVI), on aura, en ajoutant ces temps, 101 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 je les ai faites à plusieurs reprises dans l'espace de six ans: si je m'étois contenté d'en additionner les résultats, j'aurois, à la vérité, fort abrégé ce mémoire, mais on n'auroit 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'aurois 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 et	Premier refroidiss.	Entier refroid.
Émeril.	10000 à 9117	— 9020
Cuivre.	10000 à 8512	— 8702
Or.	10000 à 8160	— 8148
Zinc.	10000 à 7654	— 6020
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 2325	— 2817
Bois.	10000 à 1860	— 1549
Pierre ponce.	10000 à 1627	— 1268
ÉMERIL et		
Cuivre.	10000 à 8519	— 8148
Or.	10000 à 8513	— 8560
Zinc.	10000 à 8390	— 7692
Argent.	10000 à 7778	— 7895
Pierre calcaire dure.	10000 à 7304	— 6963
Grès.	10000 à 6552	— 6517
Verre.	10000 à 5862	— 5506

	Premier refroidiss.	Entier refroid.
ÉMERIL et		
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 et		
Or.	10000 à 9136	— 9194
Zinc.	10000 à 8571	— 9250
Argent.	10000 à ⁷⁶¹⁹ 8395	— 7823
Marbre commun.	10000 à 7638	— 8019
Grès.	10000 à 7333	— 8160
Verre.	10000 à 6667	— 6567
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 et		
Zinc.	10000 à 9474	— 9304
Argent.	10000 à ⁸⁴²² 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	— 7627

PARTIE EXPÉRIMENTALE.

145

	Premier refroidiss.	Entier refroid.
OR et		
Verre.	10000 à 7103	— 5932
Plomb.	10000 à 6526	— 7500
Étain.	10000 à 6324	— 6051
Pierre calcaire tendre.	10000 à 6087	— 5811
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 et		
Argent.	10000 à 8904	— 8990
Marbre blanc.	10000 à ¹⁰⁰¹⁵ 8305	— 8424
Grès.	10000 à ⁷¹⁹⁴ 6949	— 7333
Plomb.	10000 à ⁵⁸³⁸ 6051	— 7947
Étain.	10000 à ⁴⁹⁴⁰ 6777	— 6240
Pierre calcaire tendre.	10000 à ⁵⁶⁶⁶ 5536	— 7719
Glaise.	10000 à ⁴⁴²⁵ 5484	— 7458
Bismuth.	10000 à ⁴³⁷³ 5343	— 7547
Antimoine.	10000 à ⁴²⁵² 5246	— 6608
Craie.	10000 à ⁴¹³⁵ 3729	— 5862
Gypse.	10000 à ²⁶¹⁸ 3409	— 4268
		²²⁹⁸
ARGENT et		
Marbre blanc.	10000 à 8681	— 9200
Marbre commun.	10000 à 7912	— 9040
Pierre calcaire dure.	10000 à 7436	— 8580
Grès.	10000 à 7361	— 7767

ARGENT et	Premier refroidiss.	Entier refroid.
Verre.	10000 à 7250	— 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 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 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

PARTIE EXPÉRIMENTALE.

147

MARBRE COMMUN et		Premier refroidiss.	Entier refroid.
Antimoine.	.	10000 à 6279	— 8333
Ocre.	.	10000 à 6136	— 6393
Craie.	.	10000 à 5581	— 6333
Bois.	.	10000 à 2500	— 3279
PIERRE CALCAIRE 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 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	— 4828
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	— 6011
Bois.	.	10000 à 2647	— 5514

	Premier refroidiss.	Entier refroid.
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
ETAIN et		
Glaise.	10000 à 8823	— 9524
Bismuth.	10000 à 8888	— 9400
Antimoine.	10000 à 8710	— 9056
Ocre.	10000 à 5882	— 7619
Craie.	10000 à 6364	— 6842
Gypse.	10000 à 4090	— 4912
PIERRE CALCAIRE TENDRE et		
Antimoine.	10000 à 7742	— 9545
Craie.	10000 à 7288	— 7312
Gypse.	10000 à 4182	— 5211
GLAISE et		
Bismuth.	10000 à 8870	— 9419
Ocre.	10000 à 8400	— 8571
Craie.	10000 à 7701	— 8000
Gypse.	10000 à 5185	— 8033
Bois.	10000 à 3437	— 4545
BISMUTH et		
Antimoine.	10000 à 9349	— 9572
Ocre.	10000 à 8846	— 7380
Craie.	10000 à 8620	— 9500
PORCELAINE et		
Gypse.	10000 à 5308	— 6500

PARTIE EXPÉRIMENTALE.

149

	Premier refroidiss.	Entier refroid.
ANTIMOINE et		
Craie.	10000 à 8451	— 7391
Gypse.	10000 à 5833	— 5476
OCRE et		
Craie.	10000 à 8654	— 8889
Gypse.	10000 à 6364	— 9062
Bois.	10000 à 4074	— 5128
CRAIE et gypse.	10000 à 6667	— 7920
GYPSE et		
Bois.	10000 à 8000	— 5250
Pierre ponce.	10000 à 7000	— 4500
Bois et pierre ponce.	10000 à 8750	— 8182

Quelque attention que j'aie donnée à 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 6051, celui du zinc à l'étain devrait être moindre de 6000, tandis qu'il se trouve dans la table de 6777. Il en est de même de celui de l'argent au bismuth, qui devrait être moindre que 6308, et encore de celui du plomb à la glaise, qui devrait être de plus de 8000, et qui ne se trouve être dans la table que de 7878; 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, étoient faits, à la vérité, sur le même calibre : mais la matière de chacun pouvoit 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 devoit être de plus de 6000, et qui ne se trouve dans la table que de 5882, 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'aurois 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 join-

dre la patience au génie, et souvent cela ne suffit pas encore; il faut quelquefois renoncer, malgré soi, au degré de précision que l'on désireroit, parce que cette précision en exigeroit une tout aussi grande dans toutes les mains dont on se sert, et demanderoit 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° les métaux; 2° les demi-métaux et minéraux métalliques; 3° les substances vitrées et vitrescibles; 4° les substances calcaires et calcifiables : comparer ensuite les matières de chaque genre entre elles, pour tâcher de reconnoître 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 suivent 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 seroit 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'étoit connue ni des chi-

mistes ni des physiciens : on n'auroit 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 de 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 avoit cru jusqu'ici qu'il falloit 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 faudroit le double ou le triple du temps pour la pénétrer de chaleur ; et cela seroit vrai si, dans toutes les substances, les

parties constituantes étoient 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 des 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 en 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 cha-

leur 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 paroissent claires, précises, et fondées sur des expériences que rien ne peut démentir, on seroit 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 paroît avoir autant de rapport à l'ordre de la densité qu'à celui de leur fusibilité. Je dirois 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 connoissances 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'écroutissent et deviennent cassants; le fer même, quoique le plus robuste de tous, s'écroutit 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, quoiqu'une fois moins dense que le bismuth, conserve la chaleur une fois plus long-temps; le zinc, plus léger que l'antimoine et le bismuth, conserve aussi la chaleur beaucoup plus long-temps; l'antimoine et le bismuth la reçoivent et la gardent à peu près également. Il en est donc des demi-mé-

taux 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 minérales est :

Emeril, 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 paroissent pas bien d'accord avec l'ordre de la fusibilité :

1°. L'antimoine, qui devoit 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 auroit 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'échaufferoit et se refroidiroit plus lentement que le plomb.

2°. L'on prétend que le zinc se fond bien plus aisément que l'argent; par conséquent il devroit se trouver avant l'argent dans l'ordre indiqué par mes expériences, si cet ordre étoit, 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, étoit 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, 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'étoit resté après

1 M. Rouelle, démonstrateur de chimie aux écoles du Jardin du Roi.

toutes mes expériences faites, j'ai remis le globe de zinc à M. Rouelle, qui me l'avoit donné, en le priant de s'assurer s'il ne contenoit pas du fer ou du cuivre, ou quelque autre matière qui s'opposeroit 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 étoit bien fondé, mais encore que mes expériences ont été faites avec assez de précision pour faire reconnoître un mélange dont il n'étoit 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.¹

¹ Le globe de zinc sur lequel ont été faites toutes les expériences s'étant trouvé mêlé d'une portion de fer, j'ai été obligé de substituer dans la table générale, aux premiers rapports, de nouveaux rapports que j'ai placés sous les autres : par exemple, le rapport du fer au zinc de 10,000 à 7654 n'est pas le vrai rapport, et c'est celui de 10,000 à 6804 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 avoit diminué au moins d'un neuvième le progrès de la chaleur.

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 six gros vingt-deux grains, il doit être supposé plus pesant d'environ un gros, parce qu'il étoit 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, elle s'est diminuée par le frottement qu'elle 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 pres-

que 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 feroit 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 pro-

grès 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 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 faciles, 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 au-

thentiques, en mettant à portée de les vérifier, ceux qui voudroient douter de la vérité de leurs résultats, et de la conséquence générale que je viens d'en tirer.

TROISIÈME MÉMOIRE.

Observations sur la nature de la 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 la platine qui pourroit être encore moins accessible à la chaleur, et qui la conserveroit plus long-temps que le fer. Ce minéral, dont on ne parle que depuis peu, paroît 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 quoi qu'on puisse les faire couler sans addition de fondants, et les réduire en masse au foyer d'un bon

miroir brûlant, la 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 de la 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 la platine seroit à la tête de ma table, et avant le fer, si je l'avois mise en expérience; mais il ne m'a pas été possible de m'en procurer un globe d'un pouce de diamètre : on ne la trouve qu'en grains;¹ et celle qui est en masse n'est pas pure, parce qu'on y a mêlé, pour la fondre, d'autres matières qui en ont altéré la nature. Un de mes amis,² 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 connoît pas assez. Les chimistes qui ont travaillé sur la platine l'ont regardée comme un métal nouveau, parfait, propre, particulier, et différent de tous les autres métaux : ils ont assuré que sa pesanteur spécifique étoit à très-peu près égale

¹ Un homme digne de foi m'a néanmoins assuré qu'on trouve quelquefois de la platine en masse, et qu'il en avoit vu un morceau de vingt livres pesant qui n'avoit point été fondu, mais tiré de la mine même.

² M. le comte de la Billarderie d'Angivillers, de l'Académie des sciences, intendant en survivance du Jardin et du Cabinet du Roi.

à celle de l'or ; que néanmoins ce huitième métal différoit 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 la platine, d'après l'examen que j'en ai pu faire, ne me paroît 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 de la platine, et qu'il n'y soit même en assez grande quantité. Il y a plus :

c'est que si je ne m'étois pas lassé de ces expériences, qui ont duré plusieurs jours, j'aurois encore tiré par l'aimant une grande partie du restant de mes huit onces de platine; car l'aimant en attiroit encore quelques grains un à un, et quelquefois deux quand on a cessé de le présenter. Il y a donc beaucoup de fer dans la 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.

Toute la platine que j'ai eu occasion d'examiner, m'a paru mélangée 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 cette espèce de mélange, se trouvent toutes les nuances intermédiaires, soit pour le magnétisme, soit pour la couleur et la grosseur des 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 la platine à

l'action de l'aimant, ont été noircies sur toute l'étendue qu'occupoit la platine, les dernières feuilles moins que les premières à mesure qu'elle se troyoit, et que les grains qui restoient étoient 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, 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 de la platine a donc un certain degré de malléabilité et de ductilité, tandis que la partie noire ne paroît 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 avoit attirés les premiers, j'ai reconnu que le tout étoit du vrai fer, mais dans un état différent du fer ordinaire. Celui-ci, réduit en poudre et en limaille, se char-

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.

ge 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 la platine, est, au contraire, inaccessible à la rouille, quelque long temps 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 paroît 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 fouille 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 trouvoit néanmoins des particules de fer un peu arrondies et luisantes comme de la limaille de fer, et tout-à-fait semblables au sablon ferrugineux de la 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 de la 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'avois peine à concevoir d'où pouvoient provenir ces particules de fer; comment elles avoient 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 pouvoit 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 savois, par un grand nombre d'observations, qu'aucune de nos mines de fer en grains n'est attirable par l'aimant : j'étois 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 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'in-

termède de l'eau. Je pensai donc que ce sablon ferrugineux et magnétique que je trouvois en petite quantité dans mes mines de fer, devoit 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.

J'ai reconnu, dans le cabinet d'Histoire naturelle, des sablons 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

M'étant satisfait sur ce point, et après avoir comparé le sablon tiré de mes mines de fer et du mâchefer avec celui de la platine assez pour ne pouvoir douter de leur identité, je ne fus pas longtemps à penser, vu la pesanteur spécifique de la platine, que si ce sablon de fer pur, provenant de la décomposition du mâchefer, au lieu d'être dans une mine de fer, se trouvoit dans le voisinage d'une mine d'or, il auroit, en s'unissant à ce dernier métal, formé un alliage qui seroit absolument de la même nature que la 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 teinture, la couleur, et même l'aigre du fer, en les faisant fondre ensemble : on emploie cet or couleur de fer sur

Bretagne, en Danemark, en Sibérie, à Saint-Domingue; et les ayant tous comparés, j'ai vu que le sablon ferrugineux de Quimper étoit celui qui ressembloit le plus au mien, et qu'il n'en différoit 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'étoit une masse de fer pur. On peut donc présumer que ces sablons 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.

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 de la platine. Ayant demandé à un orfèvre quelle étoit la proportion de l'or et du fer dans ce mélange, qui étoit de la couleur de la platine, il me dit que l'or de vingt-quatre karats n'étoit plus qu'à dix-huit karats, et qu'il y entroit un quart de fer. On verra que c'est à peu près la proportion qui se trouve dans la platine naturelle, 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 la 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 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 reconnoît 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 la platine : cela

seul auroit 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 de la 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 de petits volumes sont si défectueuses qu'on n'en peut rien conclure, il me paroît 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 pesoit près d'un dixième de moins : mais cette poudre d'or étoit beaucoup trop fine en comparaison de la platine. M. Tillet, qui joint à une connoissance 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 de la platine, comparée 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 vingt-quatre karats, réduit autant qu'il étoit

possible à la grosseur des grains de la platine, et il a trouvé, par huit expériences, que la pesanteur de la platine différoit 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 avoient les angles beaucoup plus vifs que la platine. Celle-ci, vue à la loupe, est à peu près de la forme des galets roulés par l'eau; tous les angles sont émoussés, elle est même douce au toucher, au lieu que les grains de cet or coupés à la cisaille avoient des angles vifs et des pointes tranchantes, en sorte qu'ils ne pouvoient pas s'ajuster ni s'entasser les uns sur les autres aussi aisément que ceux de la platine; tandis qu'au contraire la poudre d'or dont je me suis servi étoit de l'or en paillettes, telles que les orpailleurs 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 de la 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 pouvoit maintenir le résultat de mes expériences, et assurer que la platine en grains, et telle que la nature la produit, est au moins d'un onzième ou d'un douzième moins pesante que l'or. Il y a toute apparence que cette

erreur de fait sur la densité de la platine vient de ce qu'on ne l'aura pas pesée dans son état de nature, mais seulement après l'avoir réduite 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 de la platine pure, mais un composé dans lequel sont entrées des matières fondantes, et duquel le feu a enlevé les parties les plus légères.

Ainsi la 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. Supposant donc que le pied cube d'or pèse treize cent vingt-six livres, et celui du fer pur cinq cent quatre-vingts livres, celui de la platine en grains se trouvera peser environ onze cent quatre-vingt-quatorze livres; ce qui supposeroit 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 pourroit 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 viendroit à bout d'enlever, avec un fort aimant, toute la 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'étoit entré que six grains, c'est-à-dire un onzième de fer; et ce bouton se laissoit enlever aisément par un bon aimant. Dès-lors la platine pourroit 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 attirée en entier par l'aimant; et cela s'accorderoit parfaitement avec la pesanteur spécifique, qui est d'un dixième ou d'un onzième moindre que celle du fer.

Mais ce qui me fait présumer que la 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 la platine la plus colorée, et qu'il faut un quart de fer sur trois quarts d'or pour que l'alliage ait précisément la couleur naturelle de la platine. Je suis donc très-porté à croire qu'il pourroit bien y avoir cette quantité d'un quart de fer dans la platine. Nous nous sommes assurés, M. Tillet et moi, par plusieurs expériences, que le sablon de ce fer pur que contient la 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 de la 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'aurois 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'étois sur le point de livrer ces feuilles à l'impression, le hasard fit que je parlai de mes idées sur la platine à M. le comte de Milly, qui a beaucoup de connoissances en physique et en chimie : il me répondit qu'il pensoit 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 étendue 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 pre- »
» mière avoit le brillant métallique, elle étoit la »
» plus abondante ; la seconde, vitriforme, tirant sur

» le noir, ressemble assez à une matière métallique
» ferrugineuse qui auroit subi un degré de feu con-
» sidérable, telle que des scories de fer, appelées
» vulgairement *mâchefer*; la troisième, moins abon-
» dante que les deux premières, est du sable de
» toutes couleurs, où cependant le jaune, couleur
» de topase, domine. Chaque grain de sable, con-
» sidéré à part, offre à la vue des cristaux réguliers
» de différentes couleurs; j'en ai remarqué de cris-
» tallisés en aiguilles hexagones, se terminant en
» pyramides comme le cristal de roche, et il m'a
» semblé que ce sable n'étoit qu'un *detritus* de cris-
» taux de roche ou de quartz de différentes couleurs.

» Je formai le projet de séparer, le plus exacte-
» ment 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'étoit
» moins, et enfin de celle qui ne l'étoit pas du tout;
» ensuite d'examiner chaque substance en particu-
» lier, et de les soumettre à différentes épreuves
» chimiques et mécaniques.

» Je mis à part les parties de la platine qui fu-
» rent attirées avec vivacité à la distance de deux
» ou trois lignes, c'est-à-dire sans le contact de l'ai-
» mant, 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 en-
» levai tout ce qui voulut céder à l'effort magnéti-
» que, que je mis à part : je pesai ce qui étoit res-

» té et qui n'étoit presque plus attirable; cette ma-
 » tière non attirable, et que je nommerai n° IV, pe-
 » soit vingt-trois grains; n° I^{er}, qui étoit le plus
 » sensible à l'aimant, pesoit quatre grains; n° II,
 » pesoit de même quatre grains, et n° III, cinq
 » grains.

» N° I^{er}, examiné à la loupe, n'offroit 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, res-
 » semblant à du mâchefer pilé, dans lequel on a-
 » perçoit des parties très-rouillées, enfin telles que
 » les scories de fer en présentent lorsqu'elles ont
 » été exposées à l'humidité.

» N° II présentoit à peu près la même chose, à
 » l'exception que les parties métalliques dominoient,
 » et qu'il n'y en avoit que très-peu de rouillées.

» N° III étoit la même chose : mais les parties mé-
 » talliques étoient plus volumineuses ; elles ressem-
 » bloient à du métal fondu, et qui a été jeté dans
 » l'eau pour le diviser en grenailles : elles sont a-
 » platies ; elles affectent toutes sortes de figures,
 » mais arrondies sur les bords à la manière des ga-
 » lets qui ont été roulés et polis par les eaux.

» N° IV, qui n'avoit point été enlevé par l'aimant,
 » mais dont quelques parties donnoient encore des
 » marques de sensibilité au magnétisme, lorsqu'on
 » passoit l'aimant sous le papier où elles étoient
 » étendues, étoit un mélange de sable, de parties

» métalliques et de vrai mâchefer friable sous les
» doigts, qui noircissoit à la manière du mâchefer
» ordinaire. Le sable sembloit être composé de pe-
» tits cristaux de topase, de cornaline, et de cristal
» de roche; j'en écrasai quelques cristaux sur un tas
» d'acier, et la poudre qui en résulta étoit 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
» noircissoit le papier comme le mâchefer ordinaire.

» Les parties métalliques de ce dernier (n° IV)
» me parurent plus ductiles sous le marteau que
» celles du n° I^{er}, ce qui me fit croire qu'elles con-
» tenoient moins de fer que les premières; d'où il
» s'ensuit que la platine pourroit 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 de la 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 la
» platine par des moyens chimiques, je pris les deux
» extrêmes, c'est-à-dire n° I^{er}, qui étoit très-attira-
» ble à l'aimant, et n° IV, qui ne l'étoit pas; je les ar-
» rosai avec de l'esprit de nitre un peu fumant : j'ob-
» servai avec la loupe ce qui en résulteroit; 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 métalliques
» se décapèrent, et elles prirent un nouveau bril-
» lant 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 colorante du bleu de Prusse, et sur-
» le-champ le n° I^{er} me donna un très-beau bleu de
» Prusse.

» Le n° IV ayant été traité de même, et quoi-
» qu'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° I^{er}, du très-beau bleu de Prusse.

» Il y a deux choses fort singulières à remarquer
» dans ces expériences. 1°. Il passe pour constant
» parmi les chimistes qui ont traité de la platine.
» que l'eau-forte ou l'esprit de nitre n'a aucune ac-
» tion sur elle; cependant, comme on vient de le
» voir, il s'en dissout assez, quoique sans efferves-
» cence, 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°. La 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 occasioner d'effe-
» vescence, 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, pourroit
» 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 vol-
» can, ou simplement le produit des travaux que
» les Espagnols ont faits dans le Nouveau-Monde
» pour retirer l'or des mines du Pérou: je ferai men-
» tion, par la suite, de mes conjectures là-dessus.

» Si l'on frotte de la platine naturelle sur un lin-
» ge blanc, elle le noircit comme pourroit le faire
» le mâchefer ordinaire; ce qui m'a fait soupçon-
» ner que ce sont les parties de fer réduites en
» mâchefer qui se trouvent dans la platine, qui
» donnent cette couleur, et qui ne sont dans cet
» état que pour avoir éprouvé l'action d'un feu vio-
» lent. D'ailleurs, ayant examiné une seconde fois
» de la platine avec ma loupe, j'y aperçus diffé-
» rents globules de mercure coulant; ce qui me
» fit imaginer que la platine pourroit bien être un
» produit de la main des hommes, et voici com-
» ment.

» La platine, à ce qu'on m'a dit, se tire des mi-
» nes les plus anciennes du Pérou, que les Espa-

» gnols ont exploitées après la conquête du Nou-
 » veau-Monde. Dans ces temps reculés, on ne con-
 » noissoit guère que deux manières d'extraire l'or
 » des sables qui le contenoient : 1° par l'amalgame
 » du mercure ; 2° par le départ à sec : on trituroit le
 » sable aurifère avec du mercure ; et lorsqu'on ju-
 » geoit qu'il s'étoit chargé de la plus grande partie
 » de l'or, on rejetoit le sable qu'on nommoit *crasse*,
 » comme inutile et de nulle valeur.

» Le départ à sec se faisoit avec aussi peu d'intel-
 » ligence. Pour y vaquer, on commençoit par miné-
 » raliser les métaux aurifères par le moyen du sou-
 » fre, qui n'a point d'action sur l'or, dont la pesan-
 » teur spécifique est plus grande que celle des au-
 » tres métaux ; mais pour faciliter sa précipitation,
 » on ajoute du fer en limaille qui s'empare du sou-
 » fre surabondant, méthode qu'on suit encore au-
 » jourd'hui.¹ La force du feu vitrifie une partie du
 » fer ; l'autre se combine avec une petite portion
 » d'or, et même d'argent, qui se mêle avec les sco-
 » ries, d'où on ne peut le retirer que par plusieurs
 » fontes, et sans être bien instruit des intermèdes
 » convenables que les docimasistes emploient. La
 » chimie, qui s'est perfectionnée de nos jours, don-
 » ne, à la vérité, les moyens de retirer cet or et cet
 » argent en plus grande partie : mais dans le temps

¹ Voyez les *Éléments docimastiques* de Cramer ; l'*Art de traiter les Mines*, par Schulter, Schindeler, etc.

» où les Espagnols exploitoient les mines du Pérou,
» ils ignoroient sans doute l'art de traiter les mines
» avec le plus grand profit; et d'ailleurs ils avoient
» de si grandes richesses à leur disposition, qu'ils
» négligeoient vraisemblablement les moyens qui
» leur auroient coûté de la peine, des soins, et du
» temps. Ainsi il y a apparence qu'ils se conten-
» toient d'une première fonte, et jetoient les sco-
» ries comme inutiles, ainsi que le sable qui avoit
» passé par le mercure; peut-être même ne fai-
» soient-ils qu'un tas de ces deux mélanges, qu'ils
» regardoient comme de nulle valeur.

» Ces scories contenoient encore de l'or, beau-
» coup de fer sous différents états, et cela en des
» proportions différentes qui nous sont inconnues,
» mais qui sont telles peut-être qu'elles peuvent a-
» voir donné l'existence à la 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 la platine que j'ai eue 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 des conjectures hasardées: il faudroit,
» pour en acquérir quelque certitude, savoir au jus-
» te où sont situées les mines de la platine, si elles
» ont été exploitées anciennement, si on la tire d'un
» terrain neuf, ou si ce ne sont que des décombres;
» à quelle profondeur on la trouve, et enfin si la
» main des hommes y est exprimée ou non. Tout

» cela pourroit aider à vérifier ou à détruire les
 » conjectures que j'ai avancées. »

REMARQUES.

Ces observations de M. le comte de 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 la 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 de la platine, j'ai cru devoir ajouter les remarques suivantes :

1°. M. le comte de Milly distingue dans la platine trois espèces de matières, savoir, deux métalliques, et la troisième non métallique, de substance et de forme quartzeuse ou cristalline. Il a observé, comme moi, que des deux matières métalli-

¹ 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.

ques, l'une est très-attirable par l'aimant, et que l'autre l'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 avoit pas ou très-peu dans la platine sur laquelle j'ai fait mes observations. Il y a apparence que la platine dont s'est servi M. de Milly étoit moins pure que la mienne, que j'ai observée avec soin, et dans laquelle je n'ai vu que quelques petits globules transparents comme du verre blanc fondu, qui étoient unis à des particules de platine ou de sablon ferrugineux, et qui se laissoient enlever ensemble par l'aimant. Ces globules transparents étoient en très-petit nombre; et dans huit onces de platine que j'ai bien regardée 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 étoient 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 doutois point du tout de la vérité de l'observation de M. de Milly, qui avoit vu dans sa platine des particules quarzeuses et cristallines de forme régulière et en grand nombre, j'ai cru ne devoir pas me borner à l'examen de la seule platine dont j'ai parlé ci-devant : j'en ai trouvé au cabinet du Roi, que j'ai examinée avec M. Daubenton, de l'Académie des sciences,

et qui nous a paru à tous deux bien moins pure que la première; 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 topase, et d'autres enfin parfaitement blancs. Ainsi M. le comte de Milly ne s'étoit point trompé dans son observation; mais ceci prouve seulement qu'il 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 seroit une goutte de métal fondu qui se seroit refroidie sur un plan. J'ai vu très-distinctement un de ces grains hémisphériques, et cela pourroit indiquer que la 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 topases 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 cette platine, et qui, pour en augmenter la quantité, auront pu la 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 la 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 seroient bientôt amalgamées, et ne conserveroient pas la couleur jaune de l'or que j'ai remarquée dans toutes les paillettes d'or que j'ai pu trouver dans une demi-livre de platine.¹ 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 avoit beaucoup moins de parties ternes et rouillées dans ma première platine que dans celle 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 ma seconde platine, c'est-à-dire celle que j'ai prise au cabinet du Roi, avoit encore de commun avec celle de M. le comte de Milly, d'être mélangée de quelques parties ferrugineuses qui, sous le marteau, se réduisoient en poussière jaune et avoient tous les ca-

¹ J'ai trouvé depuis dans d'autre platine des paillettes d'or qui n'étoient pas jaunes, mais brunes et même noires comme le sablon ferrugineux de la platine, qui probablement leur avoit donné cette couleur noirâtre.

ractères de la rouille. Ainsi cette platine du cabinet du Roi et celle de M. de Milly se ressemblant à tous égards, il est vraisemblable qu'elles sont venues du même endroit et par la même voie; je soupçonne même que toutes deux ont été sophistiquées et mélangées de près de moitié avec des matières étrangères, cristallines et ferrugineuses rouillées, qui ne se trouvent pas dans la platine naturelle.

4°. La production du bleu de Prusse par la platine me paroît 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 de la 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 la 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 paroissent très-importantes; elles seroient même décisives si elles réussissoient toujours également.

5°. Il nous manque en effet beaucoup de connaissances qui seroient nécessaires pour pouvoir prononcer affirmativement sur l'origine de la 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 paroissent seulement plus vraisemblables que les autres. Par exemple, je ne crois pas que la platine soit l'ouvrage des hommes; les Mexicains et les Péruviens savoient fondre et travailler l'or avant l'arrivée des Espagnols, et ils ne connoissoient pas le fer, qu'il auroit 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 de la 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 la 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. La platine ne me paroît donc pas être l'ouvrage de l'homme, mais le produit de la nature, et je suis très-porté à croire qu'elle 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 pourroit aussi que l'eau seule eût produit la 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 la 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, sembleroit indiquer qu'il n'y a en 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 seroit toujours beaucoup si sa promesse pouvoit 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 la 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'avois 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 la platine. Je lui donnai une portion de celle que j'avois attirée par l'aimant, et une autre portion de celle qui avoit paru insensible au magnétisme, en le priant d'exposer ce minéral singulier au plus grand feu qu'il lui seroit possible de faire; et, quelque temps après, il m'a remis les expériences suivantes, qu'il a 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. Bau-

» mé m'avoit 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 étoient attirables de ceux qui ne don-
 » noient 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 pesoient deux
 » grains et demi. Six heures après, j'ai étendu l'a-
 » cide par de l'eau distillée, et j'y ai versé de la li-
 » queur alcaline, saturée de matière colorante : il
 » n'y a pas eu un atome de bleu; la platine avoit
 » seulement un coup d'œil plus brillant. J'ai pareil-
 » lement versé de l'acide fumant sur les 33 grains $\frac{1}{2}$
 » de platine restante, dont partie étoit attirable,
 » la liqueur étendue après le même intervalle de
 » temps, le même alcali prussien en a précipité une
 » fécule bleue, qui couvroit le fond d'un vase assez
 » large. La platine, après cette opération, étoit bien
 » décapée comme la première. Je l'ai lavée et sé-
 » chée, et j'ai vérifié qu'elle n'avoit perdu qu'un
 » quart de grain, ou $\frac{1}{138}$. L'ayant examinée en cet
 » état, j'y ai aperçu un grain d'un beau jaune, qui
 » s'est trouvé une paillette d'or.

» M. de Fourcy avoit nouvellement publié que
 » la dissolution d'or étoit aussi précipitée en bleu
 » par l'alcali prussien, et avoit consigné ce fait
 » dans une table d'affinité. Je fus tenté de répéter
 » cette expérience; je versai en conséquence de la

» liqueur alcaline phlogistiquée dans de la disso-
» lution d'or de départ, mais la couleur de cette
» dissolution ne changea pas; ce qui me fait soup-
» çonner que la dissolution d'or employée par M. de
» Fourcy pouvoit bien n'être pas aussi pure.

» Et, dans le même temps, M. le comte de Buf-
» fon m'ayant donné une assez grande quantité d'au-
» tre platine pour en faire quelques essais, j'ai en-
» trepris de la séparer de tous les corps étrangers
» par une bonne fonte. Voici la manière dont j'ai
» procédé, et les résultats que j'ai eus.

PREMIÈRE EXPÉRIENCE.

» Ayant mis un gros de platine dans une petite
» coupelle, sous la moufle du fourneau donné par
» M. Macquer dans les *Mémoires de l'Académie des*
» *sciences*, année 1758, j'ai soutenu le feu pendant
» deux heures; la moufle s'est affaissée, les sup-
» ports avoient coulé : cependant la platine s'est
» trouvée seulement agglutinée; elle tenoit à la cou-
» pelle, et y avoit laissé des taches couleur de rouil-
» le. La platine étoit alors terne, même un peu noi-
» re, et n'avoit pris qu'un quart de grain d'aug-
» mentation de poids, quantité bien foible en com-
» paraison de celle que d'autres chimistes ont ob-
» servée; ce qui me surprit d'autant plus que ce
» gros de platine, ainsi que toute celle que j'ai
» employée aux autres expériences, avoit été en-
» levé successivement par l'aimant, et faisoit por-

» tion des six septièmes des 8 onces dont M. de Buf-
 » fon a parlé dans le Mémoire ci-dessus. »

DEUXIÈME EXPÉRIENCE.

« Un demi-gros de la même platine, exposé au
 » même feu dans une coupelle, s'est aussi agglu-
 » tiné; elle étoit adhérente à la coupelle, sur la-
 » quelle elle avoit 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 nou-
 » velle coupelle; mais, au lieu de moufle, j'ai ren-
 » versé sur le support un creuset de plomb noir de
 » Passaw. J'avois eu l'attention de n'employer pour
 » support que des têts d'argile pure très-réfractai-
 » re; par ce moyen, je pouvois augmenter la vio-
 » lence 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 heu-
 » res, un feu de la dernière violence. Lorsque tout
 » a été refroidi, j'ai trouvé le creuset bien conser-
 » vé, soudé au support. Ayant brisé cette soudure
 » vitreuse, j'ai reconnu que rien n'avoit pénétré
 » dans l'intérieur du creuset, qui paroissoit seule-
 » ment plus luisant qu'il n'étoit auparavant. La
 » coupelle avoit conservé sa forme et sa position;

» elle étoit un peu fendillée, mais pas assez pour
» se laisser pénétrer : aussi le bouton de platine n'y
» étoit-il pas adhérent ; ce bouton n'étoit encore
» qu'agglutiné, mais d'une manière bien plus ser-
» rée que la première fois : les grains étoient moins
» saillants ; la couleur en étoit plus claire, le bril-
» lant plus métallique ; et ce qu'il y eut de plus re-
» marquable, c'est qu'il s'étoit élancé de sa surface
» pendant l'opération, et probablement dans les
» premiers instants du refroidissement, trois jets
» de verre, dont l'un, plus élevé, parfaitement sphé-
» rique, étoit porté sur un pédicule d'une ligne de
» hauteur, de la même matière transparente et vi-
» treuse. Ce pédicule avoit à peine un sixième de
» ligne, tandis que le globule avoit une ligne de
» diamètre, d'une couleur uniforme, avec une lé-
» gère teinte de rouge, qui ne déroboit rien à sa
» transparence. Des deux autres jets de verre, le
» plus petit avoit un pédicule comme le plus gros,
» et le moyen n'avoit point de pédicule, et étoit
» seulement attaché à la platine par sa surface ex-
» térieure.

QUATRIÈME EXPÉRIENCE.

» J'ai essayé de coupeller la platine, et pour cela
» j'ai mis dans une coupelle un gros des mêmes
» grains enlevés par l'aimant, avec deux gros de
» plomb. Après avoir donné un très-grand feu pen-
» dant 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 annonçoit que la platine avoit 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 avoient 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'avois
» 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 four-
» neau de M. Macquer, toujours placé dans une
» coupelle couverte d'un creuset de Passaw je sou-
» tins le feu pendant trois heures, après lesquelles
» je fus obligé de l'arrêter, parce que les briques
» qui servoient de support avoient entièrement cou-
» lé. Le bouton étoit devenu de plus en plus mé-
» tallique : il adhéroit pourtant à la coupelle ; il
» avoit perdu cette fois 34 grains. Je le jetai dans
» l'acide nitreux fumant, pour essayer de le déca-
» per : il y eut un peu d'effervescence lors que j'a-
» joutai de l'eau distillée ; le bouton y perdit ef-
» fectivement 2 grains, et j'y remarquai quelques

» petits trous, comme ceux que laisse le départ.

» Il ne restoit que 22 grains de plomb alliés à la
» 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 com-
» me 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 attiroit, une évaporation
» continue par le moyen d'une capsule que je
» remplissois d'eau de temps en temps, et de lais-
» ser un moment la chape entr'ouverte lorsqu'on
» venoit de remplir le fourneau de charbon. Ces
» précautions augmentèrent tellement l'activité du
» feu qu'il falloit 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 avoit résisté; que les supports n'é-
» toient que faïencés par les cendres. Je trouvai
» dans la coupelle un bouton bien rassemblé, nul-
» lement adhérent, d'une couleur continue et uni-
» forme, approchant plus de la couleur de l'étain
» que de tout autre métal, seulement un peu rabo-
» teux, en un mot, pesant un gros très-juste, rien
» de plus, rien de moins.

» Tout annonçoit donc que cette platine avoit
» éprouvé une fusion parfaite, qu'elle étoit parfai-

» tement pure ; car, pour supposer qu'elle tenoit
 » encore du plomb, il faudroit supposer aussi que
 » ce minéral avoit justement perdu de sa propre
 » substance autant qu'il avoit retenu de matière
 » étrangère ; et une telle précision ne peut être l'ef-
 » fet d'un pur hasard.

» Je devois passer quelques jours avec M. le com-
 » te de Buffon, dont la société a, si je puis le dire,
 » le même charme que son style, dont la conver-
 » sation est aussi pleine que ses livres ; je me fis
 » un plaisir de lui porter les produits de ces es-
 » sais, et je remis à les examiner ultérieurement
 » avec lui.

» 1°. Nous avons observé que le gros de platine
 » agglutinée de la première expérience n'étoit pas
 » attiré en bloc par l'aimant ; que cependant le bar-
 »reau magnétique avoit une action marquée sur
 » les grains que l'on en détachoit.

» 2°. Le demi-gros de la troisième expérience
 » n'étoit non-seulement pas attirable en masse,
 » mais les grains que l'on en séparoit ne donnoient
 » plus eux-mêmes aucun signe de magnétisme.

» 3°. Le bouton de la quatrième expérience étoit
 » aussi absolument insensible à l'approche de l'ai-
 » mant, ce dont nous nous assurâmes en mettant
 » le bouton en équilibre dans une balance très-sen-
 » sible, et lui présentant un très-fort aimant jus-
 » qu'au contact, sans que son approche ait le moin-
 » drement dérangé l'équilibre.

» 4°. La pesanteur spécifique de ce bouton fut
 » déterminée par une bonne balance hydrostati-
 » que, 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 pro-
 » grès de la chaleur; leur densité se trouva avoir les
 » rapports suivants avec l'eau dans laquelle ils fu-
 » rent plongés :

» Le globe.	19 $\frac{1}{14}$.
» L'or de monnaie.	17 $\frac{1}{2}$.
» 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, faisant à peu près le sixième de la
 » totalité; la fracture présenta plusieurs cavités,
 » dont quelques-unes, d'environ une ligne de dia-
 » mètre, avoient la blancheur et le brillant de l'ar-
 » gent; on remarquoit dans d'autres de petites
 » pointes élançées, comme les cristallisations dans
 » les géodes. Le sommet de l'une de ces pointes,
 » vu à la loupe, étoit un globule absolument sem-
 » blable, pour la forme, à celui de la troisième ex-
 » périence, et aussi de matière vitreuse transpa-
 » rente, autant que son extrême petitesse permet-
 » toit d'en juger. Au reste, toutes les parties du

» bouton étoient compactes, bien liées, et le grain
» plus fin, plus serré, que celui du meilleur acier
» après la plus forte trempe, auquel il ressembloit
» d'ailleurs par la couleur.

» 6°. Quelques portions de ce bouton ainsi ré-
» duites 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 pul-
» vérisées dans un mortier d'agate, nous avons re-
» marqué que le barreau magnétique en enlevoit
» quelques-unes des plus petites toutes les fois
» qu'on le posoit immédiatement dessus.

» Cette nouvelle apparition du magnétisme étoit
» d'autant plus surprenante, que les grains déta-
» chés de la masse agglutinée de la deuxième ex-
» périence nous avoient paru avoir perdu eux-mê-
» mes toute sensibilité à l'approche et au contact
» de l'aimant. Nous reprîmes en conséquence quel-
» ques-uns de ces grains; ils furent de même ré-
» duits en poussière dans le mortier d'agate, et
» nous vîmes bientôt les parties les plus petites s'at-
» tacher sensiblement au barreau aimanté. Il n'est
» pas possible d'attribuer cet effet au poli de la sur-
» face du barreau, ni à aucune autre cause étran-
» gère au magnétisme : un morceau de fer aussi
» poli, appliqué de la même manière sur les par-
» ties de cette platine, n'en a jamais pu enlever une
» seule.

» Par le récit exact de ces expériences et des ob-

» servations auxquelles elles ont donné lieu , on peut
» juger de la difficulté de déterminer la nature de
» la platine. Il est bien certain que celle-ci conte-
» noit quelques parties vitrifiables , et vitrifiables
» même sans addition à un grand feu ; il est bien
» sûr que toute platine contient du fer et des par-
» ties attirables : mais si l'alcali prussien ne don-
» noit jamais du bleu qu'avec les grains que l'ai-
» mant en a enlevés, il semble qu'on en pourroit
» conclure que ceux qui lui résistent absolument
» sont de la platine pure, qui n'a par elle-même
» aucune vertu magnétique, et que le fer n'en fait
» pas partie essentielle. On devoit espérer qu'une
» fusion aussi avancée, une coupellation aussi par-
» faite, décideroient au moins cette question ; tout
» annonçoit qu'en effet ces opérations l'avoient dé-
» pouillée de toute vertu magnétique en la sépa-
» rant de tous corps étrangers : mais la dernière
» observation prouve, d'une manière invincible,
» que cette propriété magnétique n'y étoit réelle-
» ment qu'affoiblie, et peut-être masquée ou ense-
» velie, puisqu'elle a reparu lorsqu'on l'a broyée.»

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 la platine sans addition dans nos meilleurs fourneaux, en lui ap-

pliquant le feu plusieurs fois de suite , parce que les meilleurs creusets ne pourroient résister à l'action d'un feu aussi violent pendant tout le temps qu'exigeroit l'opération complète.

2°. Qu'en la fondant avec le plomb , et la coupellant successivement et à plusieurs reprises , on vient à bout de vitrifier tout le plomb , et que cette opération pourroit à la fin la purger d'une partie des matières étrangères qu'elle contient.

3°. Qu'en la fondant sans addition , elle paroît se purger elle-même en partie des matières vitrescibles qu'elle renferme , puisqu'il s'élançe 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 paroissent 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 paroît que ni la fusion ni la coupellation ne peuvent détruire , dans la platine , tout le fer dont elle est intimement pénétrée : les boutons fondus ou coupellés paroissent , 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 la platine étoit réduite en poudre plus fine. Le premier bouton, dont les grains ne s'étoient qu'agglutinés, rendit, étant broyé, beaucoup plus de parties magnétiques que le second et le troisième dont les grains avoient subi une plus forte fusion; mais néanmoins tous deux, étant broyés, fournirent des parties magnétiques, en sorte qu'on ne peut pas douter qu'il n'y ait encore du fer dans la platine après qu'elle 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 cette platine fondue et ensuite broyée, c'est qu'elle reprend, en se brisant, précisément la même forme des galets arrondis et aplatis qu'elle avoit avant d'être fondue. Tous les grains de cette platine fondue et brisée sont semblables à ceux de la platine naturelle, tant pour la forme que pour la variété de grandeur; et ils ne paroissent 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 la platine a subi plus de feu. Cela paroît prouver aussi que, quoique le feu ait été assez fort non-seulement pour brûler et vitrifier, mais même pour chasser au dehors une par-

tie du fer avec les autres matières vitrescibles qu'elle contient, la fusion néanmoins n'est pas aussi complète que celle des autres métaux parfaits, puisqu'en la brisant, les grains reprennent la même figure qu'ils avoient 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 que des boulets chauffés trois fois jusqu'au blanc ont perdu la douzième partie de leur poids. On seroit 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 diminue et rend d'autant plus légère

qu'il est appliqué plus souvent et plus long-temps.¹

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 5 pouces, qui, par exemple, aura perdu 8 onces par une première chaude, il n'y aura pas une once de ces écailles détachées, et que 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 réitéroit souvent cette même opération, on réduiroit le fer à n'être plus qu'une matière friable et légère dont on ne pourroit faire aucun usage : car j'ai remarqué que les boulets non-seulement avoient perdu de leur poids, c'est-à-dire de leur densité, mais qu'en même temps ils avoient 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 pouvoit les casser d'autant plus aisément qu'ils avoient été chauffés plus souvent et plus long-temps.

¹ 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.

C'est sans doute parce que l'on ignoroit jusqu'à quel point va cette altération du fer, ou plutôt parce qu'on ne s'en doutoit point du tout, que l'on imagina, il y a quelques années, dans notre artillerie, de chauffer les boulets dont il étoit question de diminuer le volume.¹ 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

¹ M. le marquis de Vallière ne s'occupoit point alors des travaux de l'artillerie.

long-temps 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 faudroit, s'il étoit 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 seroit 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 tiroit perpendiculairement. Cette boucle de fer avoit environ 10 pouces de largeur, sur 13 pouces de hauteur, et elle étoit, 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 vouloit conclure du grand au petit sur la force du fer par cette expérience, il se trouveroit que chaque ligne carrée de fer, tirée perpendicu-

lairement, ne pourroit 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 de 495 livres : en sorte qu'il est à présumer qu'une verge carrée d'une ligne de ce même fer auroit porté encore davantage, puisqu'elle auroit 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'avois employé venoit de la forge d'Aisy sous Rougemont; il étoit sans nerf et à gros grain, et j'ignore de quelle forge étoit 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 que 28,450 livres, et rompit encore presque dans le milieu des deux montants.

IV J'avois fait faire en même temps une boucle du même fer, que j'avois fait reforge 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'auroit 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'auroit 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 grain, et venant de la même forge d'Aisy, que j'avois fait établir pour empêcher l'écartement des murs du haut fourneau de mes forges, et qui avoit 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 pouvois comparer ce cadre aux boucles des expériences précédentes, parce qu'il étoit du même fer, et qu'il a cassé de la même manière. Or ce fer avoit 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'auroient rompu que sous un poids de 35,480 livres, et que par conséquent l'effort de la chaleur devoit 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 étoit de deux pièces retenues et jointes ensemble par deux clavettes de fer passées dans des anneaux forgés au bout des deux bandes de fer; la largeur de ces bandes étoit 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'auroit été qu'en un seul endroit, et non pas en deux endroits opposés, comme les boucles ou le grand cadre carré. Mais l'expérience me démontra que, pendant un fondage de quatre mois, où la chaleur étoit même plus grande que dans le fondage précédent, ces 150 lignes de bon fer résistèrent à son effort, qui étoit 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 et à gros grain.

Que l'on juge par-là de l'avantage qu'on trou-

veroit à n'employer que du bon fer nerveux dans les bâtimens et dans la construction des vaisseaux : il en faudroit les trois quarts moins, et l'on auroit 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 pourroit 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 tireroit 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 long-temps; 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 n'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'avoit paru inexplicable jusqu'alors. On trouve dans les terres élevées, et surtout dans les 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 volcan ou de feux souterrains; on trouve, dis-je, souvent de gros blocs de mâ-

chefer que deux hommes auroient peine à enlever : j'en ai vu, pour la première fois, en 1745, 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 laissé brûler; mais les gros ne peuvent venir que d'un incendie dans la forêt, lorsqu'elle étoit en pleine venue, et que les arbres y étoient assez grands et assez voisins pour produire un feu très-violent et très-long-temps 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 reconnoître, 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 long-temps: Pline dit, avec grande raison : *Ferrum accensum igni, nisi duretur ictibus, corrumpitur.*¹ On en sera

¹ *Hist. nat.*, lib. xxxiv, cap. 15.

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 consommeroit une partie de sa substance si on tarδοit trop de temps à porter cette loupe sous le marteau; ce fer seroit, pour ainsi dire, détruit avant que d'être formé; il subiroit l'effet complet de la combustion, si le coup du marteau, en rapprochant ses parties trop divisées par le feu, ne commençoit 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 pourroient acquérir si on les travailloit moins précipitamment. La for-

ce 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 qua-

lité 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'arriveroit jamais si l'on suivoit les procédés que j'ai donnés pour faire de bonnes fontes.¹

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 ne donnent jamais assez de vent; ils travaillent moins la loupe, et font ordinairement en deux chaudes ce qui en exigeroit au moins trois. On ne sera donc

¹ On trouvera ces procédés dans mes Mémoires sur la fusion des mines de fer.

jamais sûr d'avoir du fer d'une bonne et même qualité qu'en payant les ouvriers au mois, et en faisant casser, à la fin de chaque semaine, quelques barres du fer qu'ils livrent, pour reconnoître s'ils ne se 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 treize 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 paroît nécessaire ici, parce qu'il faut ensuite tirer de ces

barreaux, qu'on coupe environ à quatre pieds, une verge de dix-huit ou vingt pieds par le moyen du martinet, sous lequel on l'allonge après l'avoir chauffé; 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 de 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 de 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'imagineroit pas que c'est le même fer, si l'on n'en étoit 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 bien 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 brûleroit 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 cisillées que je fais fabriquer, j'ai souvent fait du fer qui étoit tout nerf, et dont le déchet n'étoit 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 l'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-Etienne, 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 fer-
» railles 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 sup-

» posent que le fer qu'on a employé pour les fabri-
» quer étoit souple, liant, et susceptible d'être plié,
» étendu ou tordu, doivent être préférées et re-
» cherchées pour la fabrication des canons de fu-
» sil.» 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 ma-
nière de le traiter; l'auteur rapporte une très-bon-
ne expérience, ¹ qui prouve clairement que les vieil-
les 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

¹ Qu'on prenne une barre de fer large de deux à trois pou-
ces, épaisse de deux à trois lignes; qu'on la chauffe au rou-
ge, 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 don-
nera une chaude douce d'abord en rabattant les bords, pour
empêcher qu'elles ne s'échappent, et on battra la barre com-
me 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 com-
plète et parfaite, et que toutes les parties du fer ne se soient
pas pénétrées réciproquement sans laisser aucun espace vi-
de. J'ai fait cette expérience aisée à répéter, qui doit rassu-
rer 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.

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, le 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 étoit, 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 paroît plus contenir de substance métallique, et dont on ne peut faire aucun usage : car 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, paroît être le même, à tous égards, que celui qui se trouve dans la 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 devroient 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 connoître la bonne ou la mauvaise qualité du fer; mais les gens qui le font employer, soit dans leurs bâtimens, soit à leurs équipages, ne s'y connoissent 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 sem-

blent 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 contenoit 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 seule 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 du fer un peu plus fin, et donnent même du nerf à celui qui n'avoit 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 ou pourissent en peu de temps, tandis que de la tôle faite, comme celle de Suède ou 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 mê-

me tôle grand nombre de poêles, de chéneaux, 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 pourroient être employées. Lorsqu'on est au fait, comme j'y suis, du commerce des fers, on diroit 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 sauroit 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 pourroit 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 auroient pas besoin s'ils étoient de bon fer fabriqué avec des languettes passées sous les cylindres.

J'avoue qu'il y a de certains usages pour lesquels on pourroit 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 demanderoit beaucoup de temps, même en s'aidant du ciseau d'acier, il vaut mieux faire couper sous le marteau de la forge les barres en-

core 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 trois lignes de grosseur de mon fer le plus liant, et que je connoissois 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'avoit plié, et il avoit 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 en peuvent 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 foible 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-foible 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 n'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 seroit au dernier degré de sa perfection, parce qu'il ne pourroit 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 demanderoit 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'humide 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, qui est bien du vrai fer, mais qui m'a paru d'une nature singulière, et semblable, comme je l'ai déjà dit, au sablon ferrugineux qui se trouve en si grande quantité dans la 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 les autres,

par l'attraction mutuelle des molécules analogues; et comme cette rouille de fer étoit privée de la vertu magnétique, il n'est pas étonnant que les mines en grain qui en proviennent en soient également dépourvues. Ceci me paroît 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 pouvoit 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 paroît être également décomposé par le soufre; et je crois que c'est par cette raison que l'on trouve presque par-

tout 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 reconnoître 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 étoient faits de glaise mêlée par égale portion avec du sable vitrescible. Le fourneau avoit vingt-trois 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 tiroit 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, montoit à sept pieds deux 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 six cents livres pesant: ensuite on a laissé prendre le feu; et le lendemain, 11 septembre, on a achevé de remplir le fourneau avec quatre mille huit cents livres de charbon. Ainsi, il contient en tout cinq mille quatre cents livres de charbon, qui y ont été portées en cent trente-cinq corbeilles, de quarante 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'étoit encore qu'à une très-petite hauteur, et le fourneau ne donnoit au gueulard qu'assez peu de fumée, ce même jour 11 septembre, à six heures du soir; car cette ouverture supérieure n'étoit pas bouchée, non plus que l'ouverture du creuset.

A neuf heures du soir du même jour, la flamme a percé jusqu'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 de l'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 avoit baissé d'un peu plus de quatre pieds. On a rempli ce vide, à cette même heure, avec onze corbeilles de charbon, pesant ensemble quatre cent quarante livres. Ainsi le fourneau a été chargé en tout de cinq mille huit cent quarante 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 charbon, et chargé d'un pied d'épaisseur de cette poudre de charbon mouillée. Pendant que l'on bouchoit, on a remarqué que la flamme ne laissoit 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'entendoit plus aucun bruit ni murmure, en sorte qu'on auroit pu penser que l'air n'ayant point d'accès dans la cavité du fourneau, le feu y étoit 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 laissoit 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 avoit gagné jusqu'à quatre pieds et demi dans l'épaisseur du massif qui forme la tour du fourneau. Cette chaleur n'étoit 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 approchoit de la cavité, les pierres étoient déjà si fort échauffées qu'il n'étoit pas possible de les toucher un instant; les mortiers, dans les joints des pierres, étoient en partie brûlés, et il paroissoit que la chaleur étoit beaucoup plus grande encore dans le bas du fourneau; car les pierres du dessus de la

tympe et de la tuyère étoient excessivement chaudes dans toute leur épaisseur jusqu'à quatre ou cinq 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, avoit diminué, et l'on a trouvé qu'il avoit baissé de quatorze pieds cinq pouces de hauteur; en sorte que le fourneau étoit vide dans toute sa partie supérieure jusqu'auprès de la cuve.

Ensuite j'ai observé la surface de ce charbon, et j'y ai vu une petite flamme qui venoit de naître; il étoit absolument noir et sans flamme auparavant. En moins d'une heure cette petite flamme bleuâtre est devenue rouge dans le centre, et s'élevoit alors d'environ deux 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 auroit pu le présumer, mais des scories provenant du charbon, et qui ressembloient à du mâchefer léger. Ce mâchefer étoit en assez grande quantité, et remplissoit 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 avoit intercepté cette même chaleur au-dessus du creuset, en sorte que les parties de ce mâchefer qui étoient au fond n'étoient, pour ainsi dire, que tièdes; néanmoins elles s'étoient attachées au fond et aux parois du creuset, et elles en avoient réduit en chaux quelques portions jusqu'à plus de trois ou quatre 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 étoit 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 étoit trop sec; et je crois que si j'avois mêlé quelque portion de laitier ou de terre vitrescible avec le charbon, cette terre auroit servi d'aliment à la chaleur, et auroit rendu des matières fondantes qui auroient 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 chaleur 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'étoit de toutes les pierres calcaires la moins calcinable, c'est-à-dire la plus résistante au feu, que j'avois choisie pour faire con-

struire l'ouvrage et la cheminée de mon fourneau : toute cette pierre d'ailleurs avoit été taillée et posée avec soin; les plus petits quartiers avoient un pied d'épaisseur, un pied et demi de largeur, sur trois et quatre 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 d'un demi-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'aurois mieux aimé, parce qu'alors les joints de la bâtisse du fourneau se seroient 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 vingt-huit pieds d'épaisseur de deux faces, et de vingt-quatre pieds d'épaisseur des deux autres faces, et la cavité où étoit contenu le charbon n'ayant que six pieds dans sa plus grande largeur, les murs pleins qui environnent cette cavité avoient neuf 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 neuf pieds; 2° que cette cavité qui conte-

noit 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 deux 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 six pouces d'épaisseur, et encore environnée et surmontée de poussière de charbon mêlée avec ce mortier, sur six autres pouces de hauteur, tout accès à l'air par cette dernière ouverture étoit interdit. On peut donc assurer qu'il n'y avoit point d'air circulant dans toute cette cavité, dont la capacité étoit de trois cent trente pieds cubes, et que l'ayant remplie de cinq mille quatre cents 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 laissoient 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 cent soixante-cinq ou tout au plus deux cent quarante-huit pieds cubes d'air. Or, le feu du fourneau, excité par les soufflets, consomme cette quantité d'air en moins d'une demi-minute, et cependant il sembleroit qu'elle a suffi pour entretenir pendant quin-

ze 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 quatre pouces de profondeur dans le bas, et à plus de deux 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 paroissoit assez inconcevable, j'ai d'abord pensé qu'il falloit ajouter à ces deux cent quarante-huit 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.¹ 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 supplément de l'air qui manquoit 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 deux cent quarante-huit

¹ Hales, *Statique des Végétaux*, pag. 152.

pieds cubes d'air, et par les vapeurs de l'humidité des murs; et quand nous supposerions le produit successif de cette humidité cent fois plus considérable que le volume d'air contenu dans la cavité du fourneau, cela ne feroit toujours que vingt-quatre mille huit cents pieds cubes de vapeurs propres à entretenir la combustion; quantité que le feu libre et animé par les soufflets consommeroit 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 auroit consumé, en onze ou douze heures, les trois mille six cents 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 cette combustion. Néanmoins les effets de cette chaleur obscure ont été les mêmes que ceux du feu libre; car il auroit 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 coërcition, 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 imagineroit que les fourneaux de réverbère où la chaleur est plus concentrée, devoient 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 de 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 cet-

te même chaleur, retenue et concentrée, n'a fait aucun effet sur la mine de fer.

DEUXIÈME EXPÉRIENCE.

Dans ce même fourneau de vingt-trois 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 restoit 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 pouvoit en entrer dans le vide qui étoit au-dessus du fourneau : il y en entra cette première fois vingt-sept mesures de soixante livres, c'est-à-dire seize cent vingt 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 renfermois ainsi dans le fourneau : tout le charbon en étoit allumé du haut en bas lorsque je fis cesser le vent; toutes les pierres des parois étoient rouges du feu qui les pénéroit depuis quatre mois. Toute cette chaleur ne pouvoit s'exhaler que par deux petites fentes qui s'étoient 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 seize cent vingt livres, n'avoit baissé que de seize pouces en trois jours ou soixante-douze heures. Je fis sur-le-champ remplir ces seize pouces de vide avec vingt-cinq mesures de mine, pesant ensemble quinze cents livres. Trois jours après, je fis déboucher cette même ouverture du gueulard, et je trouvai le même vide de seize pouces, et par conséquent la même diminution, ou, si l'on veut, le même affaissement du charbon : je fis remplir de même avec quinze cents livres de mine; ainsi il y en avoit déjà quatre mille six cent vingt livres sur le charbon, qui étoit tout embrasé lorsqu'on avoit 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'avoit baissé que de vingt pouces, que l'on remplit avec dix-huit cent soixante 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'avoit baissé que de vingt-un pouces, que je fis remplir de dix-neuf cent vingt livres de mine. Ainsi, il y en avoit en tout huit mille quatre cents 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 bouchoit l'ouverture de la coulée, en laissant toujours fermée celle du gueulard, afin d'éviter le courant d'air qui auroit 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 digérée, et environ une livre et demie de très-bon fer qui s'étoit formé par coagulation. On tira près d'un tombereau de toutes ces matières, parmi lesquelles il y avoit aussi quelques morceaux de mine brûlée et presque réduite en mauvais laitier : cette mine brûlée ne provenoit pas de celle que j'avois fait imposer sur les charbons, après avoir fait cesser le vent, mais de celle qu'on y avoit jetée sur la fin du fondage, qui s'étoit attachée aux parois du fourneau, et qui ensuite étoit tombée dans le creuset avec les parties de pierres calcinées auxquelles elle étoit unie.

Après avoir tiré ces matières, on fit tomber le charbon : le premier qui parut étoit 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'éteignoit en même temps en jetant de l'eau dessus. Le gueulard étant toujours bien fermé, on tira tout le char-

bon par l'ouverture de la coulée, et aussi toute la mine dont je l'avois fait charger. La quantité de ce charbon tiré du fourneau montoit à cent quinze corbeilles; en sorte que, pendant ces vingt-deux jours d'une chaleur si violente, il paroissoit qu'il ne s'en étoit consommé que dix-sept corbeilles; car toute la capacité du fourneau n'en contient que cent trente-cinq; et comme il y avoit seize pouces et demi de vide lorsqu'on le boucha, il faut déduire deux corbeilles qui auroient été nécessaires pour remplir ce 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 avoient beaucoup perdu sur leur masse, et que, quoique l'eau avec laquelle on les avoit éteints leur eût rendu du poids, ils étoient encore d'environ un tiers plus légers que quand on les avoit 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 avoit tiré la mine en même temps que le charbon, et on l'avoit soigneusement séparée et mise à part : la très-violente chaleur qu'elle avoit

essuyée pendant un si long temps, ne l'avoit ni fondue ni brûlée, ni même agglutinée; le grain en étoit seulement devenu plus propre et plus luisant : le sable vitrescible et les petits cailloux dont elle étoit mêlée ne s'étoient point fondus, et il me parut qu'elle n'avoit perdu que l'humidité qu'elle contenoit auparavant; car elle n'avoit guère diminué que d'un cinquième en poids, et d'environ un vingtième en volume, et cette dernière quantité s'étoit perdue dans les charbons.

Il résulte de cette expérience, 1° 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° que le charbon pénétré de chaleur ou de feu commence à diminuer de masse long-temps 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 pourroit-il que la même quantité de charbon se consume plus vite avec une chaleur très-médiocre, qu'à 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'avoit

épruvé que la légère impression d'un feu qu'on avoit étouffé au moment que la flamme s'étoit montrée, avoit néanmoins diminué des deux tiers en quinze jours; tandis que le même charbon enflammé autant qu'il pouvoit l'être par le vent des soufflets, et recevant encore la chaleur immense des pierres rouges de feu dont il étoit environné, n'a pas diminué d'un sixième pendant vingt-deux jours. Cela seroit inexplicable si l'on ne faisoit pas attention que, dans le premier cas, le charbon avoit toute sa densité et contenoit toutes ses parties combustibles; au lieu que, dans le second cas, où il étoit dans l'état de la plus forte incandescence, toutes ses parties les plus combustibles étoient déjà brûlées. Dans la première expérience, la chaleur, d'abord très-médiocre, alloit toujours en augmentant, à mesure que la combustion augmentoit et se communiquoit de plus en plus à la masse entière du charbon : dans la seconde expérience, la chaleur excessive alloit en diminuant à mesure que le charbon achevoit de brûler; et il ne pouvoit plus donner autant de chaleur, parce que sa combustion étoit fort avancée au moment qu'on l'avoit enfermé. C'est là la vraie cause de cette différence d'effets. Le charbon, dans la première expérience, contenant toutes ses parties combustibles, brûloit mieux et se consumoit plus vite que celui de la seconde expérience, qui ne contenoit presque plus de matière combustible, et ne pouvoit 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 alloit toujours en diminuant , et qu'au total elle a été beaucoup moindre et plus lente que l'autre , qui alloit 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° 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 aliments qu'il consume. Pour reconnoître ce que cette chaleur morte , c'est-à-dire cette chaleur dénuée de tout aliment pouvoit 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 étoit 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 pouvoit donc entrer dans le fourneau pour le rafraîchir, et la chaleur ne pouvoit en sortir qu'à travers des murs de plus de neuf pieds d'épaisseur; d'ailleurs il n'y avoit dans sa cavité, qui étoit absolument vide, aucune matière combustible, ni même aucune autre matière. Observant donc ce qui arriveroit, je m'aperçus que tout l'effet de la chaleur se portoit 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 couvroit 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 recouvroit 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 pouvoit 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 con-

clure 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 couvroit l'ouverture supérieure du fourneau, et que la chaleur avoit 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 deux pieds, et même deux pieds et demi de profondeur; ce qui ne pouvoit provenir que de la chaleur que j'y avois renfermée pour faire mes expériences, attendu que, dans les autres fondages, le feu animé par les soufflets n'avoit jamais calciné les mêmes pierres à plus de huit pouces d'épaisseur dans les endroits où il est le plus vif, et seulement à deux ou trois pouces dans tout le reste; au lieu que toutes les pierres, depuis le creuset jusqu'au terreplein du fourneau, ce qui fait une hauteur de vingt pieds, étoient généralement réduites en chaux d'un pied et demi, de deux pieds, et même de deux pieds et demi d'épaisseur : comme cette chaleur

renfermée n'avoit pu trouver d'issue, elle avoit pénétré les pierres bien plus profondément que la chaleur courante.

On pourroit 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 faudroit 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 mêmes du fourneau à plus d'un pied d'épaisseur, s'il étoit 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 quatre pieds; on en tira cinquante-quatre muids de chaux, sur laquelle je fis les observations suivantes : 1° toute cette pierre, dont la calcination s'étoit faite à feu lent et concentré, n'étoit 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 avoit 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 paroît ductile et pénétrée d'une humidité grasse et liante, qui ne peut provenir que de l'humide 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 pierres de taille, tous calcinés plus ou moins profon-

dément; ces quartiers avoient communément quatre pieds de longueur; la plupart étoient en chaux jusqu'à dix-huit pouces, et les autres à deux pieds; et même deux pieds et demi; et cette portion calcinée se séparoit aisément du reste de la pierre, qui étoit saine et même plus dure que quand on l'avoit 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, avoient 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'avois fait prendre dans d'autres quartiers de cette même pierre qui n'avoient point été employés à la construction du fourneau, ni par conséquent chauffés, mais qui avoient été tirés de la même carrière neuf mois auparavant, et qui étoient 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 avoit augmenté; qu'elle étoit 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 qu'un 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 étoit à peu près de 95 degrés, parce que le soufre appliqué contre la muraille s'y ramollissoit et commençoit 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, avoit augmenté en pesanteur spécifique d'un 65°, c'est-à-dire de presque un quart de plus que celle qui avoit éprouvé le degré de chaleur voisin de celui de la calcination, et je conclus de cette différence que l'effet de la calcination commençoit à

se préparer dans la pierre qui avoit subi le plus grand feu, au lieu que celle qui n'avoit éprouvé qu'une moindre chaleur, avoit conservé toutes les parties fixes qu'elle y avoit déposées.

Pour me satisfaire pleinement sur ce sujet, et reconnoître si toutes les pierres calcaires augmentent en pesanteur spécifique par une chaleur constamment et long-temps appliquée, je fis six nouvelles épreuves sur deux autres espèces de pierres. Celle dont étoit 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 pierreux 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°. En ayant éprouvé plusieurs morceaux au feu de mes chaufferies, il a fallu pour les calciner plus du double du temps que celui qu'il falloit 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, étoient aussi de très-bonnes pierres calcaires dont on fait la plus belle taille pour les bâtimens: l'une à le grain fin et presque aussi serré que celui du 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 étoit le plus fin, j'ai trouvé qu'elle avoit gagné un 56° 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 étoit voisine de celle dont j'avois fait casser les morceaux dans la voûte extérieure du fourneau, et que le soufre ne fondoit 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 étoient restés exposés à l'air libre, j'ai vu que l'un des morceaux avoit augmenté d'un 60° , le second d'un 62° , le troisième d'un 56° . 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° 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 étoit moins fin, formoit une assise entière de la voûte extérieure du fourneau, et je fus maître de choisir les morceaux dont j'avois besoin pour l'expérience, dans un quar-

tier qui avoit 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'avoient pas été chauffés, je trouvai que l'un de ces morceaux chauffés avoit augmenté d'un 54°, le second d'un 63°, et le troisième d'un 66°; ce qui donne pour la mesure moyenne un 61° d'augmentation en pesanteur spécifique.

Il résulte de ces expériences, 1° que toute pierre calcaire chauffée pendant long-temps 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° que cette augmentation de pesanteur spécifique étant d'un 61°, ou d'un 56°, ou d'un 65°, 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° 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 contenoit. 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, pourroit 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° indiqué par l'augmentation de la pesanteur spécifique, et encore d'un 64° pour le quart de la quantité d'eau qu'elle contenoit, 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 long-temps, s'y fixe en assez grande quantité pour en augmenter la masse tout au moins d'un 30°, même dans la supposition qu'elle n'ait chassé pendant ce long temps que le quart de l'eau que la pierre contenoit.

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 avoient auparavant. Voulant reconnoître si cette dureté seroit durable, et si elles ne perdroient pas, avec le

temps, non-seulement cette qualité, mais celle de l'augmentation de densité qu'elles avoient acquise par la chaleur, je fis exposer aux injures de l'air plusieurs parties des trois espèces de pierres qui avoient servi aux expériences précédentes, et qui toutes avoient été plus ou moins chauffées pendant cinq mois. Au bout de quinze jours, pendant lesquels il y avoit eu des pluies, je les fis sonder et frapper au marteau par le même ouvrier qui les avoit trouvées très-dures quinze jours auparavant : il reconnut avec moi que la pierre à feu, qui étoit la plus poreuse, et dont le grain étoit le plus gros, n'étoit déjà plus aussi dure, et qu'elle se laissoit travailler plus aisément. Mais les deux autres espèces, et surtout celle dont le grain étoit le plus fin, avoient 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 avoient aussi perdu une assez grande quantité de la matière fixe que la chaleur y avoit déposée; néanmoins, au bout de plusieurs mois, elles étoient toujours spécifiquement plus pesantes d'un 150° ou d'un 160° que celles qui n'avoient point été chauffées. La différence devenant alors trop difficile à saisir entre ces morceaux et ceux qui n'avoient pas été chauffés, et qui tous étoient également exposés à l'air, je fus forcé de borner là cette expérience; mais je suis persuadé qu'avec beaucoup de temps ces pierres auroient

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'avoient 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 long-temps, 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 étoient logées. Cette chaleur fixe n'est plus active ; elle est, pour ainsi dire, morte et entièrement passive : dès-lors, bien loin de pouvoir chasser l'humidité, celle-ci la chasse à son tour, et reprend toutes les places qu'elle lui avoit 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 avoient servi plusieurs fois à soutenir les parois de la cheminée

de mon fourneau, et qui, par conséquent, avoient été chauffées trois fois, pendant quatre ou cinq mois de suite, au degré de chaleur qui calcine la pierre; car ces gueuses avoient soutenu les pierres ou les briques de l'intérieur du fourneau, et n'étoient défendues de l'action immédiate du feu que par une pierre épaisse de trois ou quatre pouces, qui formoit le dernier rang des étalages du fourneau. Ces dernières pierres, ainsi que toutes les autres dont les étalages étoient construits, s'étoient réduites en chaux à chaque fondage, et la calcination avoit toujours pénétré de près de huit pouces dans celles qui étoient exposées à la plus violente action du feu. Ainsi les gueuses qui n'étoient recouvertes que de quatre pouces par ces pierres, avoient certainement subi le même degré de feu que celui qui produit la parfaite calcination de la pierre, et l'avoient, 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'avoient pas subi l'action du feu, étoient très-cassantes, et se séparoient en morceaux aux premiers coups de masse. Je reconnus dès-lors que cette fonte, chauffée à un aussi grand feu et pendant si long-temps, avoit acquis beaucoup plus de dureté et de ténacité qu'elle n'en avoit auparavant, beaucoup plus même à propor-

tion que n'en avoient acquis les pierres calcaires. Par ce premier indice, je jugeai que je trouverois une différence encore plus grande dans la pesanteur spécifique de cette fonte si long-temps échauffée. Et, en effet, le premier morceau que j'éprouvai à la balance hydrostatique, pesoit dans l'air quatre livres quatre onces trois gros, ou cinq cent quarante-sept gros; le même morceau pesoit dans l'eau trois livres onze onces deux gros et demi, c'est-à-dire quatre cent soixante-quatorze gros et demi : la différence est de soixante-douze gros et demi. L'eau dont je me servois pour mes expériences pesoit exactement soixante-dix livres le pied cube, et le volume d'eau déplacé par celui du morceau de cette fonte, pesoit soixante-douze gros et demi. Ainsi soixante-douze gros et demi, poids du volume de l'eau déplacée par le morceau de fonte, sont à soixante-dix livres, poids du pied cube de l'eau, comme cinq cent quarante-sept gros, poids du morceau de fonte, sont à cinq cent vingt-huit livres deux onces un gros quarante-sept 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 quatre cent quatre-vingt-quinze ou cinq cents livres tout au plus. Ainsi, la pesanteur spécifique se trouve augmentée de vingt-huit sur cinq cents par cette très-longue applica-

tion 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 quatre 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 pesoit un globe de fer de deux livres, et, d'autre part, une feuille de tôle du même poids, on trouveroit à la balance hydrostatique leur pesanteur spécifi-

que différente, 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-long-temps 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 fixoient 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 brûler à 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 dans 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 leurs philosophes, soit par complaisance pour leurs contemporains, ont été du 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 seroit-ce pas qu'étant plus éclairé, il croit avoir plus de droit à la gloire, plus de prétentions à la supériorité ?

Quoi qu'il en soit, cette invention étoit 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 étoient si décriés, qu'il ne paroissoit pas possible d'en rétablir la réputation ; car, pour appeler du jugement de Descartes, il falloit quelque chose de plus fort que

des raisons, et il ne restoit qu'un moyen sûr et décisif, à la vérité, mais difficile et hardi; c'étoit d'entreprendre de trouver les miroirs, c'est-à-dire d'en faire qui pussent produire les mêmes effets. J'en avois conçu depuis long-temps l'idée, et j'avouerais volontiers que le plus difficile de la chose étoit de la voir possible, puisque, dans l'exécution, j'ai réussi au-delà même de mes espérances.

J'ai donc cherché le moyen de faire des miroirs pour brûler à de grandes distances, comme de cent, de deux cents et trois cents pieds. Je savois en général qu'avec les miroirs par réflexion l'on n'avoit jamais brûlé qu'à quinze ou vingt pieds tout au plus, et qu'avec ceux qui sont réfringents la distance étoit encore plus courte; et je sentois bien qu'il étoit 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 deux cents pieds, la sphère ayant dans ce cas huit cents pieds de diamètre; on ne pouvoit rien espérer de la méthode ordinaire de travailler les verres; et je me persuadai bientôt que quand même on pourroit en trouver une nouvelle pour donner à de grandes pièces de verre ou de métal une courbure aussi légère, il n'en résulteroit 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 perdoit 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 réfléchie par une glace, je trouvai qu'à de petites distances, comme de quatre ou cinq pieds, elle ne perdoit qu'environ moitié par la réflexion; ce que je jugeai en faisant tomber sur la première lumière réfléchie une seconde lumière aussi réfléchie; 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 cent, deux cents et trois cents pieds, cette même lumière réfléchie par de grandes glaces, je reconnus qu'elle ne perdoit presque rien de sa force par l'épaisseur de l'air qu'elle avoit à traverser.

Ensuite je voulus essayer les mêmes choses sur la

lumière des bougies; et, pour m'assurer plus exactement de la quantité d'affoiblissement 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 étoit entière, et où je ne pouvois distinguer aucun objet; je fis allumer dans une chambre voisine, à quarante 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'avois à la main : la distance se trouva de vingt-quatre pieds du livre à la bougie. Ensuite, ayant retourné le livre du côté du miroir, je cherchai à lire par cette même lumière réfléchie, et je fis intercepter par un paravent la partie de la lumière directe qui ne tomboit pas sur le miroir, afin de n'avoir sur mon livre que la lumière réfléchie : 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 réfléchie; et alors la distance du livre à la bougie, y compris celle du livre au miroir, qui n'étoit que d'un demi-pied, se trouva être en tout de quinze 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 réfléchie, 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 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'avois 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 connoissances dont j'avois 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 atten-

tion à la figure de ces images : par exemple, une glace plane carrée d'un demi-pied, exposée aux rayons du soleil, formera une image carrée de six 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 paroît 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 six pouces perd sa figure carrée à la distance d'environ soixante pieds, et qu'une glace d'un pied en carré ne la perd qu'à cent vingt 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,¹ donne toujours des images

¹ 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.

rondes, et on verra clairement que les images ne s'agrandissent et ne s'affoiblissent 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 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 seroit égal à cette corde, ne feroit jamais le double de l'effet de ce miroir plan de même surface; et si le diamètre de ce miroir courbe étoit plus petit que cette corde, il ne feroit 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'avoit pu brûler de loin qu'avec des miroirs plans; car, indépendamment de

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.

l'impossibilité où l'on étoit alors, et où l'on seroit 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 pouvoient pas avoir échappé à ce grand mathématicien. D'ailleurs je pensai que, selon toutes les apparences, les anciens ne savoient pas faire de grandes masses de verre, qu'ils ignoroient l'art de le couler pour en faire de grandes glaces, qu'ils n'avoient tout au plus que celui de le souffler et d'en faire des bouteilles et des vases, et je me persuadai aisément que c'étoit avec des miroirs plans de métal poli, et par la réflexion des rayons du soleil, qu'Archimède avoit brûlé au loin; mais, comme j'avois reconnu que les miroirs de glace réfléchissent plus puissamment la lumière que les miroirs du métal le plus poli, je 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 étoit le seul par lequel il fût possible de réussir.

Cependant j'avois encore des doutes, et qui me paroissoient même très-bien fondés; car voici comment je raisonnois. Supposons que la distance à laquelle je veux brûler soit de deux cent quarante pieds: je vois clairement que le foyer de mon miroir ne peut avoir moins de deux 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 pouvoit 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'avois observé que le diamètre de ce miroir, qui est de trois pieds, étoit cent huit fois plus grand que le diamètre de son foyer, qui n'a qu'environ quatre lignes, et j'en conclus que, pour brûler aussi vivement à deux cent quarante pieds, il eût été nécessaire que mon assemblage de miroirs eût eu deux cent seize pieds de diamètre, puisque le foyer auroit deux pieds ; or un miroir de deux cent seize pieds de diamètre étoit assurément une chose impossible.

A la vérité, ce miroir de trois pieds de diamètre brûle assez vivement pour fondre l'or, et je voulus voir combien j'avois 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'avoit plus assez de force pour enflammer du bois sec lorsque son diamètre fut réduit à quatre pouces huit ou neuf lignes. Prenant donc cinq pouces ou soixante lignes pour l'étendue du diamètre nécessaire pour brûler avec un foyer de quatre lignes, je ne pouvois me dispenser de conclure que pour brûler également à deux cent quarante

pieds, où le foyer auroit nécessairement deux pieds de diamètre, il me faudroit un miroir de trente pieds de diamètre; ce qui me paroissoit encore une chose impossible, ou du moins impraticable.

A des raisons si positives, et que d'autres auroient regardées comme des démonstrations de l'impossibilité du miroir, je n'avois rien à opposer qu'un soupçon, mais un soupçon ancien, et sur lequel plus j'avois réfléchi, plus je m'étois persuadé qu'il n'étoit pas sans fondement : c'est que les effets de la chaleur pouvoient 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 devoient 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 avoit toujours cru que la chaleur de ce second foyer devoit 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 devoit brûler autant qu'un grand, et que l'effet de la chaleur devoit être proportionnel à cette intensité de lumière : *en sorte*, disoit 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, pourroit 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 connoissons pas bien les lois, il me sembloit qu'il y avoit quelque espèce de témérité à en estimer ainsi les effets par un raisonnement de simple spéculation.

J'eus donc recours encore 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. Pour le faire mieux sentir, prenons, par exemple, un grand miroir ardent par réfraction, tel que celui du sieur Segard, qui a trente-deux pouces de diamètre, et un foyer de

huit lignes de largeur, à six 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 trente-deux lignes de diamètre, dont le foyer sera de $\frac{8}{13}$ ou $\frac{2}{3}$ de ligne, et la distance à six pouces. Puisque le grand miroir fond le cuivre en une minute dans l'étendue entière de son foyer, qui est de huit lignes, le petit verre devoit, 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 attendois bien, que, loin de fondre le cuivre, ce petit verre ardent pouvoit 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 qu'une 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, on fait tomber sur l'écu tout entier un foyer d'égale 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'avois de réussir à faire des miroirs qui brûleraient au loin; car je commençai à ne plus craindre, autant que je l'avois craint d'abord, la grande étendue des foyers; je me persuadai, au contraire, qu'un foyer d'une largeur considérable, comme de deux pieds, et dans lequel l'intensité de la lumière ne seroit pas à beaucoup près aussi grande que dans un petit foyer, comme de quatre lignes, pourroit cependant produire avec plus de force l'inflammation et l'embrasement, et que par conséquent ce miroir, qui, par la théorie mathématique, devoit avoir au moins trente pieds de diamètre, se réduiroit sans doute à un miroir de huit ou dix 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'avois dessein de brûler à deux cents ou trois cents pieds avec des glaces circulaires ou hexagones d'un pied carré de surface, et je voulois 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'exigeoit cet ajustement, me fit abandonner cette idée, et je me rabattis à des glaces communes de six pouces sur huit pouces, et un ajustement en bois, qui, à la vérité, est moins solide et moins précis, mais dont la dépense convenoit 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 discours¹

Il suffira de dire qu'il a d'abord été composé de cent soixante-huit glaces étamées de six pouces sur huit pouces chacune, éloignées les unes des autres d'environ quatre lignes; que chacune de ces glaces se peut mouvoir en tout sens, et indépendamment de toutes, et que les quatre lignes d'intervalles 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 condui-

¹ Voyez ci-après les planches 2 et 3, avec l'explication des figures 1, 2, 3, 4, 5, 6 et 7.

re 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 vingt, trente, et jusqu'à cent cinquante 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 paroissent 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 cent cinquante 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 diffé-

rentes défauts qui se trouvent dans les glaces.

Par la première expérience que j'ai faite le 23 mars 1747, à midi, j'ai mis le feu à soixante-six 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 étoit posé très-désavantageusement, faisant avec le soleil un angle de près de 20 degrés de déclinaison, et un autre de plus de 10 degrés d'inclinaison.

Le même jour, j'ai mis le feu à une planche goudronnée et soufrée, à cent vingt-six 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; ensorte 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 cent trente-huit pieds de distance, avec cent douze glaces, quoique le soleil fût foible et que la lumière en fût fort pâle. Il faut prendre garde à soi lorsqu'on approche de l'en-

droit où sont les matières combustibles, et il ne faut pas regarder le miroir; car si malheureusement les yeux se trouvoient au foyer, on seroit 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 cent cinquante pieds de distance, une chaleur si considérable, qu'elle a fait, en moins de deux minutes, fumer une planche goudronnée, qui se seroit certainement enflammée, si le soleil n'avoit pas disparu tout à coup.

Le lendemain 5 avril, à trois heures après midi, par un soleil encore plus foible que le jour précédent, on a enflammé, à cent cinquante 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 cent cinquante pieds, avec cent vingt-huit glaces seulement : l'inflammation a été très-subite, et elle s'est faite dans toute l'étendue du foyer, qui avoit environ seize 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 étoient découvertes, et le feu étoit si violent, qu'il a fallu tremper dans l'eau la planche pour l'éteindre : il y avoit cent quarante-huit glaces, et la distance étoit de cent cinquante pieds.

Le 11 avril, le foyer n'étant qu'à vingt 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 avoit déjà été brûlée en partie; avec quarante-cinq glaces, on a fondu un gros flacon d'étain qui pesoit environ six 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 cinquante pieds, on fondra les métaux aussi bien qu'à vingt, en employant toutes les glaces du miroir; et comme le foyer à cette distance est large de six à sept pouces, on pourra faire des épreuves en grand sur les métaux; ¹ ce qu'il

¹ Par des expériences subséquentes, j'ai reconnu que la distance la plus avantageuse pour faire commodément avec ces miroirs des épreuves sur les métaux, étoit à quarante ou quarante-cinq pieds. Les assiettes d'argent que j'ai fondues à cette distance avec deux cent vingt-quatre glaces, étoient bien nettes, en sorte qu'il n'étoit pas possible d'attribuer la fumée très-abondante qui en sortoit, à la graisse, ou à d'autres matières dont l'argent se seroit imbibé, et

n'étoit pas possible de faire avec les miroirs ordinaires, dont le foyer est ou très-foible 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 étoit si sensible qu'elle faisoit 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 deux

comme se le persuadoient 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 fumoit très-abondamment, quelquefois pendant plus de huit ou dix minutes avant de se fondre. J'avois 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 qu'on puisse employer. Et si l'on prétend que cette fumée, qui m'a paru humide, ne contient pas de l'eau, il seroit 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.

cents, et même deux cent dix pieds avec ce même miroir, par le soleil d'été, toutes les fois que le ciel étoit pur; et je crois pouvoir assurer qu'avec quatre semblables miroirs on brûleroit à quatre cents pieds, et peut-être plus loin. J'ai de même fondu tous les métaux et minéraux métalliques à vingt-cinq, trente et quarante 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 cent pieds, il faut une demi-heure pour l'ajuster à la distance de cent cinquante 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 auroit brûlé avec plus de force en

haut et moins de force en bas ; et de même, qu'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 sept pieds, et haut de huit pieds ; ce qui ne fait qu'environ la cent cinquantième partie de la circonférence de la sphère, lorsqu'on brûle à cent cinquante pieds.

La raison qui m'a déterminé à préférer des glaces de six pouces de largeur sur huit pouces de hauteur à des glaces carrées de six ou huit pouces, c'est qu'il est beaucoup plus commode de faire les 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 étoient plus rondes, au lieu qu'avec des glaces carrées elles auroient 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 sus-

pendre 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 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 d'un pied carré de surface, la chaleur que ce dernier miroir produira à son foyer, en employant cent cinquante-quatre glaces seulement, sera plus de douze fois plus grande que celle qu'il produit ordinairement, et l'effet sera le même que s'il existoit douze soleils au lieu d'un, ou plutôt que si le soleil avoit 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, et nous connoîtrons les ma-

¹ 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 étoient comme les divisions du ther-

tières 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 savoit 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 étoit 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 cent cinquante pieds, on se démontrera aisément à soi-même qu'ils ne produiroient qu'à peu près autant d'effet que le mien, parce que le foyer en seroit presque aussi large; que de plus, ces miroirs courbes, quand même il seroit possible de les exécuter, auroient le désavantage très-grand de ne

momètre 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 mon *Traité des Élémens*.

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 trompoient toujours, parce qu'ils considéroient 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 pourroit faire un miroir concave pour brûler à une grande distance, par exemple à cent cinquante pieds, en le travaillant dans tous ses points sur une sphère de six cents 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

exemple, à une demi-lieue, il faudroit un miroir deux mille fois plus grand que le mien; et tout ce qu'on pourra jamais faire, est de brûler à huit ou neuf cents 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 neuf cents pieds de distance, il feroit un chemin d'environ six pieds par minute.

Il n'est pas nécessaire d'avertir qu'on peut faire, avec des 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 faudroit 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 avoit 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 travaillois à ces miroirs, j'ignorois le détail de tout ce qu'en ont dit les an-

ciens; 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 étoient connus de tous les savants, eut la bonté de me communiquer une excellente dissertation qu'il avoit 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 vivoient tous deux dans le douzième 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 mouilloient 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, Proclus brûla, avec des miroirs d'airain, la flotte de Vitalien, qui assiégeoit Constantinople; et il ajoute que ces miroirs étoient 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 pouvoit mouvoir à l'aide de leurs charnières et de certaines lames de métal : il plaça le miroir hexagone de façon qu'il étoit 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, allumèrent un grand feu qui réduisit en cendres les vaisseaux romains, quoiqu'ils fussent éloignés de la portée d'un trait. Ce passage me paroît assez clair; il fixe la distance à laquelle Archimède a brûlé; la portée du trait ne peut guère être que de cent cinquante ou deux cents pieds : il donne l'idée de la construction, et fait voir que le miroir d'Archimède pouvoit être, comme le mien, composé de plusieurs petits miroirs qui se mouvoient par des mouvements de charnières et de ressorts; et enfin il indique la position du miroir, en disant que le miroir hexagone, autour duquel étoient sans doute les miroirs plus petits, étoit coupé par le méridien, ce qui veut dire apparemment que le miroir doit être opposé directement au soleil : d'ailleurs le miroir hexagone étoit probablement celui dont l'image servoit de mire pour ajuster les autres, et cette figure n'est pas tout-à-fait indifférente, non plus que celle des vingt-qua-*

tre angles ou 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 avoit de la perte à employer des miroirs quadrangulaires, longs de six pouces sur huit 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 avoit écrit qu'Archimède avoit pu brûler à une grande distance avec des miroirs plans, et que l'expérience lui avoit appris qu'en réunissant de cette façon les images du soleil, on produisoit 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, paroît avoir touché à cette découverte : il dit qu'*ayant reçu l'image du soleil sur un miroir plan d'un pied en carré, et l'ayant portée jusqu'à six cents pieds sur un miroir concave de dix-sept pouces de diamètre, elle avoit 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 par-

ler 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 tiendroient à la main, et dirigeroient de façon que les images du soleil formées par chacun de ces miroirs concourroient en un même point, et que ce seroit 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, auroit porté M. du Fay à la découverte du miroir d'Archimède, qu'il traite cependant de fable un peu plus haut; car il me paroît qu'il étoit tout naturel de conclure de son expérience, que puisqu'un miroir concave de dix-sept pouces de diamètre sur lequel l'image du soleil ne tomboit pas tout entière, à beaucoup près, peut cependant brûler par cette seule partie de l'image du soleil réfléchie à six cents pieds dans un foyer que je suppose large de trois lignes, onze cent cinquante-six miroirs plans, semblables au premier miroir réfléchissant, doivent à plus forte raison brûler directement à cette distance de six cents pieds, et que par conséquent deux cent quatre-vingt-neuf miroirs plans auroient été plus que suffisants pour brûler à trois cents 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 plusieurs objections, tirées principalement de la doctrine de Descartes dans son *Traité de Dioptrique*, je crus 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 ferois quelque chose d'utile pour ceux qui veulent s'occuper d'optique, que de leur exposer ce qui manquoit 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 ignoroit son mouvement progressif, qui n'a été découvert que quelque temps après par Roëmer, 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 renou-

velle 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 auroit tiré des conséquences tout-à-fait opposées à celles qu'il a tirées.

Et, pour ne pas omettre une chose très-essentielle, et qui pourroit 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 connoît 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 aisé de 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

me 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 étoit 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 seroit 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 devoit pas être surpris que Descartes eût mal prononcé au sujet des miroirs d'Archimède, puisqu'il ignoroit 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'é- » tant rassemblés par l'hyperbolique : car il ne faut » pas seulement prendre garde aux rayons qui vien- » nent du centre du soleil, mais aussi à tous les au- » tres qui, venant des autres points de la superfi- » cie, n'ont pas sensiblement moins de force que » ceux du centre; en sorte que la violence de la cha- » leur 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 puis- » se rien ajouter, ni sa figure particulière, qu'envi- » ron un quart ou un tiers tout au plus. Il est cer- » tain que cette ligne brûlante à l'infini, que quel- » ques-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 devoit 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, pourroit 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 cent 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 six pouces; et, en employant le reste des deux mille glaces, je prolongerai de même la ligne brûlante jusqu'à 3 et 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'étoit 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'auroit pas considéré, dans tout le reste de son ouvrage, les rayons du soleil comme parallèles; il n'auroit pas établi comme le fondement de la théorie de sa construction des lunettes, la réunion des rayons dans un point, et il se seroit bien gardé de dire affirmativement: *1* *Nous pourrons, par cette invention, voir des objets aussi particuliers et aussi petits*

¹ Page 131.

dans les astres, que ceux que nous voyons communément sur la terre. Cette assertion ne pouvoit 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 falloit: 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 auroit vu que, quand même les ouvriers eussent pu tailler les verres comme il l'exigeoit, ces verres n'auroient 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 faudroit des lunettes différentes pour chaque planète; que, par exemple, Vénus, qui nous paroît 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 paroître, 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, feroient un effet toujours égal, à quelque distance qu'on les mît du Soleil. Par exemple, mon miroir, brûlant à cent cinquante pieds du bois sur la Terre, brûleroit de même à cent cinquante 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 con-

struire les miroirs d'Archimède, il n'étoit pas en état de prononcer qu'ils étoient impossibles, je vais faire sentir, autant que je le pourrai, en quoi consistoit la difficulté de cette invention.

Si le Soleil, au lieu d'occuper à nos yeux un espace de 32 minutes de degré, étoit réduit en un point, alors il est certain que ce point de lumière réfléchi par un point d'une surface polie, produiroit 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 seroit égale à celle d'un autre, brûleroit à dix lieues à peu près aussi bien que le premier brûleroit à dix pieds, s'il étoit possible de le travailler sur une sphère de quarante lieues, comme on peut travailler l'autre sur une sphère de quarante pieds; parce que chaque point de la surface du miroir réfléchissant le point lumineux auquel nous avons réduit le disque du Soleil, on auroit, 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 faudroit 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 faudroit faire coïncider au même point: mais le disque du Soleil occupant un espace de 32 minutes de degré, il est clair que le 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, d'un demi-pied à soixante pieds : or, comme il est nécessaire, pour produire tout l'effet possible, que toutes ces images coïncident dans cet espace d'un demi-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 d'un demi-pied de diamètre chacune, parce que chaque petit miroir plan d'un demi-pied donnera une image d'environ un demi-pied, qui sera à peu près aussi lumineuse qu'une pareille surface d'un demi-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'avoit 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 di-

stance, 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 soixante pieds, où l'image du Soleil a environ un demi-pied de diamètre, on brûlera à peu près aussi-bien avec des miroirs plans d'un demi-pied qu'avec des miroirs hyperboliques les mieux travaillés, pourvu qu'ils n'aient que la même grandeur. De même, avec des miroirs plans d'un pouce et demi, on brûlera à quinze 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'étoit pas, on sent bien qu'en réduisant, par exemple, mes glaces de six pouces à trois 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'aurois eu quatre fois plus d'effet, et que plus les glaces seroient petites, et plus le miroir produiroit

d'effet ; et c'est à ceci que se seroit réduit l'art de quelqu'un qui auroit seulement tenté d'inscrire une surface polygone dans une sphère, et qui auroit imaginé l'ajustement dont je me suis servi pour faire changer à volonté la courbure de cette surface : il auroit fait les glaces les plus petites qu'il auroit été possible ; mais le fond et la théorie de la chose est d'avoir reconnu qu'il n'étoit 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 devoit 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 suffisoit de le briser ou de le travailler à facettes planes en grandes portions égales à la grandeur de l'image, et qu'il y avoit 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 falloit imaginer quelque chose de nouveau et tout-à-fait indépendant de ce qu'on avoit 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 seroit impossible pour ne brûler même qu'à une petite distance comme de vingt-cinq ou trente 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 fondée 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 trente-deux pouces de diamètre, et un foyer de neuf lignes de largeur à six pieds de distance, auquel foyer le cuivre se fond en une minute, et faisons dans les mê-

mes proportions un petit miroir ardent de trente-deux lignes de diamètre, dont le foyer sera de $\frac{9}{12}$ ou de $\frac{3}{4}$ de ligne de diamètre, et la distance de six pouces : puisque le grand miroir fond le cuivre en une minute dans l'étendue de son foyer, qui est de neuf 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 doutois encore si je pourrois 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 qu'une 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 agissoient 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 étoit très-considérable; car j'ai trouvé que s'il faut dans un miroir cent quarante-quatre fois la surface d'un foyer de six 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 deux lignes, et qu'à un foyer de six 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 auroit eu de la témérité à l'entreprendre, et il n'auroit pas réussi. Car supposons un instant que je n'eusse pas eu cette connoissance de l'avantage des grands foyers sur les petits, voici comme j'aurois 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 deux lignes, il faudra de même deux cent quatre-vingt-huit glaces ou miroirs de six pouces pour brûler dans un espace de six pouces; et dès-lors, pour brûler seulement à cent pieds, il auroit fallu un miroir composé d'environ onze cent cinquante-deux glaces de six pouces; ce qui étoit une grandeur énorme pour un petit effet, et cela étoit plus que suffisant pour me faire abandonner mon projet : mais connoissant 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 six pouces je brûlerois très-certainement à cent 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 pouvoit imaginer au premier coup d'œil.

Descartes ne devoit donc pas affirmer qu'un petit miroir ardent brûloit 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 proportion ; 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 brûloit des navires de fort loin, devoient 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 auroit jugé bien différemment, et il auroit mis une forte restriction à cette conclusion.

Mais, indépendamment de cette connoissance qui lui manquoit, 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 savoit et ce qu'il avoit 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 auroit vu qu'il étoit possible de brûler à de grandes distances avec un miroir de médiocre grandeur, s'il eût pu lui donner la figure convenable; car il auroit trouvé que, dans cette hypothèse, un miroir de cinq pieds auroit brûlé à plus de deux cents 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 sept pieds auroit brûlé à près de quatre cents 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 ignoroit combien il falloit de fois la lumière du Soleil pour brûler; qu'il ne dit pas un mot des miroirs plans;

qu'il étoit fort éloigné de soupçonner la mécanique par laquelle on pouvoit les disposer pour brûler au loin, et que par conséquent il a prononcé sans avoir assez de connoissances sur cette matière, et même sans avoir fait assez de réflexions sur ce qu'il en savoit.

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,† 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 brûleroit à six cents pieds est possible ou non, mais si, physiquement parlant, cela peut arriver. Cette opinion a été extrêmement contredite, et je dois 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 avoit 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 Des-*

† L'Académie royale des Sciences.

cartes eût bien compris toute cette matière, au lieu de traiter le miroir d'Archimède de chose impossible et fabuleuse, voici ce qu'il auroit 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, devoient être composés de miroirs plans, dont il falloit au moins un nombre égal au 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 étoit un très-grand génie; et lorsque j'ai dit que Descartes étoit né pour le juger, et même pour le surpasser, j'ai senti qu'il pouvoit bien y avoir un peu de compliment national dans mon expression.

J'aurois 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 étoient 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 gran-

des inventions n'auroient 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 vivoit dans le second 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 auroit 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 sin-

gulière, 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 auroit 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'avoit 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 troisième 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 douzième siècle ne sont point équivoques, et surtout ceux de Zonaras et de Tzetzés que j'ai cités; c'est-à-dire ils nous font voir clairement que cette invention étoit 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 avoit fait une très-exacte description, et que l'inventeur, quel qu'il fût, entendoit 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'avoient 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 Proclus, n'est pas suspect: *Proclus 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 paroît une espèce de preuve qu'Archimède étoit le premier inventeur de ces miroirs ; car il dit précisément que cette découverte étoit 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 existoient 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 avoit en effet inventé ces miroirs, et qu'il s'en étoit servi contre les Romains. Feu M. Melot, que j'ai cité dans mon Mémoire, et qui avoit fait des recherches particulières et très-exactes sur ce sujet, étoit de ce sentiment, et il pensoit qu'Archimède avoit 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 cent cinquante pieds, d'après ce que m'en ont dit des savants très-versés dans la connoissance 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 lançoit 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'avoit 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 avoit brûlé étoit 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 Tzetzes, que cette distance n'étoit 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 étoit persuadé qu'il n'étoit pas possible de faire des miroirs pour brûler à cent cinquante 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 vouloit faire un miroir semblable, avec toutes les attentions nécessaires,

il produiroit plus du double de l'effet. La première attention seroit 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 seroit 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 seroit de choisir, parmi un grand nombre de glaces, celles qui donneroient 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 vingt ou vingt-cinq pieds, l'effet en paroisse absolument le même. Quatrièmement, il faudroit des glaces d'un demi-pied tout au plus de surface pour brûler à cent cinquante ou deux cents pieds, et d'un pied de surface pour brûler à trois ou quatre cents pieds. Cinquièmement, il faudroit 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 pourroit trouver le moyen de faire un meilleur étamage, et je crois qu'on y parviendroit en employant de l'or et du vif-argent : la lumière seroit peut-être un peu jaune par la réflexion de cet étamage; mais bien loin que cela fît un désavantage, j'imagine au contraire qu'il y auroit 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'étoient 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 faudroit 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 mi-

roir sur son pivot, ou qu'on le fait tourner autour de son axe pour suivre le Soleil : il faudroit 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 pourroit en réduire la grandeur à moitié, et qu'au lieu d'un miroir de sept pieds avec lequel j'ai brûlé du bois à cent cinquante pieds, on produiroit le même effet avec un miroir de cinq pieds et demi, 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 faudroit alors qu'un miroir de quatre pieds et demi pour brûler à cent pieds, et qu'un miroir de trois pieds et demi brûleroit à soixante 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 auroient plus de solidité, plus de durée que les glaces étamées, et qui ne seroient point sujets aux altérations que la lumière du Soleil fait subir à la longue à l'étamage, on pourroit produire des effets très-utiles, et qui

dédommageroient amplement des dépenses de la construction du miroir.

1°. Pour toutes les opérations des eaux salées , où l'on est obligé de consommer du bois et du charbon , ou d'employer l'art des bâtimens de graduation , qui coûtent beaucoup plus que la construction de plusieurs miroirs tels que je les propose. Il ne faudroit , pour l'évaporation des eaux salées , qu'un assemblage de douze miroirs plans d'un pied carré chacun ; la chaleur qu'ils réfléchiront à leur foyer , quoique dirigée au-dessous de leur niveau , et à quinze ou seize 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 faudroit 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 occasionée 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 plus lentement que l'eau douce. Ce miroir , dont l'assemblage ne formeroit qu'un carré de quatre pieds de largeur sur trois de hauteur , seroit aisé à manier et à transporter ; et , si l'on vouloit en doubler ou

tripler les effets dans le même temps, il vaudroit mieux faire plusieurs miroirs semblables, c'est-à-dire doubler ou tripler le nombre de ces mêmes miroirs de quatre pieds sur trois, que d'en augmenter l'étendue; car l'eau ne peut recevoir qu'un certain degré de chaleur déterminée, et l'on ne gagneroit 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 réfléchiroit sur le miroir brisé; car alors il brûleroit en bas, au lieu de brûler en haut: mais il perdroit 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 faudroit 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 d'un pied d'épaisseur ne s'évaporerait pas aussi vite, à beaucoup près, que la même masse réduite à six pouces d'épaisseur et augmentée du double en super-

ficie. 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 faudroit 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 faudroit donc au moins seize petits miroirs pour calciner le gypse; et à cause des pertes occasionées tant par l'obliquité de la lumière que par l'irrégularité du foyer, qu'on n'éloignera pas au-delà de quinze pieds, je présume qu'il faudroit vingt et peut-être vingt-quatre miroirs d'un pied carré chacun pour calciner le gypse en peu de temps: par conséquent il faudroit un assemblage de quarante-huit de ces petits miroirs pour opé-

rer la calcination sur la pierre calcaire la plus tendre, et soixante-douze des mêmes miroirs d'un pied en carré pour calciner les pierres calcaires dures. Or, un miroir de douze pieds de largeur sur six 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 étoit assez considérable pour équivaloir et même surpasser la dépense de la consommation du bois : il faudroit, pour s'en assurer, commencer par calciner le plâtre avec un miroir de vingt-quatre pièces, et, si cela réussissoit, 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 seroit assez forte pour calciner le marbre ou la pierre dure.

Mais une chose très-essentielle reste douteuse; c'est de savoir combien il faudroit de temps pour calciner, par exemple, un pied cube de matière, surtout si ce pied cube n'étoit frappé de chaleur que par une face : je vois qu'il se passeroit du temps avant que la chaleur eût pénétré toute son épaisseur; je vois que, pendant tout ce temps, il s'en perdrait une assez grande partie qui sortiroit 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 faudroit au moins la tenter sur les matières gypseuses, dont la calcination doit être une fois plus prompte que celle des pierres calcaires.¹

En concentrant cette chaleur du Soleil dans un four qui n'auroit d'autre ouverture que celle qui laisseroit entrer la lumière, on empêcheroit 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'aliment suffiroit pour nourrir et augmenter de beaucoup la quantité de chaleur; ce qui produiroit 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°. Ces miroirs d'Archimède peuvent servir en effet à mettre le feu dans des voiles de vaisseau, et même dans le bois goudronné, à plus de cent

Il vient de paroître 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 pourroit obtenir les grands effets qu'il s'en promet.

cinquante pieds de distance : on pourroit s'en servir aussi contre ses ennemis en brûlant les blés et les autres productions de la terre ; cet effet , qui seroit assez prompt, seroit 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°. 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 entreroit dans la construction de ce thermomètre, seroit 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 1000, comme dans nos thermomètres ordinaires, on approcheroit beaucoup de la réalité, surtout en choisissant les jours de l'hiver les plus froids pour graduer le thermomètre ; chaque image du Soleil lui donneroit un degré de chaleur au-

dessus de la température que nous supposerons à celui de la glace. Le point auquel s'élèveroit le mercure par la chaleur de la première image du Soleil, seroit marqué 1; le point où il s'élèveroit 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 pourroit étendre jusqu'au degré 36. On auroit à ce degré une augmentation de chaleur trente-six fois plus grande que celle du premier degré, dix-huit 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 seroit assez grande pour fondre le plomb, et il y a toute apparence que le mercure, qui se volatilise à une bien moindre chaleur, feroit, 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 de 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 avoient 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, 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 de $1\frac{1}{4}$, $2\frac{1}{4}$, $3\frac{1}{4}$, 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, deviendroient non-

¹ Plusieurs voyageurs m'ont écrit que les thermomètres à l'esprit-de-vin, de Réaumur, leur étoient devenus tout-à-fait inutiles, parce que cette liqueur se décolore et se charge d'une espèce de boue en assez peu de temps.

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'aurois bien désiré recueillir cette vapeur abondante que le feu pur du Soleil fait sortir du métal; mais je n'avois pas les instruments nécessaires, et je ne puis que recommander aux chimistes et aux physiciens de suivre cette expérience importante, dont les résultats seroient d'autant moins équivoques que la vapeur métallique est ici très-pure; au lieu que, dans toute opération semblable qu'on vou-

droit faire avec le feu commun, la vapeur métallique seroit 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 pourroit, 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 les parties constituantes de ces vapeurs métalliques sont dans un état de division bien plus grande que dans l'état de fusion, elles se joindroient et se réuniroient de bien plus près et plus facilement. Enfin on arriveroit peut-être, par ce moyen, à la connoissance d'un fait général, et que plusieurs bonnes raisons me font soupçonner depuis long-temps : c'est qu'il y auroit pénétration dans tous les alliages faits de cette manière.

et que leur pesanteur spécifique seroit toujours plus grande que la somme des pesanteurs spécifiques des matières dont ils seroient 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 faudroit employer pour recevoir et recueillir ces vapeurs métalliques, il m'est venu une idée qui me paroît trop utile pour ne la pas 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 faudroit peut-être que 18 ou 20 degrés, peut-être même moins, pour le geler en vapeurs. Je recommande cette expérience importan-

te 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 apercevoit du port d'Alexandrie les vaisseaux d'aussi loin que la courbure de la terre pouvoit 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 paroît 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 trois pieds et demi de longueur, faite sur ce principe, équivaut, pour l'effet, aux anciennes lunettes de vingt-cinq 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 pouvoit rien gagner à substituer des verres hyperboliques ou elliptiques à des verres sphériques, et que cette substitution ne pouvoit devenir avantageuse que dans le cas où l'on pourroit trouver le

moyen de corriger l'effet de la différente réfrangibilité des rayons de la lumière. Il semble donc qu'aujourd'hui l'on feroit 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 trente 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 sur 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 un demi-degré d'espace à nos yeux, alors l'image de cet objet occupera un espace d'environ trois pouces de diamètre au foyer de l'objectif de trente 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 auroit 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 trente pieds pour observer la Lune et la voir en entier, le verre oculaire doit avoir au moins trois pouces de diamètre pour recueillir l'image entière que produit l'objectif à son foyer, et que si on vouloit observer cet astre avec une lunette de soixante pieds, l'oculaire doit avoir au moins six pouces de diamètre, parce que la corde de l'arc qui mesure l'angle sous lequel nous paroît la Lune, est dans ce cas de trois pouces et de six pouces à peu près; aussi les astronomes ne font jamais usage de lunettes qui renferment le disque entier de la Lune, parce qu'elles grossiroient trop peu; mais si on veut observer Vénus avec une lunette de soixante pieds, comme l'angle sous lequel elle nous paroît n'est que d'environ 60. secondes, le verre oculaire pourra n'avoir que quatre lignes de diamètre; et si on se sert d'un objectif de cent vingt pieds, un oculaire de huit lignes de diamètre suffiroit pour réunir l'image entière que l'objectif forme à son foyer.

De là on voit que quand même les rayons de lumière seroient également réfrangibles, on ne pourroit 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 paroît 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 pourroit faire dans cette vue pour les perfectionner ne seroit pas fort avantageux, parce que, sous quelque angle que paroisse 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'intervalle¹ entre le foyer des rayons rouges et celui des rayons violets, et par conséquent plus sera confuse l'image de l'objet observé.

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 seroient différents selon les différents objets et les différentes circonstances. Supposons, par exemple, une courte lunette composée de deux verres, l'un convexe et

¹ Cet intervalle est d'un pied sur vingt-sept de foyer.

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 seroit une fois plus court que celui des sphères sur lesquelles auroient 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 deux pouces et demi de longueur, et l'autre d'un pouce et demi : 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 faisoit plus longues, toujours en verre massif, la lumière, après avoir traversé cette épaisseur de verre, n'auroit plus assez de force pour peindre l'image de l'objet à notre œil. Ainsi, pour faire des lunettes de dix ou vingt 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, parce que celle de l'eau approche plus de celle du verre que celle de l'air; et si on pouvoit, 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 corrigeât davantage, par ce moyen, l'effet de la différente réfrangibilité des rayons. Il s'agiroit donc d'employer une liqueur transparente qui auroit 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 feroit dans la proportion suivante :

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 diminueroit très-peu la différente réfrangibilité, parce que l'eau disperse les rayons colorés d'une manière différente du verre, et qu'il y auroit des couleurs qui proviendroient 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 rapprocheroit de très-près leur puissance réfractive.

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 trou-
 veroit que la lumière, qui passe à travers six lignes
 de verre, auroit déjà perdu $\frac{102024}{117649}$, c'est-à-dire en-
 viron les $\frac{10}{11}$ de sa quantité. Mais il faut considérer
 que M. Bouguer s'est servi de verres bien peu trans-
 parents, puisqu'il a vu qu'une ligne d'épaisseur de
 ces verres détruisoit $\frac{2}{7}$ de la lumière. Par les expé-
 riences que j'ai faites sur différentes espèces de ver-
 re blanc, il m'a paru que la lumière diminueoit beau-
 coup moins. Voici ces expériences, qui sont assez
 faciles à faire, et que tout le monde est en état de
 répéter.

Dans une chambre obscure, dont les murs étoient noircis, qui me servoit à faire des expé-
 riences d'optique, j'ai fait allumer une bougie de
 cinq à la livre; la chambre étoit fort vaste, et la
 lumière de la bougie étoit la seule dont elle fût
 éclairée. J'ai d'abord cherché à quelle distance je
 pouvois lire un caractère d'impression, tel que ce-
 lui de la gazette de Hollande, à la lumière de cet-
 te bougie, et j'ai trouvé que je lisois assez facile-
 ment ce caractère à vingt-quatre pieds quatre pou-
 ces de distance de la bougie. Ensuite, ayant placé
 devant la bougie, à deux pouces de distance, un
 morceau de verre provenant d'une glace de Saint-
 Gobin, réduite à une ligne d'épaisseur, j'ai trouvé
 que je lisois encore tout aussi facilement à vingt-

deux pieds neuf pouces ; et en substituant à cette glace d'une ligne d'épaisseur un autre morceau de deux lignes d'épaisseur et du même verre, j'ai lu aussi facilement à vingt-un pieds de distance de la bougie. Deux de ces mêmes glaces de deux 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 dix-sept pieds et demi de distance de la bougie. Et enfin, avec trois glaces de deux lignes d'épaisseur chacune, je n'ai lu qu'à la distance de quinze pieds. Or, la lumière de la bougie diminuant comme le carré de la distance augmente, sa diminution auroit été dans la progression suivante, s'il n'y avoit point eu de glaces interposées.

$$\begin{array}{ccccc} \overline{2} & \overline{2} & \overline{2} & \overline{2} & \overline{2} \\ 24\frac{1}{3} & 22\frac{3}{4} & 21 & 17\frac{1}{2} & 15. \\ \text{ou} & 592\frac{1}{9} & 517\frac{2}{16} & 441 & 306\frac{1}{4} & 225. \end{array}$$

Donc les pertes de la lumière, par l'interposition des 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 qu'une ligne d'épaisseur de ce verre ne diminue la lumière que de $\frac{84}{592}$ ou d'environ $\frac{1}{7}$; que deux lignes d'épaisseur la diminuent de $\frac{151}{592}$, pas tout-à-fait de $\frac{1}{4}$; et trois glaces de deux lignes, de $\frac{367}{592}$, c'est-à-dire moins de $\frac{2}{3}$.

Comme ce résultat est très-différent de celui de M. Bouguer, et que néanmoins je n'avois 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 trois quarts de ligne chacun. Ayant lu de même à vingt-quatre pieds quatre pouces de distance de la bougie, l'interposition d'un de ces morceaux de verre me fit rapprocher à vingt-un pieds et demi; avec deux morceaux interposés et appliqués l'un sur l'autre, je ne pouvois plus lire qu'à dix-huit pieds un quart, et avec trois morceaux, à seize 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 trois quarts de ligne, étant ici de $592\frac{1}{4} - 462\frac{1}{4} = 130$, le résultat $\frac{150}{592\frac{1}{4}}$ ou $\frac{65}{296}$, 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'avoient que trois quarts 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 perdoit qu'un huitième en traversant une épaisseur d'une ligne, et qu'elle diminuoit dans la progression suivante :

Épaisseurs.....	1,	2,	3,	4,	5,	6,.....	n .
Diminutions...	$\frac{1}{8}$	$\frac{7}{64}$	$\frac{49}{512}$	$\frac{343}{4096}$	$\frac{2401}{32768}$	$\frac{16807}{262144}$	
ou.....	$\frac{7}{8^1}$	$\frac{7}{8^2}$	$\frac{7}{8^3}$	$\frac{7}{8^4}$	$\frac{7}{8^5}$	$\frac{7}{8^6}$ $\frac{7}{8^n}$

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 $\frac{144495}{262164}$. Donc la lumière ne diminue que d'un peu plus de moitié en traversant une épaisseur de six lignes de verre de Bohême, et elle en perdrait encore moins, si, au lieu de trois morceaux de deux lignes appliqués l'un sur l'autre, elle n'avoit à traverser qu'un seul morceau de six lignes d'épaisseur.

Avec le verre que j'ai fait fondre en masse épaisse, j'ai vu que la lumière ne perdoit pas plus à travers quatre pouces et demi d'épaisseur de ce verre qu'à travers une glace de Saint-Gobin de deux lignes et demie d'épaisseur; il me semble donc qu'on pourroit en conclure que la transparence de ce verre étant à celle de cette glace, comme 4 pouces $\frac{1}{2}$ sont à deux lignes $\frac{1}{2}$, ou $5\frac{1}{4}$ à $2\frac{1}{2}$, c'est-à-dire plus de vingt-une fois plus grande, on pourroit faire de très-bonnes petites lunettes massives de cinq ou six 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 paroît, au pre-

mier 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*, neuf pieds sept 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 dix pieds d'épaisseur d'eau diminuent la lumière dans le rapport de 3 à 1; alors vingt pieds d'épaisseur d'eau la diminueront dans le rapport de 9 à 1; trente pieds la diminueront dans celui de 27 à 1, etc. Il paroît donc qu'on ne pourroit se servir de ces longues lunettes pleines d'eau que pour observer le Soleil, et que les autres astres n'auroient pas assez de lumière pour qu'il fut possible de les apercevoir à travers une épaisseur de vingt à trente pieds de liqueur intermédiaire.

Cependant, si l'on fait attention qu'en ne donnant qu'un pouce ou un pouce et demi d'ouverture à un objectif de trente pieds, on ne laisse pas d'apercevoir très-nettement les planètes dans les lunettes ordinaires de cette longueur; on doit penser qu'en donnant un plus grand diamètre à l'objectif, on augmenteroit 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 vingt-une lignes environ de diamètre, suffiront pour qu'on le

voie aussi distinctement à travers une épaisseur de dix pieds d'eau; et qu'avec un verre de trois pouces de diamètre, on le verroit également à travers une épaisseur de vingt pieds d'eau; qu'avec un verre de $\sqrt{27}$ ou 5 pouces $\frac{1}{4}$ de diamètre, on le verroit à travers une épaisseur de trente pieds, et qu'il ne faudroit qu'un verre de neuf pouces de diamètre pour une lunette remplie de quarante pieds d'eau, et un verre de vingt-sept pouces pour une lunette de soixante pieds.

Il semble donc qu'on pourroit, 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 feroient 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 paroît pas douteux, c'est qu'une lunette construite de cette façon seroit très-utile pour observer le Soleil; car, en la supposant même longue de cent pieds, la lumière de cet astre

ne seroit encore que trop forte après avoir traversé cette épaisseur d'eau, et on observeroit 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 auroit 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 cent pieds, il faudra, dans ce cas, que le verre oculaire ait au moins dix pouces de diamètre, parce que le Soleil occupant plus d'un demi-degré céleste, l'image formée par l'objectif à son foyer à cent pieds, aura au moins cette longueur de dix pouces, et que, pour la réunir tout entière, il faudra un oculaire de cette largeur, auquel on ne donneroit que vingt pouces de foyer pour le rendre aussi fort qu'il se pourroit. Il faudroit aussi que l'objectif, ainsi que l'oculaire, eût dix 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 serviroit qu'à observer exactement le Soleil, ce seroit déjà beaucoup: il seroit, par exemple, fort curieux de pouvoir reconnoître 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 seroient; si les taches flottent sur sa surface, 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 seroit pas, à beaucoup près, entièrement corrigée dans cette longue lunette remplie d'eau: mais si cette liqueur pouvoit, par l'addition des sels, être rendue aussi dense que le verre, ce seroit alors la même chose que s'il n'y avoit qu'un seul verre à traverser, et il me semble qu'il y auroit 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

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 pouvoit 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 paroît pas encore absolument démontré; car ces taches, qui toutes changent de figure, pourroient bien aussi quelquefois changer de lieu.

celle 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 paroissent éclairés. Dans toutes les lunettes il faudroit 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 paroît 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 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 deux ou trois pieds de diamètre? L'aberration des rayons, causée par la sphéricité des verres, en est la seule cause; elle produit une confusion qui est comme le carré du diamètre de l'ouverture: 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 faudroit s'attacher à faire des verres elliptiques ou hyperboliques, qui ne produiroient pas cette aberration causée par la sphéricité, et qui par conséquent pourroient 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

¹ *Smith's Optick*, boeck II, cap. 7, art. 346.

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 seroit composée que d'un seul grand verre objectif et d'un oculaire proportionné, exigeroit une matière de la plus grande transparence; on réuniroit, par ce moyen, tous les avantages possibles, c'est-à-dire, ceux des lunettes achromatiques à celui des lunettes elliptiques ou hyperboliques, et l'on mettroit à profit toute la quantité de lumière que chaque planète réfléchit à nos yeux. Je puis me tromper; mais ce que je propose me paroît 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 voyoit 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 è ferro sinico, per quod à longè videbantur naves Græcorum advenientes; sed paulò postquam islamismus invaluit, scilicet tempore califatús Walidi, filii Abdulmelec, Christiani, fraude adhibitá, illud deleverunt.*

Abulfeda, etc., Descriptio Ægypti.

J'ai pensé, 1° que ce miroir par lequel on voyoit de loin les vaisseaux arriver, n'étoit pas impossible; 2° que même, sans miroir ni lunette, on pourroit, par de certaines dispositions, obtenir le même effet, et voir depuis le port les 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 nuisoit si fort à celle des objets éloignés, qu'on apercevoit la nuit un objet lumineux de dix, vingt et peut-être cent fois plus de distance qu'on ne le voit pendant le jour. Nous savons que du fond d'un puits très-profond l'on voit les étoiles en plein jour :¹ pourquoi donc ne verroit-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 recevoit aucune lumière que celle de la mer lointaine et des vaisseaux qui pourroient s'y trouver ? Cette galerie n'est qu'un puits horizontal qui feroit le même effet pour la vue des vaisseaux, que le puits vertical pour la vue des étoiles; et cela me paroît si simple, que je suis étonné qu'on n'y ait pas songé. Il me semble qu'en

¹ Aristote est, je crois, le premier qui ait fait mention de cette observation, et j'en cite le passage à l'article *du Sens de la vue*.

prenant, pour faire l'observation, les heures du jour où le Soleil seroit derrière la galerie, c'est-à-dire le temps où les vaisseaux seroient bien éclairés, on les verroit 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 verroit les vaisseaux, qui sont beaucoup plus gros, d'aussi loin que la courbure de la Terre le permettroit, sans autre instrument que nos yeux.

Mais un miroir concave d'un assez grand diamètre et d'un foyer quelconque, placé au fond d'un long tuyau noirci, feroit pendant le jour à peu près le même effet que nos grands objectifs de même dia-

¹ La courbure de la Terre pour un degré, ou vingt-cinq lieues de 2283 toises, est de 2988 pieds; elle croît comme le carré des distances; ainsi, pour cinq lieues, elle est vingt-cinq fois moindre, c'est-à-dire d'environ cent vingt pieds. Un vaisseau qui a plus de cent vingt pieds de mâture peut donc être vu de cinq lieues, étant même au niveau de la mer; mais si l'on s'élevoit de cent vingt pieds au-dessus du niveau de la mer, on verroit de cinq lieues le corps entier du vaisseau jusqu'à la ligne de l'eau, et, en s'élevant encore davantage, on pourroit apercevoir le haut des mâts de plus de dix lieues.

mètre et de même foyer feroient pendant la nuit; et c'étoit probablement un de ces miroirs concaves d'acier poli (*è ferro sinico*) qu'on avoit établi au port d'Alexandrie 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 pouvoit avoir d'effet qu'autant que la lumière réfléchie par sa surface étoit recueillie par un autre miroir concave placé à son foyer; et c'est en cela que consistent 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 paroît 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 étoit fondé à croire qu'il n'y avoit 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

De temps immémorial, les Chinois, et surtout les Japonais, savent travailler et polir l'acier en grand et petit volume; et c'est ce qui m'a fait penser qu'on doit interpréter *c ferro sinico*, par *acier poli*.

pouvoit 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 réfléchis, 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 cent cinquante ou deux cents pieds de long, et en se plaçant dans un lieu obscur où aboutiroit l'une des extrémités de ce tuyau. Plus la lumière du jour seroit vive, plus seroit grand l'effet de cette lunette si simple et si facile à exécuter. Je suis persuadé qu'on verroit 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 ce long tuyau et la galerie obscure que j'ai proposée, c'est que le *champ*, c'est-à-dire l'espace vu, seroit 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 brûler à 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 d'un pied et demi, de deux pieds et trois 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 deux ou trois lignes de diamètre pour y passer une vis 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 trois

Voyez planche 2, fig. 8 et 10; et pl. 3, fig. 1.

pieds pour brûler depuis cinquante pieds jusqu'à trente, et les glaces de dix-huit pouces ont brûlé à vingt-cinq pieds ; mais ayant répété plusieurs fois ces expériences, j'ai cassé les glaces de trois pieds et de deux pieds, et il ne m'en reste qu'une de dix-huit pouces, que j'ai gardée pour modèle de ce miroir.¹

Ce qui fait casser ces glaces si aisément, c'est le trou qui est au milieu ; elles se courberoient beaucoup plus sans rompre s'il n'y avoit 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 et moins grandes distances.

Il y auroit encore un autre moyen : ce seroit d'ôter l'étamage dans le centre de la glace de la largeur de neuf ou dix lignes, façonner avec une mo-

¹ Ces glaces de trois pieds ont mis le feu à des matières légères jusqu'à cinquante pieds de distance, et alors elles n'avoient plié que d'une ligne $\frac{1}{8}$; pour brûler à quarante pieds, il falloit les faire plier de deux lignes ; pour brûler à trente pieds, de deux lignes $\frac{1}{4}$; et c'est en voulant les faire brûler à vingt pieds qu'elles se sont cassées.

lette cette partie du centre en portion de sphère, comme un verre convexe d'un pouce de foyer, mettre dans le tambour une petite mèche soufrée; il arriveroit que quand on présenteroit ce miroir au Soleil, les rayons transmis à travers cette partie du centre de la glace et réunis au foyer d'un pouce, allumeroient la mèche soufrée dans le tambour; cette mèche, en brûlant, absorberoit de l'air, et par conséquent le poids de l'atmosphère feroit plier la glace plus ou moins, selon que la mèche soufrée brûleroit plus ou moins de temps. Ce miroir seroit fort singulier, parce qu'il se courberoit de lui-même à l'aspect du Soleil, sans qu'il fût nécessaire d'y toucher; mais l'usage n'en seroit 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 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 auroit 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 pourroit

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 conduiroit 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 étoient 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, dans lequel j'ai courbé très-régulièrement des glaces circulaires de trois, quatre et quatre pieds et demi de diamètre; j'en ai même fait courber deux de cinquante-six pouces; mais quelque précaution qu'on ait prise pour laisser refroidir lentement ces grandes glaces de cinquante-six et cinquante-quatre pouces de diamètre, et pour les manier doucement,

¹ Voyez la planche 1, fig. 1, 2, 3, 4, 5 et 6.

elles se sont cassées en les appliquant sur les moules sphériques que j'avois fait construire pour leur donner la forme régulière et le poli nécessaire; la même chose est arrivée à trois autres glaces de quarante-huit et cinquante pouces de diamètre, et je n'en ai conservé qu'une seule de quarante-six pouces et deux de trente-sept pouces. Les gens qui connoissent les arts n'en seront pas surpris : ils savent que les grandes pièces de verre exigent des précautions infinies pour ne pas se féler 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 portoit également partout; mais ce qui m'en a fait perdre un grand nombre, c'est le travail qu'il falloit 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'avoient que cinq lignes d'épaisseur : en les courbant, le feu leur faisoit perdre en partie leur poli. Leur épaisseur d'ailleurs n'étoit pas bien égale partout, et néanmoins il étoit né-

cessaire, pour l'objet auquel je les destinois, 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'avois courbées, et dont j'en avois 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 avoient au moins trois pieds de diamètre, se sont cassées, soit avant d'être travaillées, soit après. De ces trois glaces que j'ai sauvées, l'une a quarante-six pouces de diamètre, et les deux autres trente-sept pouces : elles étoient bien travaillées, leurs surfaces bien concentriques, et par conséquent l'épaisseur bien égale; il ne s'agissoit 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. 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 quarante-six 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 P. Noël : c'est certainement le plus fort miroir ardent qu'il y ait

en Europe¹. J'ai déposé au Jardin du Roi, dans le cabinet d'histoire naturelle, la glace de trente-sept pouces de diamètre dont le foyer est beaucoup plus court que celui du miroir de quarante-six 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 quarante-six pouces, et réfléchie 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 avoit connoissance : ils servent aussi à voir en grand les petits tableaux, et à en distinguer toutes les beautés et tous les défauts; et si on en fait étamer de pareils dans leur concavité, ce qui seroit bien plus aisé que sur la convexité, ils serviroient à voir

¹ On m'a dit que l'étamage de ce miroir, qui a été fait il y a plus de vingt ans, s'étoit gâté : il faudroit le remettre entre les mains de M. de Bernières, qui seul a le secret de cet étamage, pour le bien réparer.

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 quatre pieds et demi 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 pourroit travailler de suite et avec une égale facilité; seulement il seroit nécessaire que la glace plane et le miroir concave fussent tous deux montés parallèlement sur un même support, où ils pourroient recevoir également les mêmes mouvements de direction et d'inclinaison, soit horizontalement, soit verticalement. L'effet que le miroir de quarante-six pouces de diamètre feroit en bas, n'étant que de moitié de celui qu'il produit en haut, c'est comme si la surface de ce miroir étoit réduite de moitié, c'est-à-dire comme s'il n'avoit qu'un peu plus de trente-deux pou-

ces de diamètre au lieu de quarante-six; et cette dimension de trente-deux pouces de diamètre pour un foyer de six 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 connoisse.

Enfin, par la réunion de ces deux miroirs, on auroit aux rayons du Soleil une chaleur immense à leur foyer commun, surtout en le recevant en haut, qui ne seroit diminuée que de moitié en le recevant en bas, et qui, par conséquent, seroit beaucoup plus grande qu'aucune autre chaleur connue, et pourroit produire des effets dont nous n'avons aucune idée.

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 trente-sept pouces de diamètre, et les ai fait user de huit à neuf 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, par lequel on en remplira la capacité avec un entonnoir; et comme les vapeurs de l'eau échauffée par le Soleil pourroient 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 trente-sept pouces, chacune de deux pieds et demi de foyer, brûleroit à cinq pieds, si elle étoit 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 cinq pieds et demi cette lentille à l'eau produiroit au moins deux fois autant de chaleur que la lentille du Palais-Royal, qui est de verre solide, et dont le foyer est à douze pieds.

J'avois conservé une assez forte épaisseur aux glaces, afin que le poids de l'eau qu'elles devoient renfermer ne pût en altérer la courbure: on pourroit 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

¹ Voyez la planche 2, fig. 8.

plus grande quantité qu'elle ne se chargeroit d'un seul sel, il faudroit en fondre de plusieurs espèces, et on rendroit par ce moyen la réfraction de l'eau plus approchante de celle du verre.

Tel étoit mon projet; mais, après avoir travaillé et ajusté ces glaces de trente-sept pouces, celle du dessous s'est cassée dès la première expérience; et comme il ne m'en restoit qu'une, j'en ai fait le miroir concave de trente-sept 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 connoître qu'il falloit des glaces épaisses de neuf ou huit 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 1^{re} 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 affaisée 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'étoit pas, et qu'il y eût dans de certaines parties de la glace une inégalité sensible, on commencera par l'atténuer avec une molette de même sphère que la courbure de la glace. On continuera 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 deux ou trois pieds de diamètre, en observant de faire ces petits moules sur un rayon de quatre ou cinq lignes plus long que ceux du foyer de la grande glace. Par ce moyen, on aura des glaces courbes 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 quatre 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 étoit obligé d'user la glace de plus d'une ligne et demie sur chaque surface; ce qui la rendoit trop mince, et dès-lors inutile, du moins pour notre objet. Ma glace de trente-sept pouces que le poids de l'eau, joint à la chaleur du soleil, a fait casser, avoit néanmoins, toute travaillée, plus de trois lignes et demie 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 un pouce par pied, surtout quand il est mince; je l'ai même éprouvé sur des glaces de deux et trois lignes d'épaisseur, et

de cinq pieds de hauteur : on peut les faire plier de plus de quatre 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 d'un demi-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 inconvéniens 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 seroit sujette à moins d'inconvéniens, et dont l'exécution seroit assez facile. Au lieu de courber, travailler et polir de grandes glaces de qua-

tre ou cinq pieds de diamètre, il ne faudroit que de petits morceaux carrés de deux pouces, qui ne coûteroient 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 donneroit la courbure sphérique et quatre pieds de diamètre, contiendroient chacun trois cent quarante-six de ces petits morceaux de deux pouces; et en laissant quarante-six pour l'équivalent de l'espace que prendroient les verges de fer, il y auroit toujours trois cents disques du Soleil qui coïncideroient au même foyer, que je suppose à dix pieds; chaque morceau laisseroit passer un disque de deux pouces de diamètre, auquel, ajoutant la lumière des parties du carré circonscrit à ce cercle de deux pouces de diamètre, le foyer n'auroit à dix pieds que deux pouces et demi, ou deux pouces trois quarts, si la monture de ces petites glaces étoit 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 seroit ici à peu près de moitié, on auroit 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 seroit pas chère, et je n'y vois d'autre inconvénient que la fuite de l'eau qui pourroit percer par les joints des verges de fer qui soutiendroient les petits tra-

pèzes de verre. Il faudroit 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 deux de 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 miroir : 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, étoit l'un des directeurs de la manufacture de Saint-Gobin, m'ayant aidé de ses conseils, nous fondîmes deux masses de verre d'environ sept pouces de diamètre sur cinq à six 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 avoit qu'un des deux qui fût parfaitement net. Je livrai le second morceau, qui étoit le moins parfait, à des ouvriers qui ne laissèrent pas que d'en

tirer d'assez bons prismes de toute grosseur, et j'ai gardé pendant plusieurs années le premier morceau, qui avoit quatre pouces et demi d'épaisseur, et dont la transparence étoit telle, qu'en posant ce verre de quatre pouces et demi d'épaisseur sur un livre, on pouvoit 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-Gobin, prises et réduites à différentes épaisseurs; un morceau de la matière de ces glaces, de deux pouces et demi d'épaisseur sur environ un pied de longueur et de largeur, que M. de Romilly me procura, étoit vert comme du marbre vert, et l'on ne pouvoit lire à travers : il fallut le diminuer de plus d'un pouce pour commencer à distinguer les caractères à travers son épaisseur, et enfin le réduire à deux lignes et demie d'épaisseur pour que sa transparence fût égale à celle de mon morceau de quatre pouces et demi d'épaisseur; car on voyoit aussi clairement les caractères du livre à travers ces quatre pouces et demi, qu'à travers la glace qui n'avoit que deux lignes et demie. 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 pouvoit espérer de faire d'excellents verres de lunette achromatique, tant à cause de sa très-grande transparence que de sa force réfringente, qui étoit très-considérable, vu la quantité de plomb qui étoit 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'agissoit que de le trancher en lames, et la matière en étoit encore plus transparente et plus nette que celle *flint-glass* d'Angleterre, et elle avoit plus de force de réfraction.

Avec six cents livres de cette même composition, je voulois faire une lentille de vingt-six ou vingt-sept pouces de diamètre, et de cinq pieds de foyer. J'espérois pouvoir la fondre dans mon fourneau, dont à cet effet j'avois fait changer la disposition intérieure; mais je reconnus bientôt que cela n'étoit possible que dans les plus grands fourneaux de verrerie. Il me falloit une masse de trois pouces d'épaisseur sur vingt-sept ou vingt-huit pouces de diamètre, ce qui fait environ un pied cube de verre. Je demandai la liberté de la faire couler à mes frais à la manufacture de Saint-Gobin; mais les administrateurs de cet établissement ne voulurent pas me le permettre, et la lentille n'a pas été faite. J'avois supputé que la chaleur de cette lentille de

vingt-sept pouces seroit 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 auroit eu onze 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 cinq pieds : on pourroit même en augmenter le diamètre; car je suis persuadé qu'on pourroit fondre et couler également des pièces plus larges et plus épaisses dans les fourneaux où l'on fond les grandes glaces, soit à Saint-Gobin, soit à Rouelle en Bourgogne. J'observe seulement ici qu'on perdrait plus par l'augmentation de l'épaisseur qu'on ne gagneroit par celle de la surface du miroir, et que c'est pour cela que, tout compensé, je m'étois borné à vingt-six ou vingt-sept pouces.

Newton a fait voir que quand les rayons de lumière tomboient sur le verre sous un angle de plus de quarante-sept ou quarante-huit 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 quarante-sept ou de quarante-huit degrés de la sphère sur laquelle il a été travaillé. Ainsi, dans le cas présent, pour brûler à cinq pieds, la sphère ayant environ trente-deux pieds de circonférence, le miroir ne peut avoir qu'un peu plus de quatre pieds de dia-

mètre : mais , dans ce cas , il auroit le double d'épaisseur de ma lentille de vingt-six 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 vingt-sept pouces de diamètre pour brûler à cinq 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 pourroit trouver pour fondre des masses aussi épaisses et aussi grandes qu'il le faudroit : par exemple, pour une loupe de quatre pieds de diamètre, à laquelle on donneroit un foyer de cinq ou six 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 faudroit fondre une masse de verre de quatre pieds sur six pouces et demi ou sept pouces d'épaisseur, parce qu'on est obligé de la travailler et de l'user même dans la partie la plus épaisse. Or, il seroit très-difficile de fondre et couler d'un seul jet ce gros volume, qui seroit, comme l'on voit, de cinq ou six pieds cubes; car les plus amples cuvettes des manufactures de glaces ne contiennent pas deux pieds cubes : les plus grandes glaces de soixante pouces sur cent vingt, en leur supposant cinq lignes d'épaisseur, ne font qu'un volume d'environ un pied cube trois quarts. L'on sera donc forcé de se réduire à ce moindre volume, et à n'employer en effet qu'un pied cube et demi, ou tout au plus un pied cube trois quarts 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 cinq lignes d'épaisseur, ne communiquent à la table qu'une chaleur très-médiocre en comparaison de celle que lui feroit subir une masse de six pouces d'épaisseur.

V. *Lentilles à échelons pour brûler avec la plus grande vivacité possible.*²

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 six 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

¹ On a néanmoins coulé à Saint-Gobin, et à ma prière, des glaces de sept 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 trente-huit pouces en carré et de sept 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 dix lignes d'épaisseur, qui ont été coulées de même à Saint-Gobin : cela doit faire présumer qu'on pourroit, sans aucun risque pour la table, en couler d'encore plus épaisses.

² Voyez planch. 2 et 3.

lumière qui passe à travers différentes épaisseurs du même 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 vingt-six pouces de diamètre, cinq pieds de foyer et trois 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 qu'un pouce d'épaisseur au centre, et je forme de chaque côté un échelon d'un demi-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.

Si l'on vient à bout de fondre une pièce de verre de quatre pieds de diamètre sur deux pouces et demi d'épaisseur, et de la travailler par échelons sur un foyer de huit pieds, j'ai supputé qu'en

laissant même un pouce et demi 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 trois pieds de diamètre sur quinze lignes d'épaisseur au centre et six pieds de foyer, ce qui en rendra l'exécution moins difficile, on auroit toujours un degré de chaleur quatre fois au moins plus grand que celui des plus fortes lentilles que l'on connoisse. J'ose dire que ce miroir à échelons seroit 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 désireroient qu'il fût exécuté: on en tireroit de grands avantages pour l'avancement des sciences; et y adaptant un héliomètre, on pourroit faire à son foyer toutes les opérations de la chimie aussi commodément qu'on le fait au feu des fourneaux, etc.

Explication des figures qui représentent le fourneau dans lequel j'ai fait courber des glaces pour faire les miroirs ardents de différentes espèces.

Dans la *planche 1, figure 1*, est le plan du fourneau, au rez-de-chaussée, où l'on voit *A H K B* un vide qui sauve les

inconvéniens du terre-plein sous l'âtre du fourneau ; ce vide est couvert d'une voûte, comme on le verra dans les figures suivantes.

ER les cendriers, disposés en sorte que l'ouverture de l'un est dans la face où se trouve le vent de l'autre.

LL deux contre-forts qui affermissent la maçonnerie du fourneau.

MM deux autres contre-forts, dont l'usage est le même que celui de ceux ci-dessus, et qui n'en diffèrent que parce qu'ils sont un peu arrondis.

GGGG plans de quatre barres de fer qui affermissent le fourneau, ainsi qu'il sera expliqué ci-après.

La *figure 2* est l'élévation d'une des faces parallèles à la ligne *CD* du plan précédent.

HK l'ouverture pratiquée dans l'âtre du fourneau, afin qu'il ne s'y trouve point d'humidité.

CC la bouche ou grande ouverture du fourneau.

A la petite ouverture pratiquée dans la face opposée, laquelle est toute semblable à celle que la même planche représente, à cette différence près, que l'ouverture est plus petite.

Mm un des contre-forts arrondis, à côté duquel on voit le vent.

R ouverture par où l'air extérieur passe sous la grille du foyer.

E le cendrier, *N* le foyer, *P* la porte qui le ferme.

Ll un contre-fort carré.

GO, GO, deux des barres de fer scellées en terre, et qui sont unies à celles qui sont posées à l'autre face par les liens de fer *DD*, ainsi que l'on verra dans une des figures suivantes.

OO deux barres de fer qui unissent ensemble les deux barres *GO, GO*, et retiennent la voûte de l'ouverture *CC* qui est bombée.

mDBDl la voûte commune du fourneau et des foyers, dont la figure est ellipsoïde ; l'arrangement des briques et

Fig. 2.

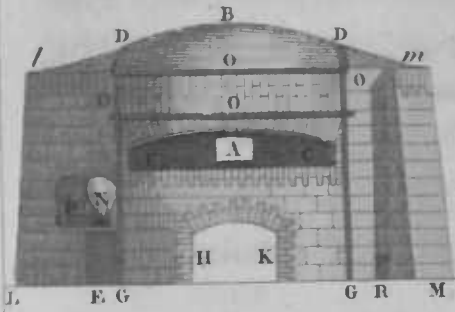


Fig. 1.

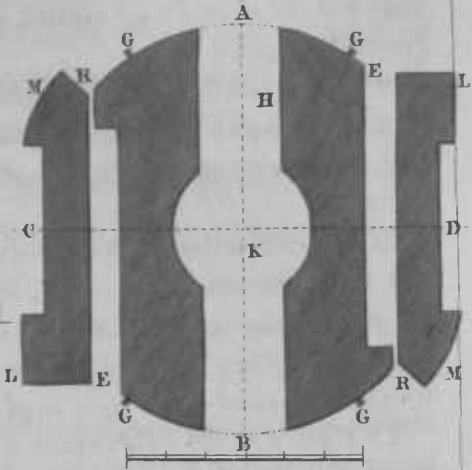


Fig. 3.

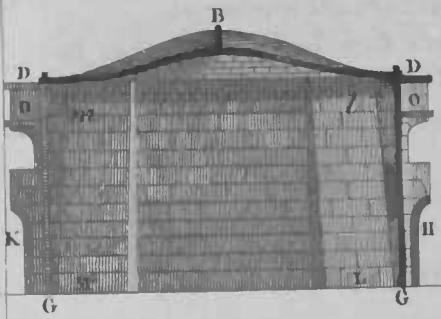


Fig. 4.

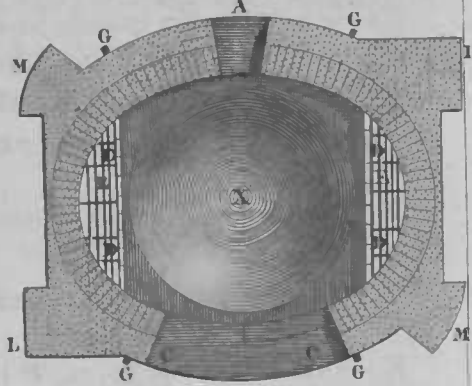


Fig. 5.

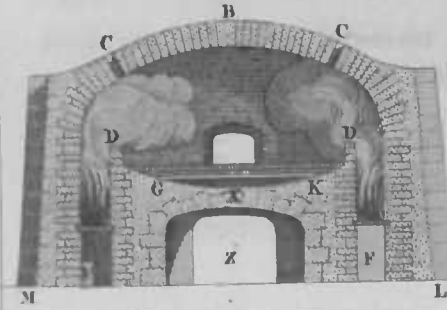
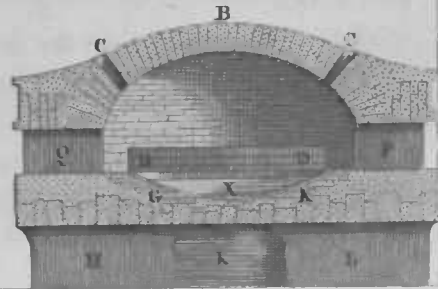


Fig. 6.



autres matériaux qui composent le fourneau se connoît aisément par la figure.

La *figure 3* est la vue extérieure du fourneau par une des faces parallèles à la ligne *AB* du plan, *fig. 1*.

Ll, Mm contre-forts.

HK extrémités de l'ouverture, sous l'âtre du fourneau.

GOD, GOD, les barres de fer dont on a parlé, qui sont unies ensemble par le lien *DD*.

Les liens *DD* couchés sur la voûte *DBD*, sont unis ensemble par un troisième lien de fer.

Les figures précédentes font connoître l'extérieur du fourneau. L'intérieur, plus intéressant, est représenté dans les figures suivantes.

La *figure 4* est une coupe horizontale du fourneau par le milieu de la grande bouche.

X est l'âtre que l'on a rendu concave sphérique.

EE les deux grilles qui séparent le foyer du cendrier, et sur lesquelles on met le charbon : on a supposé que la voûte étoit transparente, pour mieux faire voir la direction des barreaux qui composent les grilles.

A la petite ouverture, *CC* la grande.

DD les marges; *LM, LM*, les contre-forts.

La *figure 5* est la coupe verticale du fourneau suivant la ligne *CD* du plan, ou selon le grand axe de l'ellipsoïde dont la voûte a la figure.

Z le vide sous l'âtre du fourneau.

GXK cavité sphérique pratiquée dans l'âtre du fourneau, et sur laquelle la glace *GK* qui a été arrondie est posée, et dont elle doit prendre exactement la figure, après qu'elle aura été ramollie par le feu.

FF les grilles ou foyer au-dessous desquelles sont les cendriers.

DD les marges qui empêchent les bords de la glace du côté des foyers d'être trop tôt atteints par le feu.

CBC la voûte, *CC* lunettes que l'on ouvre ou ferme à vo-

lonté en les couvrant d'un carreau de terre cuite, LM contre-forts.

La *figure 6* représente la coupe du fourneau par un plan vertical, qui passe par la ligne AB du plan.

HKL le vide sous l'âtre du fourneau.

$G XK$ cavité sphérique pratiquée dans l'âtre du fourneau, et sur laquelle la glace X est déjà appliquée.

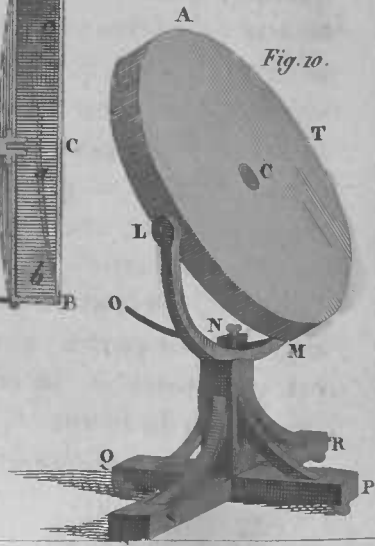
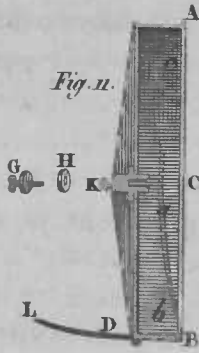
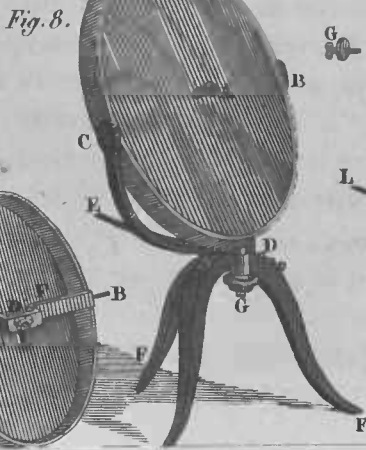
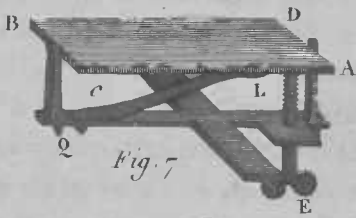
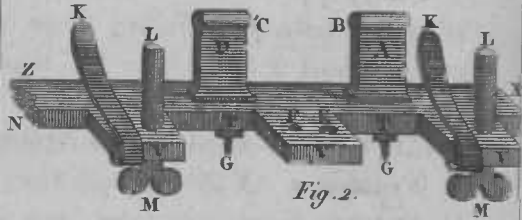
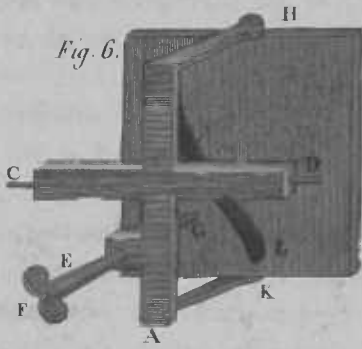
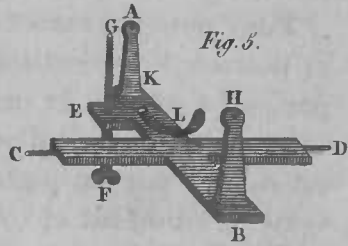
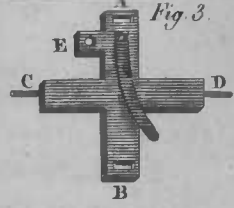
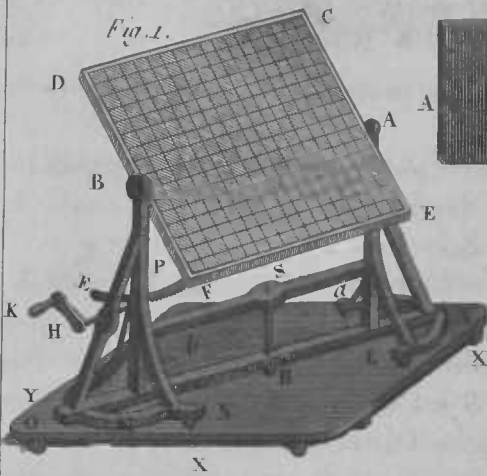
DD une des marges, P la grande ouverture, Q la petite, CC lunettes.

CBC la voûte coupée transversalement ou selon le petit axe de l'ellipsoïde. On jugera de la grandeur de chaque partie de ce fourneau par les échelles qui sont au bas de chaque figure, qui ont été exactement levées sur le fourneau qui étoit au Jardin Royal des Plantes, par M. Goussier.

Grand miroir de réflexion, appelé miroir d'Archimède.

Planche 2, figure 1. Ce miroir est composé de trois cent soixante glaces, montées sur un châssis de fer $CDEF$; chaque glace est mobile pour que les images réfléchies par chacune puissent être renvoyées vers le même point, et coïncider dans le même espace.

Le châssis qui a deux tourillons est porté par une pièce de fer, composée de deux montants MB, LA , assemblés à tenons et mortaises dans la couche ZO ; ils sont assujettis dans cette situation par la traverse ab , et par trois étais à chacun NP, QP, OP , fixés en P dans le corps du montant MB , et assemblés par le bas dans une courbe NOQ qui leur sert d'empatement; ces courbes ont des entailles qui reçoivent des roulettes, au moyen desquelles cette machine, quoique fort pesante, peut tourner librement sur le plancher de bois XXY , étant assujettie au centre de cette plate-forme par l'axe RS qui passe dans les deux traverses ZO, ab ; chaque montant porte aussi à sa partie inférieure une roulette, en sorte que toute la machine est portée par dix roulettes : la plate-forme de bois est recouverte de bandes de fer dans la roulette des rou-



lettes; sans cette attention la plate-forme ne seroit pas de longue durée.

La plate-forme est portée par quatre fortes roulettes de bois, dont l'usage est de faciliter le transport de toute la machine d'un lieu à un autre.

Pour pouvoir varier à volonté les inclinaisons du miroir, et pouvoir l'assujettir dans la situation que l'on juge à propos, on a adapté la crémaillère *F*, qui est unie avec des cercles dont le tourillon *B* est le centre; cette crémaillère est menée par un pignon en lanterne, dont la tige *H* traverse le montant et un des étais, et est terminée par une manivelle *HK*, au moyen de laquelle on incline ou on redresse le miroir à discrétion.

Jusqu'à présent, nous n'avons expliqué que la construction générale du miroir; reste à expliquer par quel artifice on parvient à faire que les images différentes, réfléchies par les différents miroirs, sont toutes renvoyées au même point, et c'est à quoi sont destinées les figures suivantes.

Figure 2. *XZ* une portion des barres qui occupent le derrière du miroir; ces barres sont au nombre de vingt, et disposées horizontalement, en sorte que leur plan est parallèle au plan du miroir; chacune de ces barres a dix-huit entailles *TT*, et le même nombre d'éminences *VVV* qui les séparent: ces barres sont assujetties aux côtés verticaux du châssis du miroir par des vis, et entre elles par trois ou quatre barres verticales, auxquelles elles sont assujetties par des vis. Vis-à-vis de chaque entaille *TT*, il y a des poupées *TA*, *TD*, qui y sont fixées par les écrous *GG*, qui prennent la partie taraudée de la queue de la poupée, après qu'elle a traversé l'épaisseur de la barre; les parties supérieures de chaque poupée, qui sont percées, servent de collets aux tourillons de la croix dont nous allons parler: cette croix, représentée *figures 3 et 5*, est un morceau de cuivre ou de fer, dont la figure fait connoître la forme.

CD les tourillons qui entrent dans les trous pratiqués à

chaque poupée, en sorte qu'elle se peut mouvoir librement dans ces trous.

La vis ML , après avoir traversé l'éminence V , va s'appuyer en dessous, contre l'extrémité inférieure B du croisillon BA ; en même temps, le ressort K va s'appliquer contre l'autre extrémité A du même croisillon, en sorte que lorsque l'on fait tourner la vis en montant, le ressort en se rétablissant fait que la partie B du croisillon se trouve toujours appliquée sur la pointe de la vis; il résulte de cette construction un mouvement de ginglyme ou charnière, dont l'axe est BC .

Ce seul mouvement ne suffisant pas, on en a pratiqué un autre dont l'axe de mouvement croise à angle droit le premier.

Aux deux extrémités A et B du croisillon AB , on a adapté deux petites poupées BH , AK , *figure 5*, retenues, comme les précédentes, par des vis et des écrous.

Les trous HA , qui sont aux parties supérieures de ces poupées, reçoivent les tourillons DC , *fig. 4*, d'une plaque de fer que nous avons appelée *porte-glace*, qui peut se mouvoir librement sur les poupées et s'incliner à l'axe CD du premier mouvement par le moyen de la vis FG , pour la quelle on a réservé un bossage E dans le croisillon AB , afin de lui servir d'écrous dormants: cette vis s'applique par E contre la partie DBC du porte-glace, et force cette partie à monter lorsqu'on tourne la vis; mais lorsqu'on vient à lâcher cette vis, le ressort L qui s'applique contre la partie DAC du porte-glace, le force à suivre toujours la pointe de la vis: au moyen de ces deux mouvements de ginglyme, on peut donner à la glace qui est reçue par les crochets ACB du porte-glace, telle direction que l'on souhaite, et par ce moyen faire coïncider l'image du Soleil, réfléchi par une glace, avec celle qui est réfléchi par une autre.

La *figure 6* représente le porte-glace vu par derrière, où l'on voit la vis $FE G$ qui s'applique en G hors de l'axe de

mouvement HK , et le ressort L qui s'applique en L de l'autre côté de l'axe de mouvement.

La *figure 7* représente le porte-glace vu en dessus, et garni de la glace $ACBD$; le reste est expliqué dans les autres figures.

Miroir de réflexion rendu concave par la pression d'une vis appliquée au centre.

La *figure 8* représente le miroir monté sur son pied; BDC la fourchette qui porte le miroir; cette fourchette est mobile dans l'axe vertical, et est retenue sur le pied à trois branches FFF par l'écrou G .

DE le régulateur des inclinaisons.

A la tête de la vis placée au centre du miroir, rendu concave par son moyen.

La *figure 9* représente le miroir vu par sa partie postérieure, BC les tourillons qui entrent dans les collets de la fourchette.

FG une barre de fer fixée sur l'anneau de même métal qui entoure la glace: cette barre sert de point d'appui à la vis DE qui comprime la glace.

$BHCK$ l'anneau ou cercle de fer sur lequel la glace est appliquée; ce cercle doit être exactement plan et parfaitement circulaire: on couvre la partie sur laquelle la glace s'applique, avec de la peau, du cuir ou de l'étoffe, pour que le contact soit plus immédiat, et que la glace ne soit point exposée à rompre.

Miroir de réflexion rendu concave par la pression de l'atmosphère.

Figure 10. Ce miroir consiste en un tambour ou cylindre, dont une des bases est la glace, et l'autre une plaque de fer.

AB la glace parfaitement plane, C une lentille taillée dans l'épaisseur même de la glace.

BM la hauteur du cylindre aux extrémités du diamètre horizontal TL , duquel sortent deux tourillons, qui entrent

dans les yeux de la fourchette, ainsi qu'il est expliqué en parlant du miroir de réfraction.

MO le régulateur des inclinaisons.

N le collet par lequel il passe, et la vis qui sert à l'y fixer.

N R S P Q le pied qui est semblable à celui du miroir de réfraction, à cette différence près, qu'il est de bois, et que les pièces ont un contour moins orné; du reste sa fonction est la même.

Figure 11 est le profil du miroir coupé par un plan qui passe par l'axe du cylindre, et auquel on suppose que l'œil est perpendiculaire.

AB la glace dont on voit l'épaisseur.

C la lentille qui y est entaillée, et dont le foyer tombe sur le point *c*.

ED la base du cylindre, qui est une plaque de fer.

AE, BD, la hauteur et la coupe de la surface cylindrique.

On fait entrer dans la cavité du miroir une mèche soufrée, après avoir ôté la vis *K*, dont l'écrou est un cube solidement attaché à la plaque de fer qui sert de fond au miroir.

G la même vis représentée séparément; *H* une rondelle de cuir que l'on met entre la tête de la vis et son écrou pour fermer entièrement le passage à l'air.

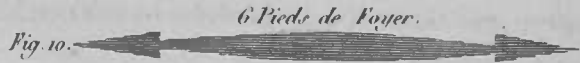
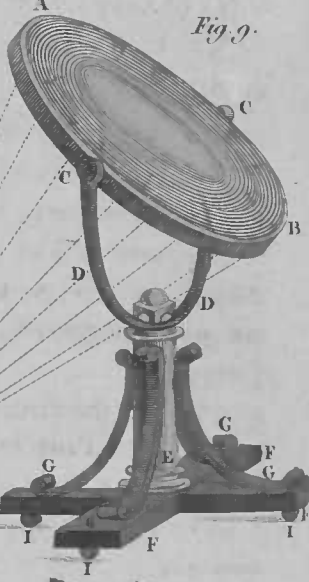
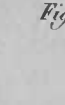
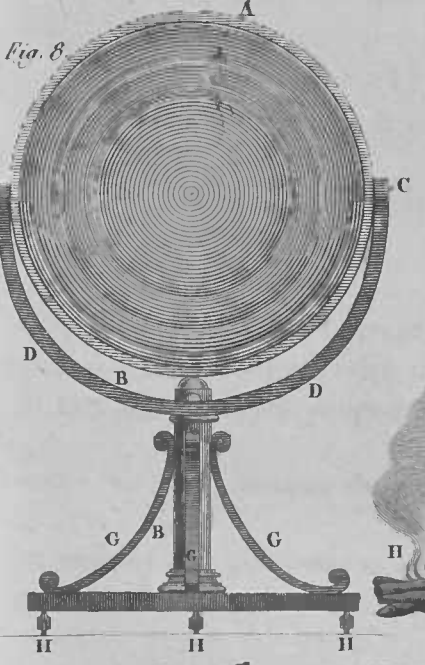
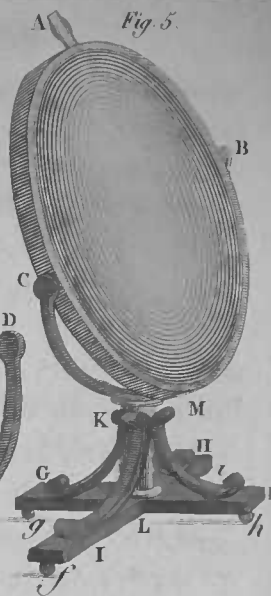
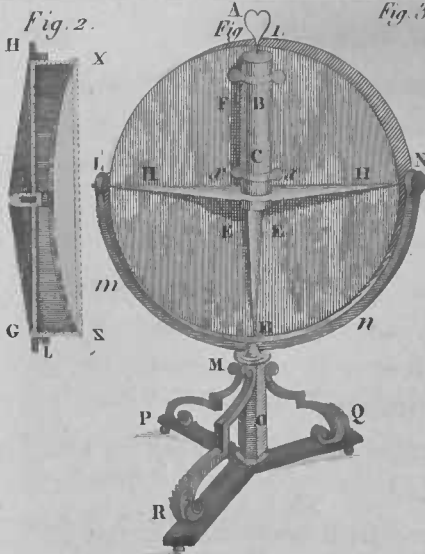
abc la courbure que la glace prend, après que l'air que le cylindre contient a été consommé par la flamme de la mèche à laquelle la lentille *C* a mis le feu.

DF le régulateur des inclinaisons, qui est assemblé à charnière au point *D*.

Em K, Km D règles de fer posées de champ sur la base du cylindre et qui y sont fortement assujetties; leur usage est pour fortifier la plaque et la mettre en état de résister au poids de l'atmosphère qui la comprime aussi bien que la glace; cette construction est représentée dans la *planche 3, fig. 1*.

Autre Miroir de réflexion.

Planche 3, figure 1. Il consiste aussi en un cylindre ou tambour de fer, dont une des bases est une glace parfaite-



ment plane ; la base opposée est une plaque de fer qui est fortifiée par les règles de fer posées de champ *EE*, *HH*. On vide l'air que le cylindre contient par la pompe *BC*, qui est affermie sur la plaque de fer par les collets *xx*.

A l'extrémité supérieure du piston.

E un cube de cuivre solidement fixé sur la plaque ; ce cube est porté en travers pour recevoir le robinet *F*, au moyen duquel on ouvre ou on ferme la communication de l'intérieur du cylindre avec la pompe.

LN, *mn*, la fourchette sur laquelle le miroir est monté, et qui est mobile dans l'arbre *MO*.

MPRQ le pied, qui a seulement trois branches ; ce qui fait qu'il porte toujours à plomb, même sur un plan inégal.

La *figure 2* représente le miroir coupé suivant la ligne *GH*, et duquel on suppose que l'on a pompé l'air.

XZ la glace que la pression de l'atmosphère a rendue concave.

HG la plaque de fer qui sert de fond au cylindre.

LN les tourillons.

FE le robinet.

Les *figures 3* et *4* représentent en grand la coupe du cube dans lequel passe le robinet ; ce cube est supposé coupé par un plan perpendiculaire à la plaque, et qui passe par la pompe.

c partie du canal coudé pratiqué dans le cube qui communique à l'intérieur du miroir.

b portion du même canal qui communique à la pompe.

a le robinet qui se trouve coupé perpendiculairement à son axe.

La *figure 3* représente la situation du robinet lorsque la communication est ouverte ; la portion *m* du canal se présente vis-à-vis les ouvertures *b*.

La *figure 4* représente la situation du robinet lorsque la communication est fermée ; alors la partie *m* du canal ne se présente plus vis-à-vis les mêmes ouvertures.

Lentille à l'eau.

La *figure 5*. Le miroir entier monté sur son pied.

ABC le miroir composé de deux glaces convexes, assujetties l'une contre l'autre par le châssis ou cadre circulaire *ABC*.

BC extrémités de la fourchette de fer qui porte ce miroir. Les extrémités de cette fourchette sont percées d'un trou cylindrique pour recevoir les tourillons dont le châssis du miroir est garni, et sur lesquels il se meut pour varier les inclinaisons.

BKC la fourchette.

KFIGH le pied qui porte le miroir; il est composé de plusieurs pièces.

KL l'arbre ou poinçon qui s'appuie par sa partie inférieure sur la croix *HI, FG*; il est fixé dans la situation verticale par les quatre étais ou jambes de force *KG, KH, KF, KI*, qui sont de fer, et auxquelles on a donné un contour agréable.

fghi les roulettes.

Figure 6. Coupe ou profil du miroir dans laquelle on suppose que l'œil est placé dans le plan qui sépare les deux glaces.

XZ les deux glaces qui étant réunies forment une lentille.

bm coupe du châssis ou anneau qui retient les glaces unies ensemble; cet anneau est composé de deux pièces qui s'assujettissent l'une à l'autre par des vis, et entre lesquelles les glaces sont mastiquées.

a une petite bouteille à deux cols, l'un desquels communique au vide que les deux glaces laissent entre elles par un canal pratiqué entre les deux glaces, et qui est entaillé moitié dans l'une et moitié dans l'autre.

Figure 7. *BDC* la fourchette de fer qui porte le miroir.

DE tige de la fourchette qui entre dans un trou vertical pratiqué à l'axe ou arbre *KL* du pied, en sorte que l'on

peut présenter successivement la face du miroir à tous les points de l'horizon.

C collet dans lequel passe le régulateur des inclinaisons que l'on y fixe par une vis.

Lentille à échelons.

Figure 8. *AB* bordure circulaire pour contenir ce miroir à échelons.

CC tourillons qui passent dans les trous percés horizontalement à la partie supérieure de la fourchette *DD* ; à sa partie inférieure tient une tige aussi de fer que l'on ne voit point ici, étant entrée perpendiculairement, mais un peu à l'aise, dans l'arbre *E*, afin de pouvoir tourner à droite et à gauche.

L'arbre *E* est attaché solidement à son pied, qui est fait en croix, dont on ne peut voir ici que trois de ses côtés.

GGG jambages de force ou étais de fer pour la solidité.

HHH roulettes dessous les pieds pour ranger facilement ce miroir à la direction que l'on juge à propos.

La *figure 9* représente ce même miroir à échelons en perspective, tourné vers le Soleil pour mettre le feu.

AB bordure circulaire qui contient la glace à échelons.

CC tourillons qui passent dans les trous percés à la partie supérieure de la fourchette *DD*.

A la partie inférieure de la fourchette, qui est de fer, tient une tige cylindrique de même métal qui entre dans l'arbre, juste, mais non pas trop serrée, pour qu'elle puisse avoir un jeu doux, propre à pouvoir tourner à droite ou à gauche, pour la diriger comme on le désire.

E l'arbre dans lequel entre cette tige.

FFFF les quatre pieds en croix sur laquelle est attaché solidement l'arbre.

GGGG les quatre jambes de force aussi de fer.

H le feu actif tiré du Soleil par la construction de ce miroir.

III roulettes de dessous les pieds du port-miroir.

Les figures 10, 11, 12, représentent les coupes de trois miroirs à échelons, dont le plus facile à exécuter seroit celui de la figure 10. Leur échelle est de six pouces de pied-de-roi pour pied-de-roi.

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 paroît 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 des 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 imparfaite 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

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-foibles, 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 étoit sensible à mes yeux. Avec de meilleurs organes ou plus d'attention on pourroit 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 diviseroit inutilement les intervalles en deux ou plusieurs parties, dont les couleurs seroient de la même nature, et ce seroit 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 cou-

leurs 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 ré-

flexion :¹ 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'outremer ne paroît bleu que parce qu'il réfléchit fortement les rayons bleus, et qu'il reçoit dans ses pores tous

¹ 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 faudroit 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 reconnoître par leurs éclipses s'il y auroit 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 deux 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 émission, aient d'abord paru violets, et ensuite éclairés succes-

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 trans-

sivement 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 paroît être plus réflexible ne vient que de la réfraction, et ne paroît 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 la réfraction. Il me semble qu'il ne devoit donc pas assurer en général que les rayons les plus réfrangibles étoient les plus réflexibles. Cela ne me paroît 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 rejaillit 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.

parent. Si l'on réduit un corps transparent à une fort petite épaisseur, cette plaque mince produira des 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., paroissent 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 proprié-

tés de la lumière; mais il en est d'autres qui me paroissent 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 paroissent jamais que lorsque l'organe est forcé ou qu'il a été trop fortement ébranlé.

Personne n'a fait, avant le docteur Jurin, 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 long-temps 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 foible : en cessant de regarder le carré rouge, si on porte l'œil sur le papier blanc, on voit très-distinctement un carré d'un vert tendre, tirant un peu sur le bleu;

¹ Essai, *Upon distinct and indistinct vision*, pag. 115, des notes sur l'*Optique de M. Smith*, tom. II, imprimé à Cambridge en 1738.

cette apparence subsiste plus ou moins long-temps, 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 long-temps 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 long-temps 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 étoient meilleurs et plus forts que les miens, que cette impression du jaune étoit plus forte que celle du rouge, et que la couleur bleue qu'elle produit s'effaçoit plus difficilement et subsistoit plus long-temps 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 long-temps une tache verte sur un fond blanc, on voit 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 foible, et ne dure pas, à beaucoup près, aussi long-temps que les couleurs bleues et vertes produites par le jaune et par le rouge.

De même en regardant fixement et long-temps 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 long-temps 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

long-temps 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 paroissent 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 papier 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 long-temps.

Tout le monde sait qu'après avoir regardé le Soleil, on porte quelquefois pendant long-temps 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 long-temps 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 paroît 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 long-temps, 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-long-temps 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 appa-

rences. Un de mes amis m'a assuré, à cette occasion, qu'ayant regardé un jour une éclipse de Soleil par un petit trou, il avoit porté, pendant plus de trois semaines, l'image colorée de cet astre sur tous les objets; que quand il fixoit ses yeux sur du jaune brillant, comme sur une bordure dorée, il voyoit 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 craignois 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 connoissance des incommodités des yeux, qui viennent probablement d'un grand ébran-

lement 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 seréine 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 étois fort inquiet; j'avois 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 avois jamais vu de ma vie : mais enfin ils m'incommodoient tellement, surtout lorsque je regardois au grand jour des objets fortement éclairés, que j'étois contraint de détourner les yeux; le jaune surtout m'étoit insupportable, et j'ai été obligé de changer des rideaux jaunes dans la chambre que j'habitois, 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 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 portois plus ou moins long-temps sur tous les objets ; et , suivant avec attention les différentes nuances de cette image colorée , j'ai reconnu qu'elle se décoloroit peu à peu , et qu'à la fin je ne portois plus sur les objets qu'une tache noire , d'abord assez grande , qui diminueoit ensuite peu à peu , et se réduisoit enfin à un point noir.

Je vais rapporter à cette occasion un fait qui est assez remarquable ; c'est que je n'étois jamais plus incommodé de ces points noirs que quand le ciel étoit couvert de nuées blanches : ce jour me fatiguoit beaucoup plus que la lumière d'un ciel serrein , 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 encore annoncer un fait qui paroitra 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 om-

bres, dis-je, sont toujours colorées au lever et au coucher du Soleil. J'ai observé, pendant l'été de l'année 1743, plus de trente aurores et autant de soleils couchants; toutes les ombres qui tomboient sur du blanc, comme sur une muraille blanche, étoient 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 permettroit de donner le précis de cette observation.

Au mois de juillet 1743, comme j'étois occupé de mes couleurs accidentelles, et que je cherchois à voir le Soleil, dont l'œil soutient mieux la lumière à son coucher qu'à toute autre heure du jour, pour reconnoître ensuite les couleurs et les changements de couleurs causés par cette impression, je remarquai que les ombres des arbres qui tomboient sur une muraille blanche, étoient vertes. J'étois dans un lieu élevé, et le Soleil se couchoit dans une gorge de montagnes, en sorte qu'il me paroissoit fort

abaissé au-dessous de mon horizon : le ciel étoit serein, à l'exception du couchant, qui, quoique exempt de nuages, étoit chargé d'un rideau transparent de vapeurs d'un jaune rougeâtre; le Soleil lui-même étoit 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 étoient à vingt et trente pieds de la muraille blanche, colorées d'un vert tendre tirant un peu sur le bleu; l'ombre d'un treillage qui étoit à trois pieds de la muraille, étoit parfaitement dessinée sur cette muraille, comme si on l'avoit nouvellement peinte en vert-de-gris. Cette apparence dura près de cinq minutes, après quoi la couleur s'affoiblit 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 attendois, je les trouvai bleues, ou plutôt de la couleur de l'indigo le plus vif. Le ciel étoit serein, et il n'y avoit qu'un petit rideau de vapeurs jaunâtres au levant : le Soleil se levoit sur une colline, en sorte qu'il me paroissoit 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 avois vues la veille. Six jours se passèrent ensuite sans pouvoir observer les ombres au coucher du Soleil, par-

ce qu'il étoit toujours couvert de nuages. Le septième jour, je vis le Soleil à son coucher; les ombres n'étoient plus vertes, mais d'un beau bleu d'azur : je remarquai que les vapeurs n'étoient pas fort abondantes, et que le Soleil ayant avancé pendant sept jours, se couchoit derrière un rocher qui le faisoit disparoître 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 1745. Voici ce que je crois devoir y ajouter aujourd'hui (année 1773).

Des observations plus fréquentes m'ont fait reconnoître que les ombres ne paroissent 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, 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 é-

¹ *Dictionnaire de Chimie*, article de l'Air.

paisseur 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'avoient pas faite sur les ombres et sur les objets sombres vus de loin, n'avoit 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 dix mille toises de distance, puisse donner à l'ombre noire d'un treillage qui n'est éloigné de la muraille blanche que de trois 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 trois 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 étoit, on verroit 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 affoiblie 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 foible 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 pourrois ajouter plusieurs autres choses qui viendroient à l'appui de cette explication; mais je 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 laissent 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 tomboit 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 chai-

» ses 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, étoient
» 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, cel-
» le 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'é-
» clat; elles disparaissent si je ferme la porte à moi-
» tié. 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 expérien-
» ces dans cette saison, dans un temps où les rayons
» du Soleil tomboient obliquement sur la muraille
» qui fait angle avec celle où les ombres se colo-
» roient.»

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 auroient 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 reconnoissons : 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 de certaines circonstances, on sent de la chaleur long-temps avant que la lumière paroisse, et que, dans d'autres circonstances, on voit de la lumière long-temps 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 falloit auparavant tâcher de reconnoître celle de la lumière et celle de la

chaleur, qui sont les principes réels dont l'élément du feu nous paroît 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'étoient 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.

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, sont toujours en raison de leur

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'ensuivroit que leur état de dilatation où cette pesanteur spécifique est moindre, ne seroit pas le premier degré de leur état de fusion, ce qui néanmoins paroît 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.

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. Muschenbroëck en ayant fait de très-exactes sur la dilatation de différents métaux, j'ai comparé ses expériences avec les miennes, et j'ai vu, comme je m'y attendois, 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 pourroit se faire que la platine, comme je l'ai remarqué ci-devant, étant encore moins fusible que le fer, la dilatation y seroit 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 faudroit en avoir une masse d'un pouce de dia-

mètre trouvée dans la mine même : toute la platine que j'ai pu trouver en masse, a été fondue par l'addition d'autres matières, et n'est pas assez pure pour qu'on puisse s'en servir à des expériences qu'on ne doit faire que sur des matières pures et simples; et celle que j'ai fait fondre moi-même sans addition, étoit encore en trop petit volume pour pouvoir la comparer exactement.

Ce qui me confirme dans cette idée, que la platine pourroit être l'extrême en *non fluidité* de toutes les matières connues, c'est la quantité de fer pur qu'elle contient, puisqu'elle est presque toute attirable par l'aimant : ce minéral, comme je l'ai dit, pourroit 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 pourroit la perdre à un degré de froid beaucoup moindre, si on le réduisoit 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 190 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 reconnoître si le feu a une pesanteur sensible, il faudroit faire l'expérience sur de grandes masses pénétrées de feu, et les peser dans cet état, et qu'on trouveroit peut-être une différence assez sensible

pour qu'on en pût conclure la pesanteur du feu ou de la chaleur qui m'en paroît 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 reconnoître 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, paroît d'abord assez difficile, parce qu'une forte balance, et telle qu'il la faudroit pour supporter plusieurs milliers, ne pourroit être assez sensible pour indiquer une petite différence qui ne seroit 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 une 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 pencheroit aussi sensiblement pour une once trois gros quarante-un grains, ce qui est la différence proportionnelle de 1 à 10,000, ou qu'au contraire, si cette grosse balance indiquoit clairement cette différence, la petite balance n'indiqueroit 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, donneroit le *maximum* de préci-

sion 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 quatre pouces et demi et de cinq pouces de diamètre, que j'avois laissés refroidir dans ma balance ,¹ avoient perdu sept , huit et dix 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 connoître le poids , il n'est pas possible non plus de savoir combien cette perte diminue la pesanteur des boulets ; 3° je me

Voyez les expériences du premier Mémoire , pag. 6 et suiv. de ce volume.

suis aperçu que le fer demeure rouge et jette de petites étincelles bien plus long-temps qu'on ne l'imagine; car quoiqu'au grand jour il perde sa lumière et paroisse 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 laissoient quelque scrupule, parce que la balance dont je me servois alors, quoique bonne, ne me paroisoit 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 cinquante 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 reconnoître à peu près la pesanteur relative du feu. Cette balance, chargée de cinquante livres de chaque côté, penchoit assez sensiblement par l'addition de vingt-quatre grains; et, chargée de vingt-cinq livres, elle penchoit par l'addition de huit 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 les pas 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 provenoit 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 paroît 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 laissoit refroidir sans la toucher, elle s'est trouvée, après son refroidissement au degré de la température de l'air, qui étoit 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 jetoit aucune étincelle, aucune vapeur assez sensible pour ne devoir pas être regardée comme la pure émanation du feu. Ainsi l'on pourroit croire que la quantité de feu contenue dans cette masse de 49 livres 9 onces, étant de 2 onces, elle formoit 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 5 gros : ainsi le déchet de cette chaude, tant au feu qu'au marteau, étoit de 1 livre 10 onces 5 gros; et ayant fait donner une seconde et une troisième chaude à cette pièce pour achever la barre, elle ne pesoit 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 avoit reçu quatre volées de coups de marteau, et par conséquent toutes les chaudes nécessaires pour être entièrement et parfaitement forgée, et qui pesoit 14 livres 4 gros, ayant été chauffée à blanc, ne pesoit 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 étoit pénétrée, faisoit $\frac{1}{440}$ de son poids total.

Une seconde pièce de fer entièrement forgée, et de même qualité que la précédente, pesoit, 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, pesoit, froide, 13 livres 1 gros, et chauffée au dernier degré, en sorte qu'elle étoit 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 étoit de 16 degrés au-dessus de la congélation, elle ne pesoit 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 $\frac{1}{425}$ de sa masse.

III. Un morceau de fer en gueuse, pesé très-rouge, environ 20 minutes après sa coulée, s'est trouvé du poids de 53 livres 10 onces; et lorsqu'il a été refroidi, il ne pesoit plus que 53 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, pesoit 22 livres 8 onces 3 gros; et lorsqu'il a été refroidi, il ne pesoit 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 pesoit chaud 16 livres 6 onces 3 gros $\frac{1}{2}$, ne pesoit 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'étoit que d'un rouge couleur de cerise

lorsqu'on l'a pesée, et que par conséquent elle n'étoit 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 formoit du très-beau verre de couleur verdâtre.

Le premier morceau pesoit chaud 6 livres 14 onces 2 gros $\frac{1}{2}$, et refroidi il ne pesoit 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 $\frac{1}{2}$; ce qui donne $\frac{1}{572}$ pour la quantité dont il a diminué en se refroidissant.

Un quatrième morceau de laitier, qui étoit de verre solide et pur, et qui pesoit 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 $\frac{1}{553\frac{1}{2}}$ pour le poids de la quantité de feu dont il étoit 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 paroît 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 consomme au feu; il ne perd rien de son poids, et se trouve seulement peser $\frac{x}{570}$ 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'avois 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 connoître 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.

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 une 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 vus 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 long-temps, 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 paroît à un degré de chaleur au-dessous de celui qui est nécessaire pour la fusion de ces métaux. C'est de cette même ma-

nière 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 étoit 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 détache et les sépare.

Mais revenons à l'objet immédiat de nos expériences. Il me paroît 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 une livre de matière ignée pour donner à 600 livres de toute autre matière l'état d'incandescence jusqu'au rouge couleur de feu, et environ une 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 paroîtra nouvelle aux physiciens, et de laquelle on pourra tirer des conséquences utiles, ne nous apprend pas encore ce qu'il seroit 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 falloit 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 falloit brûler 300 livres de charbon

au vent de deux soufflets de dix 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 faudroit 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 reconnoître 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 seroit consistante et même refroidie à un certain point, pourroit 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^o. 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 étoit consolidée ; et en ayant fait casser deux morceaux, il est sorti de leur intérieur une petite quantité de fonte coulante ; à 8 heures 7 minutes, il y avoit 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'avoit pas encore prise en 6 minutes.

N^o. 3. Le 31 juillet, la gueuse a cessé de couler à midi 35 minutes ; sa surface, dans la partie du milieu, avoit pris sa consistance à 59 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 avoit remarqué que la fonte de cette gueuse étoit

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 étoit 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'a cassée, toute la fonte de l'intérieur s'est écoulee, et n'a laissé qu'un tuyau de 6 lignes d'épaisseur sous la face supérieure, et d'un 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 étoit naturel de s'y attendre, que la partie intérieure de la gueuse étoit moins consistante à mesure qu'on approchoit du fourneau, et que la cavité intérieure, produite par l'écoulement de la fonte encore liquide, étoit 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 sa queue, auprès de l'ouverture de la coulée; tandis que la tête de la gueuse n'est formée que de l'excédant 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 de 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 couloit de même au bout de 3 minutes $\frac{1}{2}$. Enfin la surface du troisième morceau, qui étoit le plus loin de la tête, et qui approchoit du milieu de la gueuse, a pris sa consistance en 1 minute $\frac{3}{4}$, et l'intérieur couloit encore très-abondamment au bout de 4 minutes.

Je dois observer que toutes ces gueuses étoient triangulaires, et que leur face supérieure, qui étoit la plus grande, avoit 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 for-

ment 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 étoient 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'étoient 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'étoient consolidés d'un pouce d'épaisseur sous cette même face; 4° que les morceaux du n° 3 s'étoient consolidés d'un pouce et demi d'épaisseur sous la même face; et enfin, que les morceaux du n° 1 s'étoient 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 1 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 consolidoit 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 auroit 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 connoissons. Il paroît 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 87 de ce volume).

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 reconnoître, par des observations exactes, quelle étoit 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 étoit égale à celle de la nuit quand le ciel est couvert : cette loupe, qui étoit fort enflammée, n'a cessé de donner de la flamme qu'au bout de 24 minutes; d'abord la flamme étoit blanche, ensuite rouge et bleuâtre sur la fin; elle ne paroissoit plus alors qu'à la partie inférieure de la loupe qui touchoit la terre, et ne se monroit que par ondulations ou par reprises, comme cel-

les d'une chandelle qui s'éteint. Ainsi la première incandescence, accompagnée de flamme, a duré 24 minutes; ensuite la loupe, qui étoit encore bien rouge, a perdu cette couleur peu à peu, et a cessé de paroître rouge au bout de 74 minutes, non compris les 24 premières, ce qui fait en tout 98 minutes : mais il n'y avoit que les surfaces supérieure et latérales qui avoient absolument perdu leur couleur rouge; la surface inférieure, qui touchoit à la terre, l'étoit 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 continuoit 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 fondoit et fusoit sans explosion, en donnant seulement une petite flamme bleue. De là je crus devoir conclure que l'incandescence à l'intérieur de la loupe n'avoit fini qu'alors, c'est-à-dire 42 minutes après celle de la surface, et qu'en tout elle avoit duré 140 minutes.

Cette loupe étoit de figure à peu près ovale et aplatie sur deux faces parallèles; son grand diamètre étoit de 13 pouces, et le petit de 8 pouces : elle avoit aussi, à très-peu près, 8 pouces d'épaisseur partout, et elle pesoit 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 45 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 étoit à peu près circulaire, sur 9 pouces de diamètre, et elle avoit environ 6 pouces d'épaisseur partout; 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 la loupe, tandis qu'elles durent encore aux surfaces latérales, et continuent de paroître assez long-temps 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 con-

servé 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 auroit subsisté plus long-temps 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 paroître rouge à sa surface qu'au bout de 46 minutes, y compris les 6 premières. Ayant ensuite fait l'épreuve avec 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 avoit 8 pouces d'épaisseur, a conservé son incandescence pendant 140 minutes; la seconde, qui avoit 6 pouces d'épaisseur, l'a conservée pendant 105 minutes; et la troisième, qui n'avoit 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 paroît 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 avoit, comme la précédente, 4 pouces juste d'épaisseur sur deux faces en carré; et 10 pouces $\frac{1}{4}$ de longueur; elle pesoit 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 voulois acquérir et démontrer par le fait, semble nous indiquer que les causes cachées (*cau-*

sæ latentés) 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 étoient entièrement et parfaitement perméables, et que rien ne s'opposât à son issue. Cependant on seroit 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 devroit être alors en plus grande raison que celle des épaisseurs ou des diamètres. J'ai donc essayé de reconnoître 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 commençoit à donner un peu de flamme; et qu'en la laissant au feu plus long-temps, le fer auroit brûlé. De là on l'a transportée tout de suite dans le même lieu obscur, où j'ai vu qu'elle ne donnoit aucune flamme; néanmoins elle n'a cessé de paroître rouge qu'au bout de 52 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 avoit perdu au feu 8 onces de son poids, et elle en auroit 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'avoient point été comprimées par le marteau, l'épaisseur étant de six 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 paroît 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 $\frac{1}{14}$ ou $\frac{1}{18}$ de différence produite par cette première

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 $\frac{1}{12}$ au lieu de $\frac{1}{18}$ 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 un pouce de profondeur, il se trouvera 56 minutes pour un

piéd, 216 minutes pour une toise, $3\frac{1}{2}$ jours pour une lieue, et 490,086 jours, ou environ $13\frac{1}{2}$ ans, pour qu'un globe de fonte de fer qui auroit, comme celui de la Terre, 1432 lieues $\frac{1}{2}$ de demi-dia-mètre, 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 paroît plutôt trop foible 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 tout en feu, n'étoit 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 $13\frac{1}{2}$ ans pour le temps employé à la consolidation du globe jusqu'au centre. Mais il me paroît certain que cette estima-

tion du temps est de beaucoup trop foible, 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 du 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'environnoit, étoit 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, ¹ qu'un globe de fer gros comme la Terre, pénétré de feu seulement jusqu'au rouge, seroit plus de 96,670 ans à se refroidir, auxquels ajoutant 2 ou 3000 ans pour le temps de sa consolidation jusqu'au centre, il résulte qu'en tout il faudroit environ 100,000 ans pour refroidir au point de la température actuelle un globe de fer

¹ Page 20 de ce volume.

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.

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 trouvois pas assez instruit dans la connoissance des minéraux , que je n'étois pas satisfait de ce qu'on en dit dans les livres , que j'avois bien de la peine à entendre ceux qui traitent de la chimie , où je voyois 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., 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 pourroit 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 paroissent 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 reconnoît 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 met-

tant 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 grains, 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 perpendiculaires ; toujours épais de plusieurs pieds, et quelquefois de quelques toises ; on les travaille comme on travailleroit 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 détriment 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 su-

bi l'action du feu, ou plutôt celle de l'air par le moyen du feu; car, ayant fait griller 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'avoient point du tout acquis la vertu magnétique.

On pourroit ajouter à ces mines en grains 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 grains, d'autant que ces dernières mines sont celles qu'on exploite le plus communément dans nos forges de France.

La première chose que j'ai trouvée, et qui me paroît être une découverte utile, c'est qu'avec une mine qui donnoit 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 alloit faire cesser le feu d'un fourneau à fondre la mine de fer, qui duroit depuis plus de quatre mois. Ce fourneau, d'environ 20 pieds de hauteur, et de 5 pieds et demi de largeur à sa cuve, étoit bien échauffé, et n'avoit été chargé que de cette mine, qui avoit 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'étois 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 hale, je substituai aux soufflets un ventilateur simple, qui n'étoit qu'un cône creux, de 24 pieds de longueur sur 4 pieds de diamètre au gros bout, et trois 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 continuoit à charger de charbon et de mine, comme si l'on eût voulu continuer à couler; les charges descendoient bien plus lentement, parce que le feu n'étoit plus animé par le vent des soufflets; il l'étoit seulement par un courant d'air que le ventilateur tiroit d'en haut, et qui, étant plus frais et plus

dense que celui du voisinage de la tuyère, arrivoit 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 laissoient au-dessus. Au bout de quinze ou seize heures, il se forma des 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 portoient 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 provenoient n'étoient pas toutes de la même qualité; les unes étoient de fer, les autres d'a-

cier, 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 de ciseaux par des ouvriers qui trouvèrent cet acier aussi bon que celui d'Allemagne. Les barres qui n'étoient que de fer étoient 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 étoit tout nerf, et ne pouvoit se séparer qu'en se déchirant par le plus grand effort. En le comparant au fer que donne cette même mine fondue en gueuse à la manière ordinaire, on ne pouvoit se persuader qu'il provenoit de la même mine, dont on n'avoit jamais tiré que du fer à gros grain, sans nerf et très-cassant.

La quantité de mine que j'avois employée dans cette expérience, auroit dû produire au moins 1200 livres de fonte, c'est-à-dire environ 800 livres de fer, si elle eût été fondue par la méthode ordinaire, et je n'avois obtenu que 280 livres, tant d'acier que de fer, de toutes les loupes que j'avois réunies; et en supposant un déchet de moitié du mauvais fer au bon, et de trois quarts du mauvais fer à l'acier; je voyois que ce produit ne pouvoit équivaloir qu'à 500 livres de mauvais fer, et que, par conséquent, il y avoit eu plus du quart de mes quatre milliers de mine qui s'étoit 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 étoit d'un tiers plus petite que celle du premier. Il falloit, 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 5400 livres de charbon, au lieu que, dans mes petits fourneaux, il ne falloit que 900 livres de charbon pour remplir le premier, et 600 livres pour remplir le second; ce qui diminueoit 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 étoient 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 étoit 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 étoit de 11 pieds : de sorte que l'ouverture supérieure se trouvoit 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

étoit surbaissée en forme de voûte ou de lunette, dont le sommet ne s'élevoit 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 laissoit 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 étoient placés de manière que leur face antérieure, dans laquelle étoient les ouvertures en lunette, se trouvoit 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 pouvoit être posé de manière qu'il recevoit sans cesse un air frais par le mouvement des roues; il portoit cet air au fourneau auquel il aboutissoit par sa pointe, qui étoit une buse ou tuyau de fer de forme conique, et d'un pouce et demi 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 étoient carrées, et que c'étoit sur ces ouvertures qu'il falloit les poser; et quoique ces tuyaux fussent faits d'une tôle assez légère, sur un châssis de fer mince, ils ne laissoient pas d'être pesants, et même embarrassants par leur volume, surtout quand ils étoient fort échauffés : quatre hommes avoient assez de peine pour les déplacer et les replacer; ce qui cependant étoit nécessaire toutes les fois qu'il falloit 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 seroit 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'étoit 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 donna de l'acier par les mêmes procédés que la première, qui ne m'avoit 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'avoit 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 connoître la nature. Ces trois espèces de mines étoient, à la vérité, toutes les trois en grains plus ou moins fins; je n'étois 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 différentes mines en grains, 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, pourroient donner également de l'acier en les traitant comme j'ai traité les mines en grains. 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

avoit des mines qui avoient 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 grains, telles que celles de Bourgogne, de Champagne, de Franche-Comté, de Lorraine, du Nivernois, 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 connoissant 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 étoient de la même nature, et contenoient, 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 avoit beaucoup de soufre dans nos mines de fer, tandis que toutes les mines en grains 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 grains 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 donneroient 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 grains, qui se fait, pour ainsi dire, à fleur de terrain, et sans autres instruments 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 grains se trouvent naturellement; et comme cette mine concassée contient une grande quantité de soufre, elle ne produiroit que de très-mauvais fer si on ne prenoit 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, rendroit 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 forge ; 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 de 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'écarterois trop de mon sujet si j'entrois 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 mines 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 seroit donc fondé à croire que j'ai toujours employé la même mine, qui, toujours traitée de la même façon, m'auroit 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 connoître la qualité des mines qu'ils emploient.

Nos mines de fer en grains 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 calcaire, dans d'autres de nature vitrifiable, et quelquefois mêlé de l'une et de l'autre; je n'ai pas vu qu'il y eût aucun autre mélange dans les sept es-

pièces de mines que j'ai traitées et fondues avec un égal succès. Pour reconnoître 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 desséchement. 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 autre 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 connoître leur quantité relative à celle de la mine.

Cette première partie du mélange de la mine étant connue et son poids constaté, il restera les grains de mine 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 connoitra 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 grains. Par exemple, la mine dont je me suis servi pour la première expérience de ce

Mémoire, contenoit par once 1 gros $\frac{1}{2}$ de terre dé-ayée 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 reconnoître, 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'auroit pu dissoudre, et qui par conséquent ne seroient pas calcaires. Dans celle dont je viens de parler, il n'y en avoit point du tout, et dès-lors j'étois assuré que sur une quantité de 576 livres de cette mine, il y avoit 282 parties de mine de fer, 127 de matière calcaire, et le reste de terre qui peut se délayer à l'eau. Cette connoissance 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'étoit point dissoluble à l'eau-forte, et dont par conséquent la nature n'étoit pas calcaire, mais vitrifiable; et les deux autres, qui étoient à plus gros

grains de fer que les cinq premières, contenoient des graviers calcaires en assez petite quantité, et des petits cailloux arrondis, qui étoient de la nature de la calcédoine, et qui ressembloient par la forme aux chrysalides des fourmis : les ouvriers employés à l'extraction et au lavage des mines, les appeloient *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, seroient 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, tirer 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 tirées ; je suppose aussi que par des épreuves semblables à celles que je viens d'indiquer on connoisse 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 foncés de fer et percés de petits trous comme ceux qu'à proposés M. Robert, et qui sont très-bien 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 pure pour qu'on la puisse fondre avec économie. Mais ces mines, dont les grains

¹ *Méthode pour laver les mines de fer*, in-12, Paris, 1757.

sont plus gros et plus durs que ceux des sables ou petits cailloux qui y sont mélangés, sont assez rares. Des sept espèces de mines que j'ai eu occasion de traiter, il ne s'en est trouvé 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 contenoit 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 laissoient pas d'écraser une assez grande quantité de grains de mine, qui, dès-lors, passaient avec le sable et tomboient 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 étoit obligé de mêler à ses mines, et qu'il dit être d'un tiers de la mine,¹ prouve qu'il restoit encore, après le lavage, une portion considérable de sablon vitrifiable, ou de terre vitrescible, dans ses mines ainsi lavées; car il n'auroit 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 dépouillées de la terre grasse ou du sable vitrifiable qu'elles contenoient.

Au reste, il n'étoit 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 avoit

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 mines, 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 passoit neuf fois de suite à l'eau; et à mesure que le courant vif de l'eau emportoit la terre et le sablon le plus léger et le plus petit, on faisoit passer la mine dans des 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 criblant trois fois, on parvenoit à ne laisser dans ces mines qu'environ un cinquième ou un sixième de ces petits cailloux ou sablons vitrescibles, et c'étoient ceux qui, étant de la même grosseur que les grains de la mine, étoient aussi de la même pesanteur, en sorte qu'on ne pouvoit 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 étoit assez nette pour pouvoir être mise au fourneau; et comme elle étoit encore mêlée d'un cinquième ou d'un sixième de matières vitrescibles, on pouvoit 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 restoient 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 étoit profitable: il en coûtoit vingt sous pour vanner et cribler quinze cents pesant de mine; mais on épargnoit 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 au crible et les vanner avantageusement. Il y a très-peu de matières qui retiennent l'humidité aussi long-temps que les mines de fer en grains: ¹

¹ Pour reconnoître 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, trois cents livres de celle qui avoit été la mieux lavée, et qui s'étoit déjà séchée à l'air; et ayant pesé cette mine au sortir du four, elle ne pesoit plus que deux cent cinquante-deux 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 grilloit à un feu plus violent, elle perdrait encore plus.

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 trois ou quatre 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 cents 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 trouveroit par la moindre consommation de charbon, dédommageroit 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 auroit 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 reconnoître 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 contenoit 1 gros 55 grains de sable calcaire, sur 3 gros 66 grains de fer en grains, et dont il s'étoit perdu 59 grains dans les lotions et la dissolution, étoit par conséquent mélangée d'environ un tiers de castine ou de matière calcaire, sur deux tiers de fer en grains. 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 *aubuë*, 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'étoit l'usage dans le pays avant moi, elle ne produisoit qu'une mauvaise fon-

te qui cassoit 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'aubuë pour la fondre avec avantage. On doit préférer cette terre aubuë 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 pourroient faire le même effet, mais qui exigeroient plus de charbon pour se fondre. D'ailleurs cette terre aubuë 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 pourroit 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 aubuë 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 en-

suite 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'aubuë suffira pour la faire couler et la préserver de l'action trop subite du feu, qui ne manqueroit 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'aubuë 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 grains, 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 reconnoitra par les laitiers si la proportion de la castine ou de l'aubuë 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 1 livre 7 onces $\frac{1}{2}$, ou tout au plus 1 livre 8 onces de charbon pour 1 livre de fonte; car, avec 2880 livres de charbon, lorsque mon fourneau est pleinement aminé, j'obtiens constamment des gueuses de 1875, 1900 et 1950 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, consommoit néanmoins 1 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°. La cheminée du fourneau, depuis la cuve jusqu'au gueulard, doit être circulaire, et non pas à huit pans, comme étoit 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°. 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 consommoit 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°. 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 1925 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 deux pouces au-dessous, il faut, suivant la nature de la mine, répandre une portion de la castine ou de l'aubué, 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 pelottes. 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 circonférence 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°. 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 soufflet 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 soufflet 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 l'aplomb, 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'a-

vec précaution, en se tenant toujours au-dessous de la quantité qu'on pourroit 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 grains, 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 mines différentes : mais je n'ai garde d'assurer de même que les mines de fer en roche donneroient, comme celles en grains, 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 demanderoient à être traitées dans des petits fourneaux presque ouverts, ou à la manière des forges des Pyrénées : mais comme toutes les mines en grains, 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 grains 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 grains, les procédés que je viens de donner pour le traitement de ces mines en grains, 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 connoissent 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 pouvoit en avoir le grain pur et sans aucun mélange, tous les fers, dans tout pays, seroient exactement de la même qualité: je me suis assuré, par un grand nombre d'essais, que toutes les mines en grains, ou plutôt que 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 grains, 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 n'en sépare pas avant de les faire fondre. La seule différence que j'ai 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 ; ils n'augmentent 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 grains très-menus sont ordinairement les plus riches ; j'en ai tiré jusqu'à 49 et 50 par 100 de fer en gueuse, et je suis persuadé que si je les avois épurées en entier, j'aurois obtenu plus de 60 par 100 ; car il y restoit environ un cinquième de sable vitrescible aussi gros et à peu près aussi pesant que le grain, et que je n'avois pu séparer ; ce cinquième déduit sur 100, reste 80, dont ayant tiré 50, on auroit par conséquent obtenu $62 \frac{1}{2}$. On demandera peut-être comment je pouvois m'assurer qu'il ne restoit qu'un cinquième de matières hétérogènes dans la mine, et comment il faut faire en général pour reconnoître 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 personne attentive, once par once, et lui en faire trier tous les grains un à un ; ils sont toujours très-reconnoissables 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 reconnoître 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 70 et même 75 et davantage de fer en gueuse par 100 : cela semble prouver que ces mines en roche sont en effet plus abondantes en fer que les mines en grains. 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 50 pour 100 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; et les ayant comparées à

« La terre d'Allevard est composée du bourg d'Allevard
 » et de cinq paroisses, dans lesquelles il peut y avoir près de
 » 6000 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 mon-
 » tagnes 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 tou-
 » tes répandues dans le cœur des roches, où elles forment

la balance hydrostatique avec nos mines en grains, 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 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 50 pour 100,¹ cette mine est toute différente de nos mines en grains, 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

» 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. »

¹ Cette mine est brune, fait feu avec le briquet, et est minéralisée par l'acide marin : on remarque dans sa fracture des petits points brillants de pyrites martiales ; dans les fentes, on trouve des cubes de fer de deux lignes de diamètre, dont les surfaces sont striées ; les stries sont opposées suivant les faces. Ce caractère se remarque dans les

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'aurois 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'imagineroit. Lorsqu'on veut fondre une nouvelle mine, et en comparer au juste le produit avec celui des mines dont on usoit précédemment, il faut prendre le temps où le fourneau est en plein

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 600 grains de cette mine vingt gouttes d'eau insipide et très-claire : j'avois enduit d'huile de tartre par défaillance, le récipient que j'avois 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 étoit d'un rouge pourpre et avoit diminué de 10 livres par quintal.

J'ai retiré de cette mine 52 livres de fer par quintal; il étoit très-ductile.

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 charger 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 coulée en coulée, 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 peut en supporter sans s'obstruer; et par ce moyen, au lieu de 400 milliers de bonne fonte qu'ils feroient en quatre mois, ils en font, dans ce même espace de temps, 5 ou 600 milliers. Cette fonte, toujours très-cassante et très-blanche, ne 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 pourroit et qu'on devroit 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 10 francs par millier, produit une différence de 15 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 25 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 10 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 15 francs par millier de fer , c'est-à-dire environ 2000 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 y obéira en consultant mes écrits , et l'on sera fâché d'avoir attendu si long-temps à faire un bien qu'on pourroit 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 faudroit pour les cañons de la marine, mais seulement de la fonte assez bonne pour faire du fer liant, moitié nerf et moitié grain, du fer, 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 reconnoître en même temps si elle ne varie pas, mes gardes-fourneaux ne manquent jamais de faire un petit enfoncement horizontal d'environ trois 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 connois 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 harnois 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 résistance, 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 pourroit 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 reconnoîtra 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 cheminée, 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 qu'elle soit. On peut même reconnoître 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 sonneroit 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 lin-

gots 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 foudant, c'est-à-dire sans castine, dans des petits fourneaux dont je parlerai dans la suite; et on en 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 pourroit l'appeler *fer à 24 karats* : 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 feroit perdre en peu de temps le sens de l'ouïe. On assure, d'autre côté, que les canons de fer battu, sur lesquels on pourroit, 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 paroîtroit devoir les faire préférer ; l'explosion les fait sauter dans les sa-

bords, 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 pouvoit y parer, nul doute que les canons de fer forgé ne dussent être préférés à ceux de fer coulé : ils auroient moitié plus de légèreté et plus du double de résistance. Le maréchal de Vauban en avoit fait fabriquer de très-beaux, dont il restoit encore, ces années dernières, quelques tronçons à la manufacture de Charleville.¹ Le travail n'en seroit pas plus

¹ Une personne très-versée dans la connoissance de l'art des forges m'a donné la note suivante :

« Il me paroît que l'on peut faire des canons de fer battu, qui seroient beaucoup plus sûrs et plus légers que les canons de fer coulé, et voici les proportions sur lesquelles il faudroit en tenter les expériences.

» Les canons de fer battu, de quatre livres de balle, auroient 7 pouces $\frac{1}{2}$ d'épaisseur à leur plus grand diamètre ;

» Ceux de huit, 10 pouces ;

» Ceux de douze, 11 pouces ;

» 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 foibles : peut-être pourra-t-on les réduire à 6 pouces $\frac{1}{2}$ pour les canons de quatre ; 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.

» On pourroit même diminuer ces proportions de lon-

difficile que celui des ancrés; et une manufacture aussi bien montée pour cet objet que l'est celle de M. de la Chaussade, pour les ancrés, pourroit être d'une très-grande utilité.

» gueur 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-six, à 8 pieds, et peut-être même encore au-dessous.

» Or, il ne paroît pas bien difficile, 1° de faire des canons de quatre livres qui n'auroient que 5 pieds de longueur sur 6 pouces $\frac{1}{2}$ d'épaisseur dans leur plus grand diamètre; il suffiroit 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 seroit pas praticable dans les chaufferies ordinaires, ou du moins que cela deviendroit très-difficile, il faudroit établir des fourneaux de réverbère, où l'on pourroit 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 et $\frac{1}{2}$ d'épaisseur, il faudroit souder ensemble neuf barres de 3 pouces foibles 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 balle qui doivent avoir 10 pouces $\frac{1}{2}$ d'épaisseur, on pourra les faire avec neuf

1 A Guérigny, 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 ré-

» barres de 3 pouces $\frac{1}{2}$ carrées, 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 20 francs le quintal les canons de fer coulé, il faudra donc payer ceux-ci 60 livres le quintal; mais comme ils seront beaucoup plus minces que ceux de fer coulé, je crois qu'il seroit possible de les faire fabriquer à 40 livres le quintal, et peut-être au-dessous.

» Mais quand même ils coûteroient 40 livres, il y auroit encore beaucoup à gagner : 1° pour la sûreté du service, car ces canons ne creveroit pas; ou s'ils venoient à crever, ils n'éclateroient jamais, et ne feroient que se fendre, ce qui ne causeroit aucun malheur.

» 2°. Ils résisteroient beaucoup plus à la rouille, et dureront pendant des siècles; ce qui est un avantage très-considérable.

» 3°. Comme on les foreroit aisément, la direction de l'arme en seroit parfaite.

» 4°. Comme la matière en est homogène partout, il n'y auroit jamais ni cavités ni chambres.

» 5°. Enfin, comme ils seroient beaucoup plus légers, ils chargeroient beaucoup moins, tant sur mer que sur terre, et seroient plus aisés à manoeuvrer. »

sistance; 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 pour la suite, informé que je faisais à mes forges des expériences sur la qualité de la 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 restoient 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 étoit dans le préjugé qu'il falloit 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 2500 ou tout au plus 3000 livres, et que la matière en fusion ne séjourne jamais que douze ou quinze heures dans le creuset du fourneau, on imaginoit que le double ou le triple de cette quantité de matière en fusion, qu'on seroit obligé de laisser pendant trente-six ou quarante heures dans le creuset avant de la couler, non-seulement pouvoit détruire le creuset, mais même le fourneau, par son bouillonnement et son explosion; au moyen de quoi on avoit pris le parti qui paroissoit le plus prudent, et on couloit 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 pouvoient 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 trouvent nécessairement d'une matière moins bonne et plus foible 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 foible. Je voulus donc essayer et voir en effet s'il y avoit quel que 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 avoit 18 pouces de largeur sur 4 pieds de longueur et 18 pouces de hauteur, fût 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 4600 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 étoit très-

mal fondé, je proposai de réduire à un seul les fourneaux de Ruelle en Angoumois,¹ où l'on fond nos gros canons : ce conseil fut suivi et exécuté par ordre du ministre; on fondit sans inconvénient et avec tout succès, à un seul fourneau, des canons

¹ 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 paroît 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 seroient 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 paroît donc qu'il faudroit tâcher de fondre les canons de fer coulé avec un seul fourneau, et je crois la chose très-possible.

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 réussiroit également. Ce premier point une fois obtenu, je cherchai s'il n'y avoit pas encore d'autres causes qui pouvoient 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 composoit 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 devoient 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 foibles, mais aussi d'une bien moindre durée. Pour peu qu'on soit versé dans la connoissance 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 trois lignes d'épaisseur dans les petites pièces, et à une ligne et demie 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 divergens dont je viens de parler, qui sont les lignes par où se feroit la rupture; elle sert de cuirasse au canon, elle en est la partie la plus pure, et, par sa grande dureté, elle contient toutes les parties intérieures qui sont plus molles, et céderoient sans cela plus aisément à la force de l'explosion. Or, que fait-on lorsque l'on tourne les canons? On commence par enlever au ciseau, poussé par le marteau, toute cette surface extérieure que les couteaux du tour ne pourroient entamer; on pénètre dans l'intérieur 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 portoit 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 foible 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 plu-

sieurs 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 paroissent décisives. Pendant l'été dernier 1772, j'ai fait tremper dans l'eau de la rivière, qui étoit assez chaude pour s'y baigner, toutes les barres de fer qu'on forgeoit à un des feux de ma forge; et comparant ce fer avec celui qui n'étoit pas trempé, la différence du grain n'en étoit pas sensible, non plus que celle de leur résistance à la masse lorsqu'on les cassoit. 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 étoit presque glacée partout, est non-seulement devenu fragile, mais a perdu en même temps tout son nerf, en sorte qu'on auroit cru que ce n'étoit 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 autre trempe à froid, ni en conclure qu'elle rend cette couche extérieure beaucoup plus cassante qu'elle ne le seroit sans cela. Je supprime plusieurs autres raisons que je pourrois alléguer, parce que la chose me paroît assez claire.

Un autre objet, et sur lequel il n'est pas aussi 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 faisoit autrefois; et dans ce temps nos canons crevoient 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 penserois donc, par cette première raison, que les canons forés doivent être préférés aux canons à noyau. Si l'on pouvoit 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 trouvoit 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 auroient un grand avantage sur les autres, parce que, dans ce cas, la surface intérieure se trouveroit trempée comme la surface extérieure, et dès-lors la résistance de la pièce se trouveroit bien plus grande. Mais notre art ne va pas jusque-là; on étoit 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 plein 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 faudroit 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; que, 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 plein, 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 plein. 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 feroit bien d'essayer si, par le moyen des événements que je viens de proposer, on n'arriveroit pas au point de rendre les pièces coulées à 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 seroient alors d'une plus grande résistance que les autres, auxquels on peut d'ailleurs, faire quelques reproches par les raisons que je vais exposer.

Plus la fonte du 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; ' ils ont changé l'usage où l'on étoit de faire de la fonte dure, et n'ont

' 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 avoit toutes les qualités requises pour faire de bons canons, ils se déterminèrent à établir des mouleries, fonderies, décapiteries, centreries, foreries, et les tours nécessaires pour tourner extérieurement les pièces. Les entrepreneurs, après avoir formé leur établissement, ont mis les deux fourneaux en feu le 29 janvier 1765; 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 étoient *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 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 11,550 livres de la mine de Noyal, 5390 livres de la mine de la Ferrière, et 3600 livres de la mine des environs, faisant en tout 18,540 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 18,700 livres de mine de Noyal, et de 2720 livres de mine des environs, en tout 21,420 livres. Ceci démontra à M. Maritz l'impossibilité qu'il y avoit de fondre avec

fait couler que des fontes tendres, qu'ils ont appelées *douces*, pour qu'on en sentît moins la diffé-

de la mine de Noyal seule; car, même avec ce mélange, l'intérieur du fourneau s'embarrassa au point que le laitier ne couloit plus, et que les ouvriers avoient 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 pourroit se fondre sans être alliée avec une espèce plus chaude, la fonte qui en proviendrait ne seroit 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 11,880 livres de mine de Noyal, de 7200 livres de mine de Phlemet, et de 2880 livres de mine des environs, en tout 21,960 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 avoit fait venir des forges d'Angoumois.

Cette dernière pièce *se forage 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 forges ne pouvoient 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.

rence. 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 devoit 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 5558 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 pouvoit pas reconnoître sur les tranches de ces morceaux, parce qu'ils avoient été sciés avec de l'émeril ou quelque autre matière qui remplissoit les pores extérieurs. Ayant pesé cette fonte à la balance hydrostatique, je trouvai qu'elle étoit trop légère, qu'elle ne pesoit que 461 livres le pied cube, tandis que celle que l'on couloit alors à mon fourneau en pesoit 504, et que quand je la veux encore épurer, elle pèse jusqu'à 520 livres le pied cube. Cette seule épreuve pouvoit me suffire pour juger de la qualité plus 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 canons, 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 fu-

rent refroidies , j'en examinai la couleur et le grain en les faisant casser à la masse. J'en trouvai , comme je m'y attendois , la couleur plus grise et le grain plus fin. La matière ne pouvoit manquer de s'épurer par cette seconde fusion : et en effet, l'ayant portée à la balance hydrostatique, elle se trouva peser 469 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 canons, 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 495 livres le pied cube.*

* Ces morceaux de fonte envoyés du fourneau de Ruelle étoient de forme cubique de trois pouces, foibles dans toutes leurs dimensions. Le premier marqué *S*, pesoit dans l'air 7 livres 2 onces 4 gros $\frac{1}{2}$, c'est-à-dire 916 gros $\frac{1}{2}$. Le même morceau pesoit 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, pesoit 130 gros. L'eau dans laquelle il a été pesé, pesoit elle-même 70 livres le pied cube. Or, 130 gros : 70 livres :: 916 gros $\frac{1}{2}$: 495 livres $\frac{2}{3}$, poids du pied cube de cette fonte. Le second

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, 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'étoient que de médiocre qualité, qu'une pareille fonte n'a pas assez

morceau, marqué *P*, pesoit dans l'air 7 livres 4 onces 1 gros, c'est-à-dire 929 gros. Le même morceau pesoit 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, pesoit 131 gros. Or, 131 gros : 70 livres :: 929 gros : 496 livres $\frac{3}{31}$, poids du pied cube de cette fonte. On observera que ces morceaux qu'on avoit voulu couler sur les dimensions d'un cube de 3 pouces étoient trop foibles : ils auroient dû contenir chacun 27 pouces cubiques; et par conséquent le pied cube du premier n'auroit pesé que 458 livres 4 onces; car 27 pouces : 1728 pouces :: 916 gros : 458 livres 4 onces, et le pied cube du second n'auroit pesé que 464 livres $\frac{1}{4}$, au lieu de 493 livres $\frac{3}{31}$, et de 496 livres $\frac{3}{31}$.

† MM. de Souville et de Vialis.

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 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 étoient 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 étoit 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 foibles, 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, seroit d'en faire peser la fonte à la balance hydrostatique : en coulant le canon, l'on mettroit à part un morceau de la fonte; lorsqu'il seroit refroidi, on le pèseroit dans l'air et dans l'eau; et si la fonte ne pesoit pas au moins 520 livres le pied cube, on rebueroit la pièce comme non recevable : l'on épargneroit la poudre, la peine des hommes, et on banniroit 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 seroit également assuré de sa résistance; et si nos canons étoient faits avec de la fonte pesant 520 livres le

pieu cube, et qu'on ne s'avisât pas de les tourner ni de toucher à leur surface extérieure, j'ose assurer qu'ils résisteroient et dureroient 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 connoissant une fois la bonté de la fonte, il suffiroit, pour s'assurer du reste, de faire éprouver une seule fois, et à la charge ordinaire, les canons nouvellement fondus, et l'on seroit 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 : ' mais je dirai seulement que la soudure 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 pourroient 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

« 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 man-
 » que 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'obligeroit à l'abandonner
 » si je n'y parvenois; mais pourquoi ne pas le tenter? Beau-
 » coup 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 assem-
 » blage de barres inflexibles, que leur forme, leur position
 » et leur roideur rendent inutiles. La spirale n'a pas les mê-
 » mes défauts; elle se prête à toutes les formes que prend
 » la matière; elle s'affaisse 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 en-
 » veloppe presque toute l'épaisseur du canon, et dès-lors
 » s'oppose à sa rupture avec une résistance de près de 30,000

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 connoissances nécessaires en ce genre, n'ait abouti qu'au détriment de sa fortune. Comme je vis éloigné de lui, j'écris 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 connois personne qui entende mieux ce dont il est ici question. Si l'on mettoit en masse, dans ce

» livres de force. Si la fonte éprouve une plus grande dila-
» tation que le fer, elle résiste avec toute cette force ; si cette
» dilatation est moindre, la spirale ne reçoit que le mouve-
» ment qui lui est communiqué. 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'ame des canons, on n'a pas aug-
» menté 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'ail-
» leurs s'opposent aux vibrations des cercles. La spirale que
» j'ai mise dans un canon de six, foré et éprouvé au calibre
» de douze, ne pesoit que 83 livres ; elle avoit 2 pouces de
» largeur et 4 lignes d'épaisseur. La distance d'une hélice à
» l'autre étoit aussi de 2 pouces ; elle étoit roulée à chaud sur
» un mandrin de fer. »

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 reconnoître la résistance de la fonte par sa pesanteur spécifique; il a aussi cherché à perfectionner l'art de la moulerie 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 servoit auparavant, la surface des canons étoit toujours chargée d'aspérités et de rugosités; M. de Montalembert avoit trouvé le moyen de faire des moules en sable qui donnoient à la surface du canon tout le lisse et même le luisant qu'on pouvoit désirer. Ceux qui connoissent 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.¹

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 seroit 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 na-

Une attention très-nécessaire lorsque l'on coule du canon, c'est d'empêcher les écumes 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 pourroit 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'écume. 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 étoit dense et compacte, il n'y en auroit

typiquement avec l'outil à langue de carpe, tandis qu'avec l'outil à cylindre il faut employer continuellement 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 faudroit s'attacher à perfectionner la moulerie. 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 mouleries 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 recuire 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 moulerie 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

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 cou-

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 les 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.

lée, 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 paroît qu'en France on a souvent fondu les canons avec des 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 pourroit 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 connoissance, avec celle de la Nouée en Bretagne, dont j'ai parlé, et où je crois que le travail est cessé : dans toutes quatre, je crois qu'on ne s'est servi et qu'on ne se sert encore que de mines 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 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 paroît 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 paroît, à
» cause de ses faces unies et luisantes, avoir quel-
» que 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 paroît
» 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'a-
» bondance des crasses qui s'en séparent, l'agglu-
» tine à l'ouvrage du fourneau. Cette mine ne pa-
» roît pas avoir de ressemblance bien caractérisée
» avec celle dont Swedenborg a parlé.

» On emploie encore un grand nombre d'autres
» espèces de mines ; mais elles ne diffèrent des pré-
» cédentes 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 abon-
» dante dans les minières : elle est aisée à tirer ; on

» l'enlève comme la terre. Elle est jaune, et quel-
 » quefois mêlée de petites grenailles; elle fournit
 » peu de fer; elle est très-douce. On peut la ran-
 » ger 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 don-
 » ne beaucoup quand on le frappe avec l'acier. Il
 » est d'un jaune clair, fort dur: il tient quelque-
 » fois 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 com-
 me je l'ai dit, les mines en roche, et qui se trou-
 vent en grandes masses solides, doivent leur ori-
 gine à l'élément du feu, néanmoins il se trouve
 aussi plusieurs mines de fer en assez grosses mas-
 ses, qui se sont formées par le mouvement et l'in-

termède 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 pourroit 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 arriveroit au point que la pièce ne feroit que se fendre au lieu d'éclater par une trop forte charge. Si l'on obtenoit une fois ce but, il ne nous resteroit plus rien à craindre ni rien à désirer à cet égard.

TABLE DES ARTICLES

CONTENUS DANS CE VOLUME.

Suite de l'INTRODUCTION A L'HISTOIRE DES MINÉRAUX.	p. 5
<i>Partie expérimentale.</i>	<i>ib.</i>
I ^{er} Mémoire. Expériences sur le Progrès de la Chaleur dans les corps.	6
II ^e Mémoire. Suite des Expériences sur le Pro- grès de la chaleur dans les différentes sub- stances minérales.	36
III ^e Mémoire. Observations sur la nature de la Platine.	164
IV ^e Mémoire. Expériences sur la ténacité et sur la décomposition du fer.	206
V ^e Mémoire. Expériences sur les effets de la Chaleur obscure.	237
VI ^e Mémoire. Expériences sur la Lumière et sur la chaleur qu'elle peut produire.	270
ART. I ^{er} .. Invention de miroirs pour brûler à de grandes distances.	<i>ib.</i>
II.. Réflexions sur le jugement de Descar- tes, au sujet des miroirs d'Archimè- de, etc.	301
III. Invention d'autres miroirs pour brû- ler à de moindres distances.	364
Explication des figures que représentent le four- neau, etc.	387
VII ^e Mémoire. Observations sur les Couleurs ac- cidentelles et sur les Ombres colorées.	398
VIII ^e Mémoire. Expériences sur la pesanteur du Feu, et sur la durée de l'incandescence.	422
IX ^e Mémoire. Expériences sur la Fusion des mi- nes de fer.	459
X ^e Mémoire. Observations et expériences faites dans la vue d'améliorer les canons de la marine.	507

FIN DE LA TABLE DU TOME TROISIÈME.



ORIENTAÇÕES PARA O USO

Esta é uma cópia digital de um documento (ou parte dele) que pertence a um dos acervos que fazem parte da Biblioteca Digital de Obras Raras e Especiais da USP. Trata-se de uma referência a um documento original. Neste sentido, procuramos manter a integridade e a autenticidade da fonte, não realizando alterações no ambiente digital – com exceção de ajustes de cor, contraste e definição.

1. Você apenas deve utilizar esta obra para fins não comerciais. Os livros, textos e imagens que publicamos na Biblioteca Digital de Obras Raras e Especiais da USP são de domínio público, no entanto, é proibido o uso comercial das nossas imagens.

2. Atribuição. Quando utilizar este documento em outro contexto, você deve dar crédito ao autor (ou autores), à Biblioteca Digital de Obras Raras e Especiais da USP e ao acervo original, da forma como aparece na ficha catalográfica (metadados) do repositório digital. Pedimos que você não republique este conteúdo na rede mundial de computadores (internet) sem a nossa expressa autorização.

3. Direitos do autor. No Brasil, os direitos do autor são regulados pela Lei n.º 9.610, de 19 de Fevereiro de 1998. Os direitos do autor estão também respaldados na Convenção de Berna, de 1971. Sabemos das dificuldades existentes para a verificação se uma obra realmente encontra-se em domínio público. Neste sentido, se você acreditar que algum documento publicado na Biblioteca Digital de Obras Raras e Especiais da USP esteja violando direitos autorais de tradução, versão, exibição, reprodução ou quaisquer outros, solicitamos que nos informe imediatamente (dtsibi@usp.br).