

R E G L E S
P O U R
CONSTRUIRE DES THERMOMETRES:
DONT LES DEGRES SOIENT COMPARABLES,

*Et qui donnent des idées d'un chaud ou d'un froid
qui puissent être rapportés à des mesures connues.*

Par M. DE REAUMUR.

15. Novemb.
1730.

LEs Thermometres sont sans contredit une des plus jolies inventions de la Physique moderne, & une de celles qui a le plus contribué à ses progrès. Il nous ont valu un grand nombre de connoissances curieuses, qu'on n'eût pu se promettre sans leur secours. Combien y a-t-il de cas où sans les thermometres nous ne serions pas parvenus à sçavoir que des liqueurs mêlées ensemble s'échauffent? Sans les thermometres nous n'aurions jamais découvert que certains fels, en se forçant dans l'eau la refroidissent: qui sont ceux qui la refroidissent le plus. Nous ne sçaurions point qu'il y a de la glace plus froide que d'autre glace. Nous ignorerions que l'eau qui bout a acquis le plus grand degré de chaleur qu'elle puisse prendre, un degré au-delà duquel il n'est plus possible de l'échauffer. Enfin les Physiciens sçavent qu'une infinité d'expériences demandent à être faites le thermometre à la main. Cet instrument même n'est pas à leur seul usage; il n'est pas resté renfermé dans leurs seuls cabinets; généralement on aime à consulter le thermometre sur la température de l'air; & c'est sur tout lorsque le froid ou le chaud nous deviennent incommodés, qu'on aime à le consulter: pendant les rudes froids de l'hyver, pendant les chaleurs accablantes de l'été, dans les conversations ordinaires, chacun rend vo-

fontiers compte des degrés dont son thermometre est descendu ou monté.

Mais si on sçait combien cet instrument est amusant & utile, on sçait aussi combien il est encore imparfait. Les marches de presque tous les thermometres sont différentes; quoiqu'exposés au même air, la liqueur des uns monte plus haut, ou descend plus bas que celle des autres, pour marquer les mêmes augmentations & les mêmes diminutions de chaleur. Le changement de température d'air qui sera marqué sur l'un par quatre ou cinq degrés, sera marqué sur l'autre par sept à huit, par deux ou trois, ou par tout autre nombre de degrés; & on ne connoît point les rapports qui sont entre les degrés de différens thermometres. Les manieres dont ils s'expriment, s'il est permis de parler de la sorte, étant toutes différentes, on n'entend que la langue d'un thermometre qu'on a suivi pendant plusieurs années, on n'entend nullement celle de tout autre. Aussi les thermometres ne nous ont-ils encore presque de rien servi pour nous donner des connoissances du plus grand degré de froid & du plus grand degré de chaud des différens climats, qui seroient pourant des connoissances utiles & curieuses. Nous aimerions à sçavoir jusqu'à quel point des hommes, tels que nous, peuvent soutenir le froid ou le chaud. Il seroit important de connoître à peu-près la température de l'air qui est nécessaire pour faire croître des plantes & des arbres qui, quoiqu'ils ne s'élevassent pas actuellement dans notre pays, pourroient peut-être s'y naturaliser.

Non-seulement on n'entend pas la langue des différens thermometres, chacun même n'entend que très-confusément celle du sien. On sçait les termes où il a marqué le plus grand chaud, ou le plus grand froid, on sçait le nombre des degrés qui les séparent: mais ni aucun degré en particulier, ni tous ces degrés ensemble ne nous rappellent aucune idée de véritable mesure.

Les causes d'où naissent les défauts des thermometres, ne sont pas moins connues que les défauts eux-mêmes: aussi

feroit-il très-inutile de les rappeler ici , s'il ne convenoit de les avoir présentés , pour juger si les expédiens auxquels j'ai crû qu'il falloit avoir recours , sont capables de produire tout ce que j'en ai espéré.

Les thermometres sont des instrumens de Physiciens , les Physiciens ont été intéressés à les perfectionner ; ils y ont travaillé ; ils en ont imaginé de plusieurs figures différentes ; ils en ont rempli de différentes liqueurs. Pour l'ordinaire on s'est servi d'esprit de vin. C'est l'air qu'on a fait agir dans plusieurs thermometres ; dans quelques-uns l'air , en se dilatant , n'a eu à faire mouvoir que de l'esprit de vin , dans d'autres il a eu à faire mouvoir une colonne de mercure.

Nous n'avons garde d'entreprendre d'expliquer ici toutes les différentes constructions de thermometres qu'on a imaginées , ce seroit la matiere d'un assez long ouvrage : d'ailleurs nous n'avons besoin actuellement que de la plus simple construction , & une des plus anciennes , & aussi de celle qui a prévalu , je veux dire de celle du thermometre qu'on a appelé le *thermometre de Florence* , qui est celui qu'on voit journellement par-tout. Il consiste dans une boule creuse de verre , scellée à un long & délié tuyau de verre , dont le bout supérieur est scellé hermétiquement. On sçait de reste que la boule & partie du tuyau sont remplis d'un esprit de vin coloré de rouge ; que quand la chaleur de l'air qui environne le thermometre augmente , l'esprit de vin contenu dans la boule se dilate , qu'il est forcé de s'élever plus haut dans le tuyau , qu'au contraire la même liqueur descend dans le tuyau lorsqu'elle perd de sa chaleur.

Ce tuyau de verre est assujetti sur une planche mince , couverte d'un papier , sur lequel les degrés sont imprimés. Des papiers semblablement imprimés ou gravés , servent pour des thermometres différens , comme si les étendues de leurs degrés devoient être les mêmes.

Il suit cependant de cette construction , & on le sçait assez , que pendant qu'il se fait quelque changement dans la température de l'air , la liqueur parcourt plus ou moins de

chemin dans différens thermometres , soit en montant , soit en descendant , selon que le diametre de la boule contient plus ou moins de fois celui du tuyau. De-là vient que certains thermometres sont peu sensibles , & que d'autres au contraire le sont trop ; que faute de place pour recevoir la liqueur , le tuyau ou la boule de ces derniers sont quelquefois brisés par l'effort qu'elle fait pour se dilater , & que dans de pareils thermometres la liqueur rentre quelquefois dans la boule avant que le froid soit devenu excessif. Que de-là vient enfin qu'il est impossible de trouver des thermometres dont les marches soient les mêmes ou proportionnelles , parce que quelque chose qu'on fasse , il est presque impossible de parvenir à avoir deux boules de verre , d'égal diametre & d'une même rondeur : car ces boules ne sont jamais des boules parfaites. Il n'est pas plus facile d'avoir des tuyaux de diametres déterminés. D'ailleurs ils sont presque toujours plus gros à un bout qu'à l'autre , & assez considérablement ; leur intérieur a souvent des inégalités dont on ne sçauroit juger par dehors. Tout cela ensemble va plus loin qu'on ne l'imagineroit : par des mesures exactes , j'ai quelquefois trouvé que de deux portions d'un même tuyau , égales en longueur , & qui sur un thermometre auroient été prises pour des degrés égaux , l'une contenoit près du double de la liqueur contenue dans l'autre.

Mais supposons que malgré ces difficultés invincibles , on soit parvenu à sçavoir adapter aux boules des tubes dont les diametres soient aux leurs dans une proportion constante , & celle qui a été trouvée la meilleure ; ce n'en fera pas encore assez pour avoir des thermometres qui ayent les mêmes allûres , ou des allûres proportionnelles , c'est-à-dire , qui dans les mêmes changemens de température d'air donnent le même nombre de degrés. Il y a encore une autre source de différences à laquelle on ne semble pas avoir assez pris garde , du moins ne sçais-je point qu'on ait cherché à y apporter de remede. C'est la qualité de la liqueur dont on remplit la boule du thermometre. Il s'en faut bien que

toutes les liqueurs se dilatent également à un même degré de chaleur. On ne l'ignore pas, & on a choisi par préférence l'esprit de vin pour la liqueur des thermometres, parce qu'il est peut-être celle qui est la plus sensible aux impressions du froid & du chaud, si on excepte l'air. L'esprit de vin est beaucoup plus dilatable que l'eau. L'esprit de vin le plus rectifié n'est pourtant qu'un mélange d'une matiere inflammable, d'une huile essentielle ou éthérée avec de l'eau; l'eau fait la meilleure portion de ce mélange. La grande *dilatabilité* de l'esprit de vin, s'il m'est permis de me servir de ce terme commode, & dont j'aurai besoin plus d'une fois, est donc due à l'huile éthérée qu'il contient: plus il y en aura dans de l'esprit de vin, & plus il sera dilatable; c'est-à-dire, que les esprits de vin les mieux rectifiés se dilateront davantage pendant la même augmentation de la chaleur de l'air, que ceux qui le sont moins. Dans deux thermometres, égaux dans tout le reste, & chargés aussi chacun d'une quantité égale, mais d'un différent esprit de vin, la liqueur ne s'élèvera, ni ne s'abaissera également; ils exprimeront différemment les changemens de chaud & de froid. Or, non-seulement on n'a pas cherché jusqu'ici à remplir les thermometres avec un esprit de vin, d'une qualité déterminée & connue, on s'est servi indifféremment de ceux qui se sont présentés. Les faiseurs de thermometres ordinaires se contentent souvent d'employer une sorte d'esprit de vin très-foible, une espece d'eau-de-vie.

M. Amontons a négligé d'être aussi exact qu'il a coutume de l'être, lorsqu'il a parlé de la raréfaction de l'esprit de vin, & de celle de l'eau de-vie; il en a parlé comme si toutes les especes d'esprits de vin, & comme si toutes les especes d'eaux-de-vie devoient, chacune dans leur genre, donner sensiblement les mêmes raréfactions; il n'est pas même le seul Physicien qui se soit exprimé ainsi. Il est pourtant essentiel, pour comparer les effets du chaud & du froid sur différens thermometres, qu'ils soient remplis d'une même liqueur ou de 2 liqueurs, dont les rapports des degrés de dilatabilité soient

soient connus ; & c'est ce qu'on n'a point du tout cherché à déterminer , & ce que nous tâcherons de faire dans la suite de ce Mémoire. On y verra que cette source d'erreurs peut rendre le nombre des degrés d'un thermometre presque double de celui d'un autre , exposé au même air.

Cet inconvénient n'est peut-être pas moins grand dans les thermometres dont le jeu est produit par l'air qui y est renfermé , que dans ceux qui ne renferment que de l'esprit de vin ou toute autre liqueur. Pour peu qu'on y pense , on ne fera pas disposé à croire que l'air de toutes saisons , de tous pays , pris à un égal degré de chaud , soit également dilatable. L'air n'est nulle part un fluide , ou liquide pur. Dans un même volume d'air , il y a plus ou moins d'air , selon qu'il est plus chargé d'exhalaisons ou de vapeurs , & des expériences ont appris qu'un peu d'eau en vapeurs , mêlée avec l'air , est capable d'augmenter considérablement les grandes dispositions qu'il a à se raréfier.

Enfin quoiqu'on employât une liqueur dont les rapports de dilatabilité seroient connus , ce ne seroit pas encore assez ; les liqueurs n'ont point de volumes constans , ceux des solides ne le sont pas non-plus : mais ils ne varient ni si considérablement ni si subitement que ceux de certaines liqueurs ; elles passent continuellement d'un degré de dilatation à un ou à plusieurs autres , & reviennent ensuite à des degrés de condensation selon l'état de l'air qui agit sur elles. Or entre ces degrés de dilatation ou de condensation dont est susceptible la liqueur qu'on veut renfermer dans le thermometre , il en faut trouver un qui soit sensible , qu'on puisse avoir en tout pays , & qui soit le terme d'où l'on commence à compter les degrés , ou auquel on finisse de les compter. La belle propriété que M. Amontons a découverte à l'eau , celle de n'être plus capable de s'échauffer lorsqu'elle a commencé à bouillir , donne un de ces termes , un de ces degrés de dilatation qu'on peut avoir en tout temps , & qui sont les mêmes par-tout. Il a aussi cherché à se servir de cette propriété de l'eau pour construire des thermometres qui donnassent des degrés qui

pussent être constans en tout pays. L'usage qu'il en a fait est plein d'adresse, il s'est servi d'air, qu'il a chargé de mercure; au moyen de l'eau bouillante il a dilaté cet air, qui, en se dilatant, a élevé le mercure à un point qui a été un point fixe pour M. Amontons. Ces thermometres à air & à mercure ont servi à en graduer d'autres à esprit de vin. Mais les différences qui sont dans l'air, pris en différens temps, en différentes saisons, en différens pays, ne me permettent pas de croire que les premiers thermometres soient propres à produire les effets qu'on en a espéré. Si quelques-uns de ceux qui ont voulu répéter les expériences de M. Amontons sur la dilatation de l'air chargé de différens poids, n'ont pas trouvé les mêmes résultats qu'a eus cet exact Académicien; c'est peut-être qu'ils les ont faites sur un air différent de celui qui a servi à ses épreuves. Au surplus cet inconvénient n'est pas le seul qui puisse empêcher ce thermometre de répondre parfaitement aux vûes ingénieuses de son inventeur. L'état moyen de chaleur qu'il veut à l'air, & qu'il ne détermine que d'une manière vague, la difficulté de trouver des boules & des tubes de capacités égales ou proportionnelles; difficulté bien grande à surmonter dans la pratique; l'augmentation qui survient au volume de l'air, qui affoiblit sa force de ressort, & qui ne la laisse pas telle qu'elle devrait être pour produire l'effet dont elle est la cause & la mesure; en un mot, bien d'autres difficultés sur lesquelles il feroit long d'insister, comme les différentes réductions qu'il faut faire des pesanteurs variables de l'atmosphère, font que ce thermometre n'est pas susceptible de toute la précision qu'on lui desireroit. Aussi un Auteur Italien a avancé depuis peu, & a tâché de prouver, que le thermometre de M. Amontons est inférieur à celui de Florence: c'est assurément le dégrader beaucoup trop, quoiqu'il soit vrai que l'usage de l'ancien prévaut; mais ce n'est que parce que l'autre est très-difficile à construire.

Il s'en faut bien que j'aye rien pensé sur cette matiere d'aussi ingénieux que ce qu'a imaginé M. Amontons. Tout ce que

j'ai à proposer est extrêmement simple : mais je le crois propre à nous donner des thermometres qui se fassent entendre continuellement , & en tout pays. J'explique d'abord le plan que j'ai crû devoir suivre , & j'expliquerai ensuite ce que j'ai fait pour le mettre en pratique.

Je m'en tiens à une liqueur très-dilatable , c'est-à-dire , à l'esprit de vin : mais comme il est une infinité d'especes d'esprits de vin , j'en choisis une par préférence qu'on puisse avoir commodément en tout temps , & en tout pays. J'établis des caracteres pour reconnoître cette espece d'esprit de vin , propres à empêcher de la confondre avec toute autre , & à déterminer de combien elle en differe.

Je réduis l'esprit de vin choisi , & caractérisé à un volume connu de dilatation. Je le pourrois par le moyen de la chaleur de l'eau bouillante , en usant de quelques précautions dont je parlerai dans la suite : mais j'aime mieux me servir de la congélation artificielle de l'eau , c'est-à-dire , de l'eau qu'on fait geler : M. Amontons lui-même s'en est servi. Le degré de dilatation , ou , si l'on veut , de condensation , auquel cette glace réduit l'esprit de vin , peut être regardé comme un terme fixe & aisé à avoir dans presque tous les pays du monde où on sçait faire usage des thermometres. Quoique l'hyver nous fasse voir de la glace plus froide que d'autre glace , il n'en fera pas plus difficile d'établir , soit par des raisonnemens clairs , soit par des expériences , que le degré de froid de la glace artificielle , le commencement de la congélation de l'eau , est un degré constant , & tel qu'il nous le faut.

Le caractere de l'esprit de vin étant bien déterminé ; l'esprit de vin ayant été réduit à un volume qui donne un terme saisissable , tout ce qui reste à faire est de graduer les différens thermometres , de façon que leurs marches soient les mêmes ou proportionnelles malgré les différens rapports qui peuvent se trouver entre les diametres des boules & ceux des tuyaux , malgré les formes irrégulieres que peuvent avoir les boules , & malgré les inégalités qui peuvent se rencontrer dans les tuyaux , & de les graduer de façon que les

mêmes degrés dans les thermometres différens , soient les mêmes mesures de froid ou de chaud ; & que ces mesures donnent quelques idées , car les degrés ordinaires n'en donnent point. Ils m'apprennent bien , par exemple , que la liqueur a monté de deux ou trois pouces : mais ils me laissent absolument ignorer le changement qui s'est fait dans le volume de la liqueur pendant qu'elle s'est élevée de deux ou de trois pouces. On auroit , ce me semble , tout ce qu'on peut désirer , si chacun des degrés donnoit une idée précise des degrés de dilatation , ou de condensation de la liqueur : car l'effet de l'augmentation de chaleur est l'augmentation de volume. Comment peut-on mieux mesurer les degrés de chaleur qui s'ajoutent successivement les uns aux autres , que par des degrés qui expriment les portions , dont le volume s'est successivement renflé , qui en donnent une idée claire. Je m'explique : la quantité d'esprit de vin que je fais entrer dans mon thermometre m'est connue , je connois le nombre de certaines parties aliquotes dont elle est composée : par exemple , le volume de ma liqueur condensée par la glace artificielle contient 500 parties ; que ces parties soient chacune de 10 , de 20 , &c. lignes cubiques , il n'importe , pourvu que j'en aye la mesure. Je marque sur le tuyau de mon thermometre jusqu'où va ce volume de liqueur , composé de 500 parties , lorsqu'il est condensé par la glace artificielle * ; c'est au dessus & au-dessous de ce terme que je vais marquer les degrés. Mais au lieu de prendre , pour chaque degré , des parties du tuyau égales entr'elles en longueur , comme elles le sont dans les thermometres ordinaires , je détermine chacun des degrés de façon qu'il est une portion du tuyau qui contient une des parties du volume de liqueur qui a été déterminé. Dans notre cas , par exemple , où ce volume étoit de 500 parties , chaque degré sera $\frac{1}{500}$ partie de ce volume , & c'est en pareilles parties , en pareils degrés que le tuyau est entierement gradué. Exposons aux impressions de l'air des thermometres ainsi construits ? Les changemens qui y seront exprimés , le seront en expressions intelligibles , qui nous

* Fig. 1.
CC.

donneront des idées déterminées , au lieu des idées vagues que les autres thermometres nous donnent. Que la liqueur s'éleve de 1 , 2 , 3 , ou , si l'on veut , de 20 degrés au-dessus du terme marqué par la congélation de l'eau : cela signifiera que le volume qui étoit 500 est devenu 501 , 502 , 503 , ou si l'on veut , 520. Quand je sçaurai que la liqueur s'est élevée de 20 degrés , je sçaurai que son volume est augmenté de $\frac{20}{500}$ ou d'un $\frac{1}{25}$. Si au contraire le froid a fait descendre la liqueur de 10 degrés au-dessous du terme marqué , je sçaurai que le froid l'a condensée , ou a diminué son volume de $\frac{1}{5}$. Ainsi dans toute leur marche , les thermometres donneront des idées précises des changemens qui se font faits dans un volume connu d'une liqueur connue. Alors on s'entendra lorsqu'on comparera les degrés où est monté le thermometre dans une saison avec ceux où il est descendu dans une autre , lorsqu'on comparera les observations faites en différens pays sur différens thermometres construits sur ces principes.

Il ne me semble pas qu'on puisse demander aux thermometres quelque chose de plus que ce que la construction que nous venons de leur supposer leur donne : mais il pourra paroître difficile de les construire sur ces principes , de leur donner la graduation dont nous venons d'expliquer les avantages. Le moyen d'y réussir est pourtant bien simple , ou plutôt très-grossier. Il est néanmoins certain que si l'on veut absolument d'aussi petits thermometres que ceux qui ont été en usage jusqu'ici , il n'est gueres possible de graduer leurs tuyaux en mesures exactes qui soient des portions du volume de la liqueur qu'on a renfermée. Mais pourquoi s'en est-on tenu jusqu'ici à les faire tous si petits ? Il y a grande apparence que c'est parce qu'on a continué de les faire tels qu'ont été les premiers. Sanctorius , leur inventeur , vouloit que les malades pussent tenir commodément leurs boules dans la main. Il en est arrivé aux thermometres , ce qui seroit arrivé aux horloges si on eût commencé par de petites montres , & qu'on n'eût cherché qu'à perfectionner des horloges d'un

si petit volume ; on n'auroit jamais eu des mesures exactes du temps jusqu'à ce que quelqu'un eût proposé qu'outre les horloges qu'on est bien aise de porter sur soi, on en construisît qui restassent toujours dans les appartemens, qu'alors on parviendrait à en avoir dont les mouvemens seroient réglés avec une précision qu'on ne pouvoit se promettre de donner aux montres. Les barometres devoient aussi nous faire penser à prendre pour les thermometres de plus gros tubes que ceux dont on se sert ordinairement. Les barometres simples ne valent rien lorsqu'ils sont faits de tubes presque capillaires, tels que le sont la plupart de ceux des thermometres.

Aussi parviendra-t-on à faire d'excellens thermometres, dès qu'on employera des tuyaux de verre d'une grosseur suffisante ; & elle le fera, pourvu que leur diametre égale celui des gros barometres, c'est-à-dire, pourvu qu'ils ayent intérieurement 2 lignes $\frac{1}{2}$ ou 3 lignes de diametre. On pourra ~~pourtant en employer de plus petits~~ ; mais leur construction n'en sera que plus aisée & plus sûre si leurs diametres sont encore plus grands, s'ils vont jusqu'à 3 lignes $\frac{1}{2}$, les grosseurs des boules seront augmentées proportionnellement.

Il est vrai que des boules & des tuyaux, des diametres dont nous les demandons, ne feront pas d'aussi jolis instrumens que le sont les thermometres ordinaires. Si les Astronomes ne vouloient se servir que de jolis quarts de cercle, il faudroit qu'ils renonçassent à en avoir qui leur donnassent des mesures exactes. D'ailleurs si on ne veut faire faire aux nouveaux thermometres que le chemin que font les anciens, si on ne veut point que le degré de chaleur de l'eau bouillante y soit marqué, la longueur des nouveaux tuyaux excedera peu celle des tuyaux ordinaires ; la grosseur de leurs boules ne deviendra pas assez considérable pour être difforme, ni pour être embarrassante ; la grosseur du tuyau n'a rien de désagréable : or pendant que la capacité des tuyaux égaux en longueur croît comme les quarrés des diametres, celle des boules croît comme les cubes de leurs diametres. Des boules qui auront environ 4 pouces $\frac{1}{2}$ de diametre

adaptées à des tuyaux dont le diamètre intérieur soit à peu près de 3 lignes, suffiront pour des thermometres bons & sensibles.

Perfuadé qu'on passera sans peine sur la petitesse des thermometres ordinaires, pour en avoir de meilleurs, je vais décrire comment il faut graduer & remplir nos grands thermometres. Les expériences que j'ai faites des procédés que j'ai à rapporter, m'ont appris qu'ils sont plus aisés, & moins longs à mettre en pratique, qu'ils ne le paroîtront dans l'explication que j'ai à en donner. Je suppose que j'aye une boule d'un diamètre convenable, ou à peu près, scellée à un tuyau de grosseur suffisante *. Toutes les Verreries fourniront des tuyaux tels qu'il les faut; celle qui s'est établie depuis quelque temps à Seve est extrêmement commode pour y faire faire tout ce qu'on a besoin dans ce genre; c'est celle à qui je me suis adressé. * Fig. 1. 4.

Comme le thermometre doit être construit la mesure à la main, la plus grande affaire est de se fournir de différentes mesures. Il en faut de très-petites, qui sont celles qui donnent les dernières divisions du volume de la liqueur qu'on veut faire entrer dans le thermometre; ce sont celles-là même qui servent à marquer l'étendue de chaque degré du tube. Il en faut aussi de grandes, qui contiennent les unes 25, les autres 50, & d'autres jusqu'à 100 des plus petites mesures. L'usage de ces grandes est d'abréger l'opération. Chacune des petites mesures est telle qu'elle contient seulement la quantité de liqueur qui peut occuper deux ou trois, ou quatre lignes de hauteur dans le tube. Tout cela est indifférent, & fait seulement que chaque degré a plus ou moins d'étendue, ce qui est arbitraire, & ne change rien dans la marche du thermometre, & dans le rapport exact qu'elle doit avoir avec celle de tout thermometre construit sur les mêmes principes.

Mais la forme de la mesure est essentielle: j'ai choisi celle d'une sorte de petit instrument assez connu des Physiciens. Il est fait d'une portion d'un petit tuyau de verre qu'on Fig. 2, 3, 4, & 5.

* Fig. 2, 3,
4, 5, M.

* 00.

a renflé au milieu en espece de figure d'olive *, & dont les deux bouts ont été tirés en tuyaux extrêmement déliés, & véritablement capillaires *. En un mot, les tuyaux qui aboutissent de part & d'autre à la partie renflée, sont si petits, qu'une goutte de liqueur y occuperoit l'étendue de plus d'un pouce. Leur longueur est arbitraire, 15 à 16 lignes suffisent à chacun de ces petits tuyaux; ils peuvent avoir chacun plus de deux pouces. Il y a deux manieres de remplir ce petit instrument, l'une & l'autre également sûres. La premiere est de poser un de ses bouts dans la liqueur, & de sucer par l'autre bout, qu'on tient dans la bouche, jusqu'à ce qu'on sente que la liqueur vient mouiller la langue; l'autre est d'enfoncer la mesure dans la liqueur jusqu'au dessus du renflement, bientôt elle s'élève à l'extrémité supérieure du tuyau capillaire. On bouche le bout supérieur de ce tuyau avec le doigt, ou plus sûrement encore avec la langue, ainsi on retire du vase la mesure pleine de liqueur, sans qu'il s'écoule une goutte de celle qu'elle a reçûe. Avec cette mesure j'en remplis de plus grandes; chacune de celles-ci consistent en une boule de verre, de diametre plus ou moins grand, adaptée à un tube assez gros de 4 à 5 pouces de longueur *. Il est absolument essentiel que ces grandes mesures soient très-exactes; on marque avec un fil *, qui entoure leur col ou le tube, jusqu'où elles doivent être remplies. On les mesurera chacune au moins deux ou trois fois. La petite peine qu'on y trouvera sera payée par le plaisir qu'on aura de voir combien cette façon de mesurer est précise.

* Fig. 6,
& 7.

* 9

Dès qu'on est une fois fourni de grandes & de petites mesures, on est en état de graduer assez vite des thermometres, quelque différence qu'il se trouve entre les capacités de leurs boules & de leurs tubes. Graduons-en un. Les procédés que nous suivrons guideront pour la graduation de tout autre. Commençons pourtant par remarquer qu'on ne doit songer à le remplir d'esprit de vin, que lorsque ses degrés auront été marqués. Je suppose que la boule & le tube, qui me feront bien-tôt un thermometre, sont scellés ensemble.

ensemble. On marquera à peu-près sur ce tube l'endroit où l'on veut que se trouve le terme de la congélation de l'eau, & cela par le moyen d'un fil assez fin, arrêté par un noeud autour du tube*.

* Fig. 1. B.

Ce terme de la congélation de l'eau peut être pris arbitrairement sur une portion du tuyau d'une assez grande étendue : tout ce que sa détermination exige, c'est qu'il soit au moins une fois plus près de la boule que de l'extrémité supérieure du tuyau. Quand la distance de ce terme à la boule ne seroit que le tiers ou le quart de l'autre distance, souvent il n'y auroit aucun inconvénient.

Je verse ensuite dans le tuyau des mesures de 100, ou même des mesures plus grandes, jusqu'à ce que la boule étant remplie, la liqueur s'éleve au terme marqué. Mais une circonstance essentielle à observer, & qui sembleroit devoir jeter en bien des embarras, c'est que le volume de la liqueur qui est borné par ce terme, doit être exprimé par un nombre exact de centaines, par exemple, par 500, par 800, par 1000. Or il n'y a que peu de cas où cela se puisse trouver. Dans une infinité d'autres cas la surface de la liqueur fera un peu au-dessous, ou un peu au-dessus du fil : alors il n'y a qu'à élever ou abaisser le fil jusqu'à ce qu'il soit le vrai terme du

* Fig. 1. CC.

volume mesuré*. Dans un grand nombre d'autres cas la dernière mesure de 100, qui a été versée, suffit à peine pour remplir la boule* : & si on ajoûtoit une nouvelle mesure de 100, elle monteroit trop haut dans le tube. L'expédient auquel j'ai recours alors est simple : au lieu de verser un nombre de mesures de liqueur moindre que 100, ce qui donneroit des nombres d'où résulteroient des degrés difficiles à comparer sur différens thermometres, je fais entrer dans le tube des petits grains d'une matiere pesante & solide, comme des grains de gros gravier, de petits fragmens de verre. Des grains de plomb seroient la plus commode des matieres, si une circonstance, dont nous parlerons bientôt, ne demandoit quelquefois qu'on leur en préférât d'autres. Ces grains solides, quels qu'ils soient, tombent dans la boule*;

* Fig. 8. H.

* Fig. 8. R.

ils y occupent une place qui auparavant étoit occupée par de la liqueur ; la liqueur monte dans le tube ; des grains jetés successivement la font élever jusqu'au terme où on la veut *. Ces grains produisent un effet semblable à celui qu'on produiroit , si on étoit maître de diminuer à son gré la capacité de la boule. Comme le volume qu'ils y occupent n'est pas bien grand , & que d'ailleurs*leur dilatabilité est si petite , en comparaison de celle de l'esprit de vin , qu'elle peut être regardée comme nulle , ils ne produiront par la fuite aucun dérangement sensible dans la marche du thermometre.

*Fig. 8. CC.

La liqueur dont je remplis la mesure de 100 n'est que de l'eau. J'évite d'employer l'esprit de vin pour graduer ; le volume de la quantité qu'on auroit fait entrer dans le thermometre , pourroit croître avant que l'opération fût finie. Des expériences , qui seront rapportées dans la suite , prouveront au contraire qu'il n'y a nullement à craindre que le volume de l'eau change sensiblement pendant le temps nécessaire à graduer le thermometre.

Que celui sur lequel nous allons continuer de travailler contienne 1000 mesures jusqu'au terme fixé pour la congélation artificielle * , c'est au-dessus & au-dessous de ce terme qu'il nous faut marquer les degrés. Le nombre des supérieurs que nous appelons *degrés de dilatation* , doit être au moins double de celui des inférieurs que nous nommons *degrés de condensation*. Ce sont ceux-ci qui doivent être marqués les premiers. Si je veux qu'il y en ait 25 , 30 , ou tout autre nombre , je vuide de l'eau de mon thermometre dans une mesure de 25 ou de 30 , jusqu'à ce que je l'aye remplie. Ainsi depuis CC jusqu'en 25 * il reste un vuide de 25 mesures ou degrés.

* Fig. 1. CC.

* Fig. 1.

Cela fait , j'attache le thermometre avec de petites cordes ou des fils de léton * , sur la plaque destinée à la porter par la suite* , & sur laquelle ses degrés doivent être écrits. Un papier blanc collé dessus est prêt à recevoir les traits. Le premier que je tire est celui de la congélation de l'eau ; il est posé à

* Fig. 8. LL.
CC.

* Fig. 8. SS.
T. T.

la hauteur du fil qui la marque sur le tube*. Je tire ensuite un second trait vis-à-vis le niveau de l'eau *, & alors je suis en état de commencer à graduer. Je remplis une petite mesure, je la vuide dans le tuyau : quand toute la liqueur est descendue, je tire un trait vis-à-vis l'endroit où la surface de l'eau s'est élevée. On remplit ensuite une seconde fois la mesure, on la vuide dans le tube, & on tire encore un trait à l'endroit où s'est élevée la surface de l'eau. On répète cette manœuvre tout autant de fois que le demande le nombre des degrés qui peuvent être contenus dans la capacité du tuyau, & qui doivent être marqués sur la planche.

Pour les premiers thermomètres que je fis faire, on remplissoit d'eau la petite mesure qui devoit donner l'étendue d'un degré : mais l'expérience m'apprit que la graduation devenoit longue à faire, & qui pis est, incertaine. Une petite mesure d'eau, versée dans un long tuyau, ne suffit presque qu'à en mouiller les parois : elle coule lentement le long de ces parois auxquelles elle a de la disposition à s'attacher. On est incertain du temps où toute l'eau d'une mesure est descendue ; toute celle des premières mesures ne descend pas, il en reste toujours d'adhérente aux parois. Je pensai que si au lieu de remplir la petite mesure d'eau, je la remplissois de mercure, j'évitais tous ces inconvénients. Le mercure ne s'attache point au verre, & ce pesant liquide descend promptement. Aussi ai-je vû qu'en l'employant, la graduation étoit bien faite & bientôt faite. On y gagne en occupant deux Artistes à la faire. L'un remplit la petite mesure de mercure, & la vuide dans le tuyau. Dès qu'elle est descendue dans la boule, elle souleve l'eau à la hauteur où elle doit monter. Dans l'instant, le second Artiste tire un trait sur la planche, vis-à-vis le niveau de l'eau. Une centaine de degrés, ou moins, qu'on a à marquer sur la planche, sont ainsi marqués en très-peu de temps & très-exactement.

Tous les traits ayant été tirés, on ôte le thermomètre de dessus la planche, & alors on écrit à son aise la valeur de chaque trait, selon sa place, c'est-à-dire, le nombre de chaque

* Fig. 8. degré; je les fais même écrire des deux côtés du tube, & de chaque côté d'une manière différente *. D'un côté on commence par mettre 0 vis-à-vis le grand trait qui marque la congélation de l'eau. Le premier trait au-dessous est marqué 1; celui qui suit en descendant est marqué 2, & ainsi de suite jusqu'à 25, nombre auquel nous nous sommes fixés dans notre exemple; & c'est là la suite des degrés descendans ou de condensation. Vis-à-vis le premier trait, au-dessus de celui de la congélation, j'écris aussi 1; 2 vis-à-vis le suivant; & ainsi j'écris la suite des degrés ascendans ou de dilatation.

De l'autre côté du tube, vis-à-vis le terme de la congélation de l'eau, j'écris 1000 pour notre thermometre, dont le volume de la liqueur, lorsqu'elle est au niveau de ce trait, est de 1000 parties. J'écrirois 900, 800, pour celui dont le volume seroit alors de 900, ou de 800 parties. Le trait qui est immédiatement au-dessus, est marqué par 999, celui d'après par 998, & ainsi des autres qui marquent les degrés descendans. Le premier degré ascendant est marqué 1001, le second 1002, &c. Ainsi les degrés d'un côté expriment simplement de combien la liqueur s'est dilatée ou condensée au dessus ou au-dessous du terme de la congélation artificielle, par les nombres 1, 2, 3, 4, &c. & ceux de l'autre côté expriment le volume actuel de la liqueur, qui dans la congélation artificielle est 1000. Tantôt ce volume est réduit à 998, à 985, tantôt il est renflé à 1002, à 1020, &c.

La planche étant ainsi graduée, le plus difficile, & ce qui demande le plus d'attention, est fait. Il reste à mettre la juste quantité d'esprit de vin dans le thermometre. Auparavant on a à en faire sortir l'eau dont on l'a chargé, & les grains de gravier ou de sable, si on a été contraint d'y en faire entrer. Pour les grains de sable ou de gravier, on les mettra à part, parce qu'il fera nécessaire de les y faire rentrer après qu'ils auront été séchés. On fera aussi sécher le thermometre; quand il y resteroit néanmoins une légère humidité, l'inconvénient ne seroit pas grand. Celui seul qu'elle peut produire seroit d'affoiblir l'esprit de vin, & quelques gouttes

d'eau n'affoibliroient pas sensiblement la quantité de liqueur qui doit être employée.

On versera donc enfin l'esprit de vin, de la qualité duquel on s'est assuré, dans le thermometre, & cela jusqu'à trois ou quatre degrés au-dessus du fil, qui marque la congélation artificielle comme jusqu'en *D* *. Un peu plus ou un peu moins ne fait rien actuellement, parce que c'est le froid de l'eau glacée qui apprendra ce qu'il y aura à ajouter ou à retrancher à la quantité qu'on y aura fait entrer : car il s'agit à présent de faire geler de l'eau autour de la boule où est cet esprit de vin.

* Fig. 1. CC.

Pour cela on posera la boule du thermometre dans un vase de fer blanc, cylindrique, dont le diametre intérieur excédera le sien de peu *. Si la hauteur de ce vase est telle que ses bords s'élevent jusqu'au fil qui marque sur le tuyau le terme de la congélation ce sera le mieux : mais quand ses bords ne s'éleveroient que de quelques degrés au-dessus de la boule, le thermometre n'en sera pas moins bon sensiblement. Enfin on remplira ce vase de l'eau qu'on doit faire geler.

* Fig. 9. VV.

On sçait assez comment se fait la glace artificielle : les procédés usités journellement sont ceux même dont on se servira pour geler l'eau qui environne la boule de notre thermometre. Le vase où elle est contenue doit être mis dans un autre vase d'un plus grand diametre, & au moins de même hauteur. Le fer blanc est encore une matiere commode pour ces sortes de vases. Le vuide qui reste entre les parois des deux vases, sera rempli de glace qui aura été bien pilée, & mêlée avec une bonne dose, soit de salpêtre, soit de sel ammoniac, soit de sel marin. Une précaution encore accélère la congélation, c'est de couvrir le dessus des vases, l'air extérieur en est moins capable d'arrêter l'effet qu'on veut produire. Les faiseurs de liqueurs glacées se contentent de mettre au-dessus des vases quelques serviettes, quelques torchons. On fera encore mieux, si sur le linge étendu sur les bords du vase, on met une couche de glace pilée qu'on recouvrira de plusieurs torchons ou serviettes.

A mesure que l'eau qui entoure la boule du thermometre se refroidit, la liqueur descend dans le tube. Quand la surface de cette eau est gelée, la liqueur est bien près du plus bas terme où elle descendra. Lorsqu'on jugera qu'elle est à peu près aussi bas qu'elle peut aller, si elle est au-dessous du terme marqué par la congélation comme en *B* *, on fera entrer de l'esprit de vin peu-à-peu avec la petite mesure, ou avec le petit entonnoir *, & cela jusqu'à ce que l'esprit de vin s'éleve dans le tube à la hauteur du fil qui marque le terme *. On fera ensuite attentif à observer si la liqueur ne continue pas à descendre; si elle descend encore, on ajoutera encore ce qu'il faut de liqueur pour la faire monter au terme marqué. Lorsqu'elle y reste constamment, on peut retirer la boule de la glace. Mais pour n'avoir pas la peine de briser la glace, & ne pas faire courir risque au thermometre, il vaut mieux laisser fondre la glace, & attendre qu'elle laisse librement la boule, ou accélérer la fonte de la glace en jetant dessus de l'eau chaude.

Fig. 9.

* Fig. 10.

* Fig. 9. CC.

Nous devons avertir qu'il arrive quelquefois, qu'après avoir fait entrer dans le tube la petite quantité d'esprit de vin qui sembloit nécessaire pour élever la liqueur jusqu'au fil, qu'après avoir vû sa surface de niveau avec le fil, elle vient, dans un quart d'heure à l'excéder d'une ligne, ou de davantage. On croiroit que c'est que la glace commence à se fondre; cependant l'élévation de l'esprit de vin est quelquefois dûe à une autre cause, il a fallu du temps pour se rendre à celui qui en descendant a rencontré les parois du vase. On a preuve certaine que c'est cette cause qui produit la quantité excédente de volume de liqueur, lorsqu'on voit que sa surface se soutient constamment au même terme; elle s'y soutient pendant plus de huit à dix heures, lorsque les vases sont dans un endroit frais, & qu'ils ont été bien enveloppés. Il faut donc retirer ce qu'il y a de liqueur au-dessus du fil. On le peut, en faisant entrer dans le tube un tuyau capillaire, & suçant à son bout supérieur, pendant que l'inférieur touche la liqueur. On peut aussi se servir du tuyau capillaire pour porter dans le

gros tuyau ce qui manque de liqueur jusqu'à la ligne de la congélation. Cette façon d'achever de le remplir est plus précise, & même plus prompte que celle de verser de la liqueur par son ouverture supérieure : on n'a point à attendre le long écoulement de celle qui s'est attachée contre les parois. Souvent il y a si peu de liqueur à ôter, qu'on en ôteroit trop avec le tuyau capillaire. Il est plus commode d'avoir un fil dont on a engagé un des bouts dans un grain de plomb. On fait descendre ce grain de plomb dans la liqueur du tube : une petite partie de cette liqueur est entraînée par le plomb & le fil lorsqu'on les retire. En répétant deux ou trois fois le même manège, on en ôte ce qui étoit à ôter. Au reste s'il y a une circonstance qui demande de l'attention, c'est celle dont il s'agit ; c'est-à-dire, celle de mettre bien de niveau, avec le fil qui entoure le tube, la surface de l'esprit de vin condensé par la glace. S'il y avoit erreur en cet endroit de $\frac{1}{4}$, ou de $\frac{1}{8}$ de degré, ce seroit une erreur qui se trouveroit la même à tous les degrés.

Le thermometre étant retiré de la glace, il ne reste plus qu'à sceller hermétiquement le bout du tube *. Ceux qui connoissent la lampe des Emaillieurs, sçavent assez comment cela se fait. En scellant le bout du tuyau, on chauffe l'air qu'il contient, on le raréfie, de sorte que celui qui reste au dessus de la liqueur, n'a plus ni la densité, ni par conséquent le ressort de l'air ordinaire.

* Fig. 9. X.

Au lieu de sceller le bout du tuyau à la lampe, on peut se contenter de boucher avec un mélange de cire & de térébenthine. C'en est assez pour ôter à l'air intérieur toute communication avec l'air extérieur. On peut même faire qu'alors l'air intérieur se trouve plus raréfié qu'il ne l'est, lorsque le tube a été scellé de l'autre manière, & qu'il soit raréfié à un point plus connu. Pour cela on mettra la boule du thermometre dans de l'eau, qu'on fera ensuite chauffer peu-à-peu. La liqueur s'élèvera, l'air sera chassé, & sortira par le bout du tuyau encore ouvert ; on le fermera quand l'espace occupé par l'air n'en paroîtra contenir que la quantité

qu'on y veut laisser. Si même la longueur du tuyau le permet, avant de le boucher, on fera monter l'esprit de vin au terme où la chaleur de l'eau bouillante peut le conduire, ou à peu-près. Nous expliquerons pourtant une autre maniere de marquer ce terme, qui ne demande pas qu'on mette la boule du thermometre dans l'eau bouillante : mais on est plus sûr de la vérité de la détermination d'un point, quand deux méthodes différentes donnent ce même point.

C'est une question, que nous n'examinons pas actuellement, de sçavoir s'il vaut mieux laisser dans le thermometre de l'air tel à peu-près que l'air ordinaire, ou s'il vaut mieux n'y laisser que de l'air extrêmement raréfié, tel qu'est celui des endroits que les Physiciens appellent *vides*. Je dirai seulement d'avance que dans l'un & dans l'autre parti il y a des inconvéniens, qui sont moindres à mon avis dans un état moyen : de sorte que j'incline à ne pas laisser l'air du tuyau dans son état ordinaire, & aussi de n'y pas laisser un air très-raréfié. Un degré de raréfaction approchant de celui qu'il a dans la plus grande chaleur de nos climats, me paroît plus convenable : & ce degré est plus aisé à saisir à peu-près en faisant élever l'esprit de vin dans le thermometre au moyen de l'eau chaude, & scellant le bout de ce thermometre avec notre composition de cire sur laquelle on étendra ensuite, si l'on veut, un vernis, qu'en le scellant à la lampe. Le seul inconvénient que je sçache à le sceller avec la composition de cire, c'est qu'il faut alors éviter de renverser le thermometre, de crainte que l'esprit de vin ne causât quelque altération au bouchon. On peut pourtant le sceller à la lampe, sans y renfermer un air très-raréfié, & cela si on se contente d'abord d'allonger le bout du tuyau en un fil creux, délié, qu'on le laisse refroidir, & qu'on scelle ensuite assez brusquement le bout de ce filet, ou de ce tuyau capillaire.

Enfin le bout du tube du thermometre ayant été scellé de quelque façon que ce soit, il ne reste plus qu'à le mettre sur la planche graduée, & à l'y assujettir. Sa position exacte est aisée à retrouver; le fil qu'on a laissé sur le tube, & qui
marque

marque le terme de la congélation de l'eau, est un repaire sûr : ce fil doit être posé vis-à-vis le trait qui la marque aussi sur la planche.

Au reste, si on en juge par la longueur des petits détails dans lesquels nous venons d'entrer, la construction des nouveaux thermomètres paroîtra plus longue & plus difficile qu'elle ne l'est en effet. Mais on ne doit pas juger du temps que les choses demandent à être faites par celui qu'elles demandent à être dites. Il y aura même bien des abréviations pour les ouvriers qui se voudront charger de faire ces thermomètres. Ils peuvent avoir de grandes mesures, de capacités différentes, qui chacune en contiendront 1000 petites, & dès qu'ils auront un certain nombre de ces mesures, il s'en trouvera presque toujours quelque-une propre à remplir le thermomètre jusqu'au terme de la congélation de l'eau, d'autant plus que ce terme peut être pris sur une assez grande portion de tube. Si la mesure versée laisse la surface de la liqueur trop bas dans le tuyau, on a, pour la faire monter, la ressource des grains solides introduits dans la boule. Une autre abréviation c'est, au lieu des mesures de 1000, d'en avoir de 975, & cela, comme celles de 1000, de différens volumes. La mesure de 975 ayant été vidée dans le thermomètre, on versera une à une 25 petites mesures de mercure. Dès qu'une de ces mesures sera entrée dans la boule, on marquera sur la planche, par un trait, jusqu'où la surface de l'eau a été élevée; & ainsi de suite, on graduera le thermomètre d'une manière plus aisée que celle que nous avons pratiquée ci-devant : car après avoir rempli le thermomètre jusqu'au terme de la congélation de l'eau, nous en avons retiré 25 mesures d'eau, pour y mettre ensuite 25 mesures de mercure. Enfin on trouvera sans doute bien d'autres abréviations auxquelles je n'ai pas pensé.

Il y en a pourtant encore une dont nous ne nous dispenserons pas de parler, qui sera d'une très-grande commodité aux ouvriers qui se chargeront de faire beaucoup de thermomètres. Quand ils en auront une fois quelques-uns de

474 MEMOIRES DE L'ACADEMIE ROYALE
construits dans toute l'exactitude possible, & qu'ils auront
du même esprit de vin, dont ils les ont remplis, ou d'un
esprit de vin bien reconnu pour être de la qualité du pre-
mier, ils pourront s'épargner les petits frais, & la peine de
faire congeler l'eau autour de leurs boules. Les capacités des
boules & des tubes ayant été bien mesurées, en un mot la
graduation une fois faite, ils verseront de l'esprit de vin dans
les nouveaux thermometres jusqu'à ce qu'il y soit élevé au
degré où l'est actuellement celui des autres: la marche des
uns & des autres sera précisément la même, si les derniers
faits ont été gradués soigneusement. Nous n'avons rien dit
des petits entonnoirs dont on doit se servir pour vider dans
le tube les grandes mesures, tels que sont ceux de forme
ordinaire *, ou ceux ** de la forme de nos petites mesures
avec lesquelles on prend à plusieurs fois la liqueur d'une
grande mesure, après l'avoir versée dans un verre.

* Fig. 10.

** Fig. 11.

Quel que soit, dans différens thermometres, le nombre
des degrés qui y exprime le volume de l'esprit de vin
condensé par la congélation artificielle, il sera toujours aisé
de les ramener à une mesure commune, leurs rapports
sont toujours aisés à voir. Que le volume de la liqueur,
qui est exprimé dans l'un par 800, le soit dans l'autre par
900, le rapport de leurs degrés sera comme 8 à 9, c'est-
à-dire, que 8 degrés de celui de 800 en vaudront 9 de
celui de 900. Ainsi ces deux thermometres étant exposés
à la même température d'air, si la liqueur du premier est
élevée à 16 degrés, celle du second le sera à 18. Il en sera
de même de ceux où le volume condensé par la congélation
est exprimé par tout autre nombre exact de 100^{es}. Mais
des nombres rompus, comme 813, 743, rendroient la
comparaison des degrés embarrassante, rarement la pourroit-
on faire sur le champ, c'est ce qui nous a fait rejeter ces fortes
de nombres. J'aimerois pourtant mieux qu'on exprimât le
volume de la liqueur par le même nombre de centaines sur
tous les thermometres: il y a mille gens parmi ceux qui se
servent de thermometres, que des réductions aussi simples

que les premières dont nous venons de parler, embarrasseroient. Je voudrois donc, en leur faveur, que le terme de la congélation de l'eau fût exprimé par un même nombre sur tous les thermometres : 1000 est celui que j'ai pris pour ceux que j'ai fait faire. Au moyen des grandes mesures de 1000, ou de 975, de différentes capacités, il fera toujours aisé de construire les thermometres sur ce nombre. Un qui auroit été construit sur 800, 900, peut aussi y être ramené, pourvu qu'on se donne la peine d'y mettre une nouvelle échelle de degrés. Dès que le nombre de 800, par exemple, est pris pour 1000, 8 des anciens degrés en valent 10 des nouveaux, 4 des anciens en valent 5 de ceux-ci. Pour construire la nouvelle échelle, il n'y a qu'à diviser 4 degrés en cinq. Le compas de proportion facilitera cette division, & elle ne produira aucun changement sensible dans les rapports que les degrés doivent avoir entr'eux, si quand on divise les quatre degrés en cinq, on marque d'abord les deux nouveaux degrés, de façon que le premier soit pris sur la partie la plus basse, du plus bas des quatre, & le cinquième sur la partie la plus élevée du quatrième. Il en seroit de même de toute autre réduction, comme de 900 à 1000.

Quand on n'aura point éprouvé soi-même combien les procédés que nous avons expliqués pour graduer les thermometres sont aisés à pratiquer, on aura peine à croire qu'ils donnent des mesures aussi exactes qu'ils les donnent réellement. Au moyen des petites mesures remplies avec le mercure, chaque degré est déterminé avec une extrême précision. Il paroît peut-être plus difficile de mesurer la capacité de la boule & de la partie du tube qui contiennent la liqueur, dont le volume est condensé par la congélation de la glace artificielle. Cette capacité est de 1000 mesures : sur 1000 mesures, ne se trompe-t-on point de quelques-unes ? Je répondrai que si on est attentif, on ne se trompe pas d'une seule mesure. Mais se trompât-on de deux ou trois, ce ne seroit pas une source d'erreur considérable : car supposons qu'au lieu de 1000 on eût mis 1002 mesures, voyons où iroit l'erreur,

dans un cas qui donnera idée de ce qu'elle pourroit être dans les autres. Que le thermometre, dont le volume de la liqueur condensée par la congélation artificielle est exactement 1000, marque 20, celui dont le volume de la liqueur condensée est 1002, marquera alors 20 degrés plus $\frac{2}{33}$ de degré. L'erreur sur 20 degrés sera donc de $\frac{2}{33}$ de degré, & sur 40 degrés qui est un terme d'un chaud excessif, de $\frac{4}{33}$. Erreurs assez petites pour pouvoir être négligées.

Nous avons remis jusq'ici tout ce qui est de discussion; la premiere qui se présente est de sçavoir si le terme de la congélation de l'eau est assez fixe pour que nous puissions nous y tenir: si toute glace artificielle, dans le temps qu'elle se forme, a un égal degré de froid. Nous sçavons que pendant l'hyver le degré de froid de la glace n'est pas à beaucoup près toujours le même. J'ai fait, dans le mémorable hyver de 1709, des expériences sur une glace dont le froid surpassoit extrêmement celui des glaces ordinaires. Je ne me suis point avisé alors d'observer, dans l'instant même où cette glace se formoit, si elle étoit plus froide que de la glace artificielle. Mais quoique la glace soit susceptible d'une plus grande augmentation de froid, il ne s'ensuit nullement qu'il y ait de la glace d'eau pure, qui, quand elle se forme, soit plus froide que d'autre glace. C'est un fait qui mérite d'être éprouvé. Cependant, quel qu'en soit le succès, il ne fait rien contre le degré de froid de notre glace artificielle: car je suppose que nous faisons congeler de l'eau dans un air moins froid que la glace. Or dans cette supposition, tout le froid que prend l'eau qui se gele, ne peut être produit que par la glace & les sels qui environnent le vase où elle est contenue: cette eau reste liquide, eau ordinaire, tant qu'elle n'a pas pris assez de froid, tant qu'elle n'a pas perdu assez de la matiere qui entretient le mouvement de ses parties. Mais quand le mouvement de ses parties s'arrête, quand elle commence à se figer, il paroît que ce doit toujours être quand il ne lui reste plus qu'une certaine quantité déterminée de la matiere nécessaire à la mettre en mouvement, ou, ce qui est la même chose, à l'échauffer.

Il reste pourtant encore une difficulté considérable, elle naît d'observations curieuses que nous devons aux thermomètres. De l'eau, exposée l'hyver à un air qui a un certain degré de froid, gele : exposée d'autres jours de l'hyver à un air qui a un plus grand degré de froid, elle ne gele pas. Il y a plus : le dégel commence souvent, la glace commence à se fondre, quoique le thermometre marque un degré de froid beaucoup plus grand que celui qu'il marquoit lorsque la glace s'est formée. Mais avant de rendre raison de ces faits, toutes leurs circonstances demandent à être mieux examinées que je ne l'ai fait jusqu'ici : l'hyver où nous allons entrer me mettra apparemment en état de faire cet examen.

Après tout qu'en résulte-t-il ? c'est que l'air n'est pas toujours en état, quoiqu'également froid, de glacer l'eau : qu'il peut même la fondre quelquefois, quoiqu'il ait un degré de froid supérieur à celui avec lequel il l'a gelée. Mais notre glace artificielle n'est exposée à aucune des variétés que l'air nous fait voir dans celle dont il occasionne la production par son attouchement. 1°. La nôtre est faite dans un temps où l'air ne pourroit agir que pour la fondre. 2°. Elle est produite par un mélange de sels & de glace plus froid alors que l'air. 3°. Enfin nous prenons la précaution de couvrir le vase qui contient l'eau qui doit être gelée, & celui qui contient le mélange de glace & de sels, de le couvrir, dis je, d'un linge sur lequel est étendue une couche de glace. Cette couche de glace dérobe à l'action, ou à la plus grande partie de l'action de l'air extérieur, toute l'eau qui doit se geler, & le mélange de glace & de sels.

Mais ce qui vaut mieux que tous les raisonnemens précédens, & qui est, ce me semble, sans réplique, c'est que j'ai fait des glaces en différens saisons de l'année; j'en ai fait dans des jours sereins & dans des jours pluvieux, pendant que différens vents souffloient, & ces glaces ont toujours fait descendre le thermometre au terme marqué pour la congélation artificielle.

Passons enfin au dernier point fondamental de la cong-

truction des thermometres, & à celui qui jusqu'ici a été négligé. Nous avons vû combien il est essentiel que la qualité de l'esprit de vin qu'on y fait entrer soit connue & bien déterminée, sans quoi on aura eu beau bien déterminer un point fixe d'où partent les degrés; ces degrés auront eu beau être mesurés exactement, & pris chacun égaux à une certaine partie du volume de la liqueur, différens thermometres exprimeront les augmentations de froid & de chaud par des nombres de degrés qui ne seront pas comparables, s'ils sont remplis d'esprits de vin plus dilatables les uns que les autres, dans des proportions à nous inconnues. Il est donc absolument essentiel d'avoir une méthode qui fasse connoître la qualité de l'esprit de vin dont on veut voir les augmentations & les diminutions de volume dans le thermometre.

Dans les Mémoires de l'Académie de l'année 1718 nous en avons un de M. Geoffroy le jeune sur la maniere de mesurer la force des eaux-de-vie, où, après avoir examiné les moyens dont on s'est servi jusqu'ici pour y parvenir, après avoir fait voir combien ils sont imparfaits, il en propose un nouveau qui promet plus d'exacritude, & qui en donne aussi davantage; c'est de remplir un petit vase cylindrique de l'eau-de-vie dont on veut connoître la force, de poser ce petit vase dans un autre qui est plein d'eau, de mettre alors le feu à l'eau-de-vie, & de la laisser brûler autant qu'elle le peut. Il a poussé même la précaution jusqu'à faire couler continuellement de nouvelle eau dans le vase qui contient celui où l'eau-de-vie brûle, afin d'entretenir cette eau dans un degré de chaleur toujours égal. Après que l'eau-de-vie a été brûlée, il reste une certaine quantité d'eau ou de flegme. Il mesure la hauteur, ou, ce qui est la même chose, la quantité du flegme resté: de deux eaux-de-vie, celle-là est la plus forte qui laisse une moindre quantité de flegme.

Plus l'esprit de vin contenu dans le thermometre est rectifié, plus il parcourt de chemin pendant qu'il se fait un changement dans la température de l'air qui l'environne. A cet égard il vaut mieux employer un esprit de vin plus fort,

qu'un qui l'est moins. Si cependant la qualité d'un esprit de vin foible, d'une eau-de-vie même, étoit plus aisée à déterminer que celle d'un esprit de vin rectifié, on pourroit faire des thermometres avec de l'eau-de-vie. Ce qu'on leur a ôté, en se servant d'une liqueur moins dilatable, il seroit aisé de le leur rendre en augmentant le diametre de la boule, sans augmenter celui du tuyau. Aussi m'étois-je proposé de faire entrer dans les thermometres une eau-de-vie, qui, après avoir été brûlée, laisât une quantité de flegme connue : par exemple, un quart de son premier volume. La méthode que nous venons de rapporter, me paroïssoit très-propre à fixer la qualité de celle dont je voudrois faire usage. C'a été avec regret que j'ai appris, par des expériences réitérées, que cette méthode, qui pouvoit être bonne pour le cas où on l'a employée, pour juger une contestation entre des Marchands sur la qualité des eaux-de-vie, pour distinguer des eaux-de-vie entre lesquelles il y a des différences considérables, ne donnoit pas des mesures d'une exactitude telle qu'il la falloit à des expériences physiques fort délicates. J'ai, à dessein, affoibli de l'esprit de vin : tantôt sur quatre mesures d'esprit de vin j'en ai mis une d'eau : tantôt j'ai mis la même mesure d'eau seulement sur trois mesures du même esprit de vin : tantôt j'ai mêlé ensemble un égal nombre de mesures d'eau & d'esprit. J'ai fait des mélanges en diverses autres proportions moyennes, & cela pour avoir des eaux-de-vie de différentes forces. J'ai ensuite éprouvé si en faisant brûler ces différentes eaux-de-vie, avec toutes les précautions possibles, je trouverois des résidus de flegme proportionnés aux différentes qualités connues de ces eaux-de-vie ; & j'ai vû que cette sorte d'épreuve ne répondoit pas assez à ce que j'en avois attendu. La même eau-de-vie a laissé souvent des résidus de flegme aussi différens entr'eux que pourroient l'être ceux de deux eaux-de-vie de qualités différentes ; & deux eaux-de-vie de qualités différentes m'ont souvent laissé le même résidu. Un rien est capable de faire que la flamme s'éteigne plutôt

dans une expérience que dans l'autre, le plus léger soufflé d'air y suffit quelquefois. Pour remédier à l'agitation de l'air, j'avois pourtant encore ajouté aux précautions demandées dans le Mémoire que je viens de citer. J'ai fait brûler mes essais d'eaux-de-vie dans des endroits clos, tels que sont les lanternes des balances d'Essayeurs. Au lieu d'entourer d'eau le vase dans lequel la liqueur brûloit, je l'ai souvent entouré de glace. Mais en un mot, quelque chose que j'aye fait & tenté, je n'ai pû, par cette méthode, parvenir à déterminer avec assez de précision la qualité de l'eau-de-vie que je destinois à des thermometres.

Il est même à remarquer que ces épreuves ne m'ont jamais rendu toute la quantité d'eau que j'avois fait entrer dans l'esprit de vin : lorsque la partie spiritueuse s'élevoit en flamme, non-seulement elle enlevoit tout le flegme qui lui étoit comme propre, elle enlevoit encore une bonne portion de celui que je lui avois joint, & cela avec des variétés qui n'eussent pas permis de porter de jugement sur les proportions du mélange, à qui les auroit ignorées.

Forcé d'abandonner cette voie, j'en ai cherché une autre qui donnât des mesures plus exactes des qualités des eaux-de-vie & des esprits de vin. Il s'en présentoit naturellement une, propre même à faire connoître immédiatement la qualité de la liqueur d'où l'effet des thermometres dépend, c'est de reconnoître de combien une liqueur se dilate depuis un certain terme de froid ou de moindre chaud jusqu'à un autre terme connu d'un plus grand chaud. Ces deux termes doivent être fixes & assez éloignés l'un de l'autre pour donner des différences saisissables. Nous les avons dans la congélation artificielle de l'eau, & dans le degré de chaleur de l'eau bouillante : mais j'avois eu occasion, il y a long-temps, de m'appercevoir que l'esprit de vin bout avant que l'eau, dans laquelle est plongée la bouteille qui le contient, soit parvenue à bouillir. Si on continue à faire chauffer de l'esprit de vin qui a commencé à bouillir, si on lui fait prendre le degré de chaleur de l'eau bouillante, il bout encore plus fortement.

L'irrégularité

L'irrégularité qui est dans le nombre & dans la grosseur des bulles qui sont à la surface de celles qu'on voit s'élever continuellement du fond du vase, & de celles qui sont par-tout parsemées dans la liqueur, ne permettent pas de déterminer avec précision le volume que la chaleur de l'eau bouillante fait prendre alors à l'esprit de vin. Ce sont ces considérations qui m'avoient arrêté : je ne suis venu à chercher les moyens de remédier à l'inconvénient des bouillonnemens que quand j'ai vû que j'en avois absolument besoin. Tous les jours la théorie nous montre comme simples des procédés qu'on reconnoît impraticables quand on veut en faire usage : au contraire une infinité de procédés paroissent dans la théorie tous pleins de difficultés qui s'évanouissent dans la pratique. J'ai voulu voir si les bouillonnemens de l'esprit de vin ne seroient point de ces difficultés qui semblent plus grandes à surmonter qu'elles ne le sont réellement. Dans un petit matras *, dont le col étoit assez délié, j'ai versé de l'esprit de vin jusqu'au dessus de l'origine du col *; j'ai mis ce matras dans l'eau, que j'ai fait chauffer peu à peu jusqu'à ce qu'elle vint à bouillir. L'esprit de vin a commencé, à l'ordinaire, à donner des bouillons avant qu'il en parût sur l'eau; j'ai retiré le matras de l'eau, & j'ai vû aussi-tôt tout bouillonnement cesser. J'ai marqué l'endroit du col du matras où étoit resté l'esprit de vin immédiatement après que les bouillonnemens avoient été apaisés*; ensuite j'ai de nouveau plongé le matras dans l'eau bouillante; la liqueur s'est élevée dans le col au-dessus du terme que j'avois marqué, après quoi elle a recommencé à bouillir : mais ce qui est à remarquer, c'est que lorsqu'elle a recommencé à bouillir, elle étoit plus haut que le terme où les bouillonnemens avoient cessé la première fois. Je l'ai encore retirée alors. Tout bouillonnement a encore été apaisé dans un instant, & l'esprit de vin s'est trouvé plus élevé encore dans le col du matras qu'il ne l'étoit la première fois *. Ainsi je l'ai retiré, & je l'ai replongé plusieurs fois de suite jusqu'à ce que l'eau commençât à bouillir, & même pendant que l'eau bouilloit

* Fig. 11.

* ff.

* gg.

* hh.

fortement. J'ai toujours vû les bulles, tant de la surface, que celles qui montoient du milieu de l'esprit de vin, disparoître un instant après que l'esprit de vin étoit tiré de l'eau, & sa surface supérieure s'applanir. Cette surface s'est élevée de plus en plus jusqu'à un certain point; quand elle a été arrivée une fois à ce point*, chaque fois que je remettois le matras dans l'eau bouillante, les bouillonnemens de l'esprit de vin s'élevoient : mais dès que je retirois le matras, & que les bouillonnemens étoient arrêtés, la surface applanie de l'esprit de vin se retrouvoit toujours vis-à-vis ce même point du col du matras. J'ai donc crû devoir regarder ce terme comme le terme fixe du plus grand degré de dilatation où la chaleur de l'eau bouillante pouvoit porter l'esprit de vin que j'essayoies sans le faire bouillir: & j'ai crû que ce terme seroit de même saisissable pour tout autre esprit de vin, & pour toute eau-de-vie, qu'il donneroit une manière assez aisée & assez précise de reconnoître le degré de dilatabilité de chacune de ces especes de liqueurs, & une manière de les caractériser.

* Fig. 12. ii.

* Fig. 12.

** C C.

* C C.

Pour voir si des expériences plus suivies, & faites avec plus de précautions, me confirmeroient dans cette idée, j'ai suivi la même route que j'ai indiquée pour la construction des thermometres : après avoir choisi un petit matras de verre dont le col étoit assez délié, j'ai rempli le matras jusqu'un peu au-dessus de l'origine de son col avec de petites mesures* : il en est entré 400 jusqu'à l'endroit désigné**. J'ai marqué cet endroit avec un fil lié autour du col : alors j'ai mis le matras dans une boîte de fer blanc, que j'ai posée dans une boîte plus grande remplie de glace pilée, & mêlée avec du sel. En un mot, j'ai fait geler l'eau qui entouroit le matras. L'esprit de vin est descendu au-dessous du fil. J'ai fait entrer dans le matras autant de mesures qu'il en a fallu, afin que l'esprit de vin se trouvât encore à la hauteur du fil*. Enfin mon fil m'a marqué le terme d'un volume de 400 mesures d'esprit de vin condensé par la congélation artificielle de l'eau. Ce que je cherchois étoit d'avoir en parties

de ce même volume, sa différence avec le volume de la même quantité d'esprit de vin dilaté par la chaleur de l'eau bouillante. J'ai donc fait chauffer & bouillir de l'eau. A la vapeur feule de l'eau bouillante j'ai échauffé le matras qui contenoit l'esprit de vin. Quand je l'ai jugé assez échauffé, pour qu'il n'y eût pas à craindre que la chaleur de l'eau bouillante le fit casser, je l'ai enfoncé peu-à-peu dans cette eau : bientôt l'esprit de vin a commencé à bouillir, & aussitôt j'ai retiré le matras. J'avois eu la précaution d'entourer son col d'un second fil que je pouvois faire glisser en montant. Avec ce fil j'ai marqué l'endroit où l'esprit de vin étoit resté après que les bouillonnemens avoient été appaisés. Aussitôt j'ai remis l'esprit de vin dans l'eau bouillante. Il s'est élevé au-dessus du fil, & bientôt il a bouilli. J'ai retiré le matras. J'ai élevé le fil jusqu'à l'endroit où l'esprit de vin s'est trouvé après que les bulles ont eu disparu. Quand j'ai eu répété ce manège cinq à six fois au plus, le terme de l'élévation marquée par le fil, après les bouillonnemens cessés, s'est trouvé constamment le même *, ainsi je l'ai regardé comme le terme de la

* Fig. 12. n.

plus grande dilatation que l'eau bouillante pouvoit donner à cet esprit de vin sans le faire bouillir. Dans d'autres expériences, dont il suffira de rapporter les résultats, j'ai suivi de pareils procédés. Pour achever celle que nous avons commencé à détailler, il ne restoit plus qu'à mesurer la capacité de l'intervalle compris entre les deux fils *, en mesures pa-

* cc, ii.

reilles à celles dont il y avoit 400 jusqu'au premier fil, jusqu'à celui qui marquoit le terme de la congélation artificielle. J'ai trouvé que cet espace contenoit 35 de ces mesures. Ainsi le volume de l'esprit de vin, qui condensé par la glace artificielle, étoit 400, raréfié par la chaleur de l'eau bouillante, étoit 435. Cet esprit de vin étoit du meilleur qui se trouve ordinairement chez les Marchands. Brûlé dans la cuillière, il ne laissoit point d'eau, il allumoit la poudre. Mais on sçait combien ses qualités sont peu déterminées par ces dernières propriétés, qu'elles peuvent convenir à des esprits de vin plus ou moins rectifiés, au lieu que le caractère de cet esprit

P p p ij

484 MEMOIRES DE L'ACADÉMIE ROYALE
de vin est bien déterminé, quand on dit qu'il est tel que son volume condensé par la glace artificielle est à son volume dilaté par la chaleur de l'eau bouillante, comme 400 est à 435, comme 80 est à 87. Un esprit de vin plus rectifié que celui dont il s'est agi jusqu'ici, donnera une plus grande différence entre les deux volumes, & un esprit de vin plus foible en donnera une plus petite.

Pour m'assurer si les rapports se trouveroient tels qu'on les devoit attendre dans les esprits de vin les plus foibles, j'ai commencé par m'assurer des degrés de dilatabilité de l'eau de Seine compris entre le terme de la glace artificielle, qui ne suffit pas pour geler l'eau renfermée dans un vase qu'elle environne, & le degré de dilatation produit par l'eau bouillante. J'ai trouvé que le premier volume de l'eau étoit au second, environ comme 400 à 415. J'ai mêlé de cette eau, dont les degrés de dilatabilité étoient connus, avec de l'esprit de vin de ma première épreuve, en mettant une mesure d'eau sur trois d'esprit de vin. Une quantité de cet esprit de vin affoibli, dont le volume, condensé par la glace artificielle, étoit de 400 mesures, a été raréfiée par la chaleur de l'eau bouillante, & son volume est devenu à peu-près de 430 mesures. Le rapport du premier volume a donc été à celui du second, comme 400 à 430, qui est précisément le rapport qui devoit naître du mélange que j'avois fait : car le volume total, pendant la condensation, étoit composé de 300 mesures d'esprit de vin, & de 100 mesures d'eau : or nous sçavons que 400 mesures de cet esprit de vin condensé, étant ensuite dilatées par l'eau bouillante, seroient devenues 435 mesures, ou 400 auroient donné une augmentation de 35. d'où il suit que l'augmentation donnée par 300 mesures est de 26 mesure & $\frac{1}{4}$ de mesure. De même 400 mesures d'eau condensée ayant dû donner par la dilatation une augmentation de 35 mesures, 100 mesures doivent donner 3 mesures & $\frac{3}{4}$. Or l'augmentation du volume de notre esprit de vin affoibli étoit composée de l'augmentation donnée par 300 mesures d'esprit de vin, & de l'augmentation donnée

par 100 mesures d'eau : la première est $26\frac{1}{4}$, & la seconde $3\frac{1}{4}$: les deux ensemble font 30, qui est précisément la quantité qui a été trouvée par l'expérience dont l'exactitude a passé ce que j'en devois attendre ; aussi n'en ai-je pas toujours eu une aussi grande dans celles que j'ai répétées sur des mélanges faits en d'autres proportions : mais elle a toujours été aussi approchée que je le pouvois demander.

J'ai encore trouvé la même exactitude dans un mélange fait d'un égal nombre de mesures d'esprit de vin & d'eau. Le volume de cette eau-de-vie, ou de cet esprit de vin foible, qui condensé par la congélation artificielle, étoit de 400 mesures, a crû par la chaleur de l'eau bouillante jusqu'à devenir 425.

Mais quand il arriveroit, par quelques circonstances particulières, que le volume composé ne seroit pas précisément d'un degré de dilatabilité égal à celui qui doit résulter de ce que doivent fournir chacun des composans, la construction des thermometres n'en souffriroit point, pourvu qu'on s'assûrât du degré de dilatabilité qu'a l'esprit de vin affoibli qu'on y employe. Au reste, non-seulement il peut y avoir des circonstances qui empêchent que le degré de dilatabilité du volume composé ne soit égal à celui qui résulte de ce que doivent fournir chacun des composans, il y en a réellement de telles, mais nous ne les examinerons pas aujourd'hui ; elles tiennent à quelques autres faits physiques dont l'examen nous meneroit loin, ce sera matière suffisante à un autre Mémoire : mais les différences qui en naissent sur la dilatabilité de l'esprit de vin allié ne donnent pas de différences considérables dans la pratique.

Nous pouvons donc nous en tenir à cette méthode, non-seulement pour caractériser les esprits de vin plus ou moins rectifiés, mais aussi pour déterminer les degrés de force des différentes eaux-de-vie, & les comparer entr'eux. Car avant pris un esprit de vin d'une certaine dilatabilité connue, pour terme fixé, on reconnoitra par les épreuves de la dilatabilité des eaux-de-vie qu'on a à essayer, combien il faudroit ajouter

d'eau à cet esprit de vin pour le réduire à être une des eaux-de-vie soumises à l'examen, ou, ce qui est la même chose, quelle quantité d'esprit de vin semblable à celui qui a été pris pour terme, & quelle quantité d'eau ou de flegme sont mêlées ensemble pour composer l'eau-de-vie dont il s'agit. L'utilité de cette méthode ne se borne pas à la construction des thermometres, il est une infinité d'autres cas, sur-tout dans le commerce, où la connoissance des qualités des eaux-de-vie & de celles des esprits de vin est importante.

Mais nous devons avertir que pour faire exactement l'essai de la dilatabilité de ces liqueurs, il est essentiel de se servir d'un vase de la forme d'un matras, ou d'une forme approchante, je veux dire que le vase doit avoir un col long, qui ne soit pas extrêmement délié. Si au lieu de matras on se feroit d'une boule de thermometre adaptée à un tuyau de médiocre grosseur, les bulles d'air trouveroient trop de difficulté à monter, elles élèveroient l'esprit de vin par vibrations. Dans des cols même assez gros, on pourra être surpris par des jets d'esprit de vin qui s'élèveront subitement à une grande hauteur, qui sortiront du matras, & qui troubleront l'épreuve, si on n'est pas attentif à retirer la boule de l'eau chaude, ou bouillante, dès que l'esprit de vin commence à bouillir. En un mot ces épreuves, pour ainsi dire, du titre de l'esprit de vin & de l'eau-de-vie, ne seront exactes que quand elles seront faites avec les circonférences qu'elles demandent, que quand elles auront même été répétées plusieurs fois. Quelque sûres que soient les règles qui font connoître les titres de l'or & de l'argent, ces règles, pour être bien mises en pratique, demandent à l'être par gens intelligens, & même qui y soient exercés.

Tout ce qui doit être mesuré physiquement, ne peut l'être que dans une exactitude physique qui ne donne jamais que des à peu près, mais qui ordinairement nous suffisent. Une circonstance accompagne nécessairement nos épreuves des esprits de vin & des eaux-de-vie, qui empêche que les résultats n'en soient absolument tels qu'ils devroient être. II

faudroit que la liqueur condensée par la glace, & que la même liqueur rarifiée par l'eau bouillante se trouvât toujours dans une mesure d'une même capacité : or la mesure, de quelque matière qu'elle soit faite, est elle-même condensable & rarifiable ? Quand le froid de la glace agit sur le matras, il le resserre, il diminue sa capacité : au contraire la chaleur de l'eau bouillante augmente sa capacité, elle le dilate. La capacité du matras, qui, mesurée dans un air tempéré, a été trouvée 1000, n'est plus 1000, lorsque ce matras est resté dans l'eau gelée, & est plus de 1000, lorsqu'il a été échauffé par l'eau bouillante. Nous mesurons les capacités des matras dans un air tempéré, il arrive donc que l'endroit marqué pour contenir un volume de liqueur appelé 1000, ne le contient pas, lorsque la glace l'a eu refroidi ; & que l'endroit du matras marqué pendant qu'il étoit échauffé par l'eau bouillante, pour 1075, par ex. ou 1080, a alors une capacité qui surpasse ce nombre. On ne peut éviter ces alternatives de diminutions & d'augmentations dans la capacité du matras : mais il m'a semblé qu'on pouvoit les évaluer à peu près, & être ensuite en état de faire des corrections aux résultats donnés par les essais, ou de juger s'il y a des corrections qui méritent d'être faites. Voici comment je m'y suis pris. J'ai mesuré dans un air tempéré la capacité d'un matras avec de l'eau, 1200 mesures y ont été versées pour le remplir jusqu'à l'endroit du col que j'ai marqué avec un fil. J'ai vuide ce matras, & vuide, je l'ai entouré d'eau que j'ai fait geler. Alors je l'ai rempli avec l'eau, dont le froid étoit à peu près égal à celui des parois du vase avec de l'eau prête à se glacer : 1199 mesures de cette eau se sont élevées jusqu'au fil ; donc la capacité étoit diminuée d'une mesure, ou de $\frac{1}{1200}$. La même voie n'a pas aussi bien réussi, pour mesurer l'augmentation produite par l'eau bouillante, parce qu'il est difficile de remplir les petites mesures avec une eau extrêmement chaude. Une autre voie supplée en quelque sorte le matras plein d'eau jusqu'au fil a été plongé brusquement dans l'eau bouillante, & heureusement il ne s'est point cassé ; l'eau a descendu sur le champ dans le col du ma-

tras. Il y a long-temps que les thermometres ont fait observer quelque chose de pareil , qu'on a vu que leur liqueur , loin de monter descend, lorsqu'on échauffe subitement leur boule. On sçait aussi que si la liqueur descend alors , c'est que les parois de la boule sont échauffées avant que la liqueur qu'elle contient , l'ait été sensiblement , que sa capacité est augmentée, avant que le volume de la liqueur ait eu le temps de croître. Dans notre expérience notre esprit de vin est descendu d'une mesure ou environ, donc la capacité du matras a été augmentée d'une mesure : d'où il suit que si on néglige d'estimer la dilatation & la contraction du vase, un esprit de vin dont l'étendue de la dilatabilité auroit été prise dans ce cas de 400 à 435 , ou de 1200 à 1305 , sera de 1199 à 1306 , si on tient compte , comme on le doit, de ce dont la capacité du matras se resserre & se dilate. Au lieu de mesurer cette capacité dans l'air tempéré, on peut la mesurer dans l'eau gelée, & avec de l'eau prête à geler, comme nous venons de le faire , & alors le fil marquera réellement un volume de 1200 parties ou mesures dans le temps de la congélation. Pour rectifier ce que l'essai donnera , il n'y aura donc qu'à ajouter ce que l'augmentation du volume du vase exige qu'on y ajoute , ce qui n'ira qu'à une mesure sur l'accroissement qu'a paru recevoir un volume de 1200 , & à peu près à $\frac{1}{3}$ de mesure sur un volume de 400. Ainsi le volume d'esprit de vin , qui condensé , seroit 400 , & trouvé par l'essai 435 , devroit être estimé de $435 \frac{1}{3}$. Il faut pourtant remarquer que ce seroit trop ajouter au volume de 400 que le tiers d'augmentation de celui de 1200 : car les dilatations produites dans les boules par la chaleur , suivent le rapport des diametres , ou des circonferences de ces boules, & les capacités des boules sont en raison des cubes des diametres augmentés.

Pour avoir des thermometres , dont les degrés fussent exactement & commodément comparables en tout pays , il seroit nécessaire que les Sçavans voulussent bien convenir du choix d'un esprit ; qu'ils exigeassent que tous les thermometres

thermomètres fussent remplis de celui qu'ils auroient jugé le plus convenable. Leur choix ne devoit pas tomber, ce me semble, sur un esprit de vin très-rectifié : on ne pourroit pas en recouvrer de tel par-tout. Un dont la dilatation comprise entre nos deux termes est de 32 mesures sur 400, est plus foible que ceux qui se trouvent communément : il seroit toujours aisé d'en avoir de tel, ou de ramener à cette condition ceux qui seroient plus forts. Les huit mesures de dilatation qu'il donne sur 100, est un nombre dont le partage est commode : c'est ce qui m'a déterminé à le faire employer jusqu'à ce qu'on paroisse incliner davantage pour un autre, soit plus fort, soit plus foible.

Mais quel que soit l'esprit de vin, en faveur duquel on se détermine, on n'obmettra pas d'écrire son degré de dilatabilité sur la planche du thermomètre. On écrira, par exemple, en haut : *Esprit de vin, dont le volume condensé par la congelation de l'eau est 1000, & raréfié par l'eau bouillante est 1080.* Dans ce cas, si le thermomètre a assez de hauteur, le degré de dilatation marque d'un côté 80, & de l'autre 1080 sera le terme de l'eau bouillante. Si la hauteur du thermomètre n'a pas permis d'écrire jusques-là la suite des degrés, on verra ceux qui manquent à cette suite. Il importe peu d'ailleurs qu'elle se trouve entière sur les thermomètres, qui ne doivent nous apprendre que la température de l'air : jamais sa chaleur n'approche de celle de l'eau qui bout.

Lorsqu'on aura de l'esprit de vin, dont l'étendue de la dilatabilité surpassera celle que l'on veut à celui qui doit remplir le thermomètre, on diminuera la dilatabilité du premier : on la réduira à devenir égale à celle de l'autre, en mêlant de l'eau avec l'esprit de vin trop fort ou trop dilatable. On y parviendroit par des tâtonnemens : mais dès qu'on connoît le degré de dilatabilité de l'esprit de vin, & qu'on a celui de l'eau, il est aisé de trouver en quelle proportion l'alliage doit être fait pour que la liqueur composée, l'esprit de vin affoibli, n'ait précisément qu'un certain degré de dilatabilité moyen, tel qu'on le voudra. En voici la règle.

Mem. 1730.

Q 99

Soit prise la différence entre la dilatabilité de l'eau, & la dilatabilité moyenne qu'on veut avoir.

Soit prise aussi la différence entre cette dilatabilité moyenne & celle de l'esprit de vin donné.

Si on mêle un nombre de mesures d'esprit de vin égal au nombre exprimé par la différence entre la dilatabilité de l'eau & la moyenne, avec un nombre de parties d'eau égal au nombre qui exprime la différence entre la dilatabilité de l'esprit de vin donné & la moyenne, on aura un esprit de vin affoibli, dont la dilatabilité sera celle qu'on veut avoir. Par exemple, on a un esprit de vin dont la dilatabilité est de 35 mesures sur 400, & on en veut un dont la dilatabilité soit seulement de 30 sur 400. Je suppose la dilatabilité de l'eau exactement de 15 sur 400. Cela étant, la dilatabilité moyenne qu'on veut avoir est 30.

La différence entre la dilatabilité de l'eau & la moyenne, est donc 30 moins 15, ou 15.

La différence entre la dilatabilité de l'esprit de vin qu'on a, & la moyenne qu'on lui veut, est 35 moins 30, ou 5.

La regle est de mêler 15 mesures d'esprit de vin avec 5 mesures d'eau, & l'esprit de vin affoibli par cet alliage n'aura que 30 mesures de dilatabilité.

L'usage de cette regle fera également simple pour tous les autres cas.

Quand la différence des qualités des esprits de vin de deux thermometres sera connue, on pourra faire une sorte de comparaison des degrés de ces thermometres: mais ce ne sera qu'une sorte de comparaison, indépendamment de la peine du calcul, qui pourroit avoir ses difficultés, elle ne sçauroit être exacte. Une observation que nous n'avons pas encore rapportée, & digne de l'être, va apprendre pourquoi il seroit difficile de ramener à des mesures semblables les degrés des thermometres qui contiennent des esprits de vin de différentes qualités, c'est que les degrés de raréfaction de l'eau ne sont pas, à beaucoup près, proportionnels aux degrés de raréfaction de l'esprit de vin. Pour l'expliquer & le prouver en même temps

par un exemple, je prends un esprit de vin qui, depuis le terme de la congélation jusqu'à celui de la chaleur de l'eau bouillante, se dilate de 30 mesures, & de l'eau qui, du premier des deux termes au second, se dilate de 15. La somme des dilatations d'une des liqueurs est à la somme des dilatations de l'autre, comme 2 à un : mais les degrés par où elles passent l'une & l'autre, pendant que certains degrés de chaleur agissent sur elles, ne sont pas dans cette proportion, à beaucoup près. Une après-midi d'un de nos jours d'été assez chaud, je mis dans un matras 400 mesures d'eau, & j'exposai ensuite ce matras au froid de la congélation artificielle. Ce froid ne fit descendre l'eau, ne la condensa que d'une demi-mesure ou environ. Le rétrécissement du vase la faisoit paroître, à la vérité, moins condensée qu'elle n'étoit : mais les expériences rapportées ci-devant ont prouvé que ce ne pouvoit être que de $\frac{1}{2}$ de mesure : supposons pourtant que ce fut d'une demi-mesure. Ainsi l'eau s'étoit au plus condensée d'une mesure entière. L'esprit de vin auquel je la compare, exposé au même froid, est descendu de près de 10 mesures. Pendant que l'eau s'est condensée d'une mesure, l'esprit de vin s'est donc condensé de 10 : de sorte que dans l'intervalle qui est depuis la congélation de l'eau jusqu'à une chaleur assez considérable pour les habitans de Paris, l'eau se raréfie au plus d'une mesure, pendant que l'esprit de vin se raréfie de 10 des mêmes mesures. Le rapport de la raréfaction de l'eau à la raréfaction de cet esprit de vin dans cet intervalle, est donc à peu près comme 1 à 10 ; au lieu que la dilatation de l'eau, depuis la congélation jusqu'à la chaleur de l'eau bouillante, est à la dilatation du même esprit de vin entre ces deux termes comme 1 à 2.

Dès que l'eau est si peu dilatée par une suite de degrés de chaleur qui dilatent assez considérablement l'esprit de vin, & qu'une autre suite de plus grands degrés de chaleur ramènent pourtant le rapport entre la dilatation de l'eau & celle de l'esprit de vin à être comme 1 à 2, il y a des degrés d'une chaleur forte, qui composent le peu d'effet des

492 MEMOIRES DE L'ACADEMIE ROYALE
degrés d'une chaleur foible. Peut-être s'en trouve-t-il entre
les degrés forts, qui dilatent autant, ou presqu'autant l'eau,
qu'ils dilatent l'esprit de vin.

De tout ceci on doit conclurre, que si deux thermometres sont remplis de deux esprits de vin de différente dilatabilité, on se tromperoit extrêmement si on évaluoit le rapport du nombre des degrés que l'un & l'autre doivent marquer, exposés à un air de même, ou de différente température, si, dis-je, on évaluoit ce rapport sur celui de l'étendue du degré de dilatabilité des deux esprits de vin. Pour voir combien l'erreur pourroit être considérable, fixons-nous encore à un exemple, sçavoir, à deux thermometres tels que l'esprit de vin de l'un réduit à 400 mesures par la congélation, devienne 435 par la chaleur de l'eau bouillante, & que l'autre thermometre soit rempli d'esprit de vin foible, ou d'eau-de-vie, dont le volume condensé par la congélation étant 400, devient 425, lorsqu'il est dilaté par l'eau bouillante: les jeux de ces thermometres, les étendues des chemins qu'y parcourent les liqueurs, devroient être dans le rapport de 35 à 25. Cela sera vrai aussi, si on prend le chemin depuis le terme de la congélation de l'eau jusqu'à celui de l'eau bouillante. Mais prenons le depuis le terme de la congélation jusqu'à une grande chaleur pour de l'air qui doit être respiré, mais très-différente de celle que le feu donne à l'eau prête à bouillir. Supposons, par exemple, que le premier thermometre, celui qui est rempli de 1000 mesures du plus fort des deux esprits de vin, marque 35 degrés, il s'en faudra bien que l'autre, qui est rempli de 1000 mesures de l'esprit de vin foible, ne marque 25 degrés: car l'eau-de-vie, ou l'esprit de vin foible, dont le degré de dilatation est 25 sur 400, est un mélange de parties égales d'eau & d'esprit de vin, dont la dilatation est 35 sur 400. Or si nous supposons pour un instant que la dilatation de l'eau, qui est très-petite, pendant que le premier thermometre parcourt 35 degrés est nulle, notre second thermometre ne se doit dilater que comme s'il étoit composé de 500

mesures de l'esprit de vin, tel que celui du premier. Si donc dans le premier 1000 mesures de volume donnent 35 degrés dans une certaine température d'air, 500 mesures, qui est la quantité réelle de l'esprit du second thermometre, ne donneront que 17 degrés $\frac{1}{2}$; ou si l'on veut ajoûter le demi-degré, ou le degré, qui peut être survenu aux 500 mesures d'eau, la dilatation sera de 18 ou 18 degrés $\frac{1}{2}$; au lieu donc que le nombre des degrés du premier, entre les termes de la congélation & de la chaleur de l'eau bouillante, est au nombre des degrés du second comme 35 à 25, entre nos deux autres termes il y fera comme 35 à 18 ou à 18 $\frac{1}{2}$.

Il suit pourtant, même de ce que nous venons de dire, que l'on pourra faire une sorte de comparaison des degrés de deux thermometres remplis de différens esprits de vin dont on connoît le rapport de dilatabilité, & que cette comparaison s'éloignera peu de l'exactitude, tant que les degrés n'exprimeront pas un degré de chaleur d'air excessive : car connoissant les rapports de dilatabilité des deux esprits de vin, on connoît aisément, par la regle donnée ci-dessus, la quantité d'eau qui étant ajoûtée au plus fort, le ramene à l'état du plus foible, & on considère l'effet du thermometre rempli de l'esprit de vin le plus foible, comme s'il étoit seulement occupé par un volume d'esprit de vin le plus fort, tel que feroit ce volume, si on eût retranché du volume total l'eau qui y entre, comme on l'a fait dans l'exemple précédent. Deux Observateurs, dans des pays éloignés, ont à comparer leurs observations faites sur deux thermometres qui ont chacun 1000 mesures condensées par la congélation : mais les 1000 mesures de l'un se dilatent par l'eau bouillante de 87 degrés $\frac{1}{2}$, & celles de l'autre seulement de 62 $\frac{1}{2}$. On sçait bien-tôt que l'esprit de vin affoibli, qui ne se dilateroit que de 62 $\frac{1}{2}$, ne contient que 500 parties d'esprit de vin, qui sur 400 se dilatent de 35 : que par conséquent en regardant comme nulle la dilatation de l'eau qui y est mêlée, les degrés de ce thermometre doivent être à ceux du thermometre de 1000 comme 500 est à 1000, comme 1 à 2, excepté ce qu'on

494 MEMOIRES DE L'ACADEMIE ROYALE
évaluera devoir être ajouté pour la dilatation de 500 mesu-
res d'eau.

Une remarque que nous ne devons pas omettre, c'est que toutes les tables ou échelles de degrés de chaleur qu'on a voulu faire jusqu'ici, & que toutes celles qu'on pourroit faire, ne nous donneront jamais des rapports entre les différens degrés de chaleur que nous puissions regarder comme des rapports véritables : en un mot que les degrés de chaleur ne sont point entr'eux comme les degrés de dilatation des différentes liqueurs. Car si on établissoit sa table des degrés de chaleur sur la dilatation de l'eau, certains degrés, dans cette table, se trouveroient très-proches les uns des autres, ne différer que par de petites augmentations du volume de ce liquide, qui différeroient beaucoup si la table étoit construite sur des degrés de dilatation de l'esprit de vin. Différentes autres liqueurs donneroient aussi sans doute d'autres différens intervalles, & feroient juger autrement des rapports des différens degrés de chaleur.

Nous ne pouvons nous refuser ici encore à une autre remarque, un peu étrangère à notre sujet, mais à laquelle il nous conduit, c'est que la dilatabilité de la partie spiritueuse, de la partie inflammable de l'esprit de vin est beaucoup plus grande qu'il ne pourroit sembler, & peut être plus grande que celle de toute matière à nous connue, sans excepter l'air. Il s'en faut bien que l'esprit de vin le plus rectifié que l'art sçait nous donner soit une huile pure, nullement mêlée avec du flegme. Des expériences faites avec grand soin par M. Geoffroy le jeune, ont appris que l'eau étoit plus de la moitié du poids de ce qu'on appelle de très-bon esprit de vin, & nous laissent imaginer qu'elle en est une partie beaucoup plus considérable. Or si nous supposons que l'huile, la matière inflammable, n'est que le quart d'un volume d'esprit de vin, qui condensé par la glace artificielle est 400, & raréfié par la chaleur de l'eau bouillante est 436, l'eau ou le flegme sont les trois quarts de ce volume. Mais si la raréfaction dont ce flegme est susceptible, est prise pour

égale à celle de notre eau, ce qui doit être à peu de chose près, on trouvera que l'étendue de la dilatabilité de la partie inflammable est de 24 mesures $\frac{3}{4}$ sur 100 mesures, ou de 99 sur 400 : car le volume 400 d'esprit de vin est alors composé de 300 parties d'eau & de 100 parties d'huile, ou de matière inflammable : or les 300 parties d'eau ne peuvent être dilatées que de 11 mesures $\frac{1}{4}$, puisque 400 mesures d'eau ne peuvent être dilatées que de 15 mesures. La dilatation totale de l'esprit de vin étant de 36, il faut donc que les 100 parties d'huile ou de matière inflammable fournissent les 24 mesures $\frac{3}{4}$ nécessaires pour remplir le nombre de 36 mesures.

Nous sommes bien éloignés de croire que nous ayons supposé la quantité de la matière inflammable trop petite, en ne la prenant que pour le quart du volume d'esprit de vin, nous sommes même disposés à penser qu'en supposant que la matière proprement inflammable n'est que la huitième, ou même que la seizième partie de ce mélange, nous nous tromperons plutôt pour lui en accorder trop que pour lui en accorder trop peu. En raisonnant comme nous l'avons fait ci-dessus, il est aisé de trouver dans ces cas de combien la matière inflammable est raréfiée par l'eau bouillante. En supposant qu'elle n'est qu'une huitième portion du volume, 100 mesures se dilatent de 45 mesures $\frac{1}{4}$: & en supposant qu'elle n'est que la seizième partie du volume, on trouvera que 100 mesures se dilatent de 87 mesures $\frac{1}{4}$. Voilà la partie spiritueuse ou inflammable conduite à se dilater de près du double par la chaleur de l'eau bouillante : & s'il étoit vrai, comme bien des Physiciens seront enclins à le croire, qu'elle fut encore une portion beaucoup plus petite du volume de l'esprit de vin, que la dernière à laquelle nous nous sommes arrêtés, jusqu'où n'ira point son degré de dilatabilité, borné par le simple terme de la chaleur de l'eau bouillante ? aurié-est il à croire que la matière inflammable a une prodigieuse disposition à se raréfier. Quelle étendue n'occupe pas la poudre quand elle s'enflamme, ou se raréfie au dernier point !

Je sçai qu'on a voulu donner à la raréfaction de l'air celle de la poudre à canon : mais la matiere inflammable est par elle-même peut-être beaucoup plus raréfiable que l'air. L'air ordinaire ne se dilate pas autant par l'eau bouillante : & si l'on veut attribuer à l'air même la dilatabilité de l'esprit de vin, il faut supposer que celui qu'il contient est prodigieusement condensé. Aussi quoique l'eau contienne beaucoup d'air, & peut-être autant & plus que l'esprit de vin, l'eau n'est que très-peu raréfiable en comparaison de ce que l'est la partie spiritueuse de l'esprit de vin.

Mais pour revenir à nos thermometres, nous avons regardé comme un principe certain que l'exactitude de leur graduation demandoit que leurs tubes fussent gros, & que plus les tubes seroient gros, & plus il seroit aisé de les graduer parfaitement : la grosseur des tuyaux engage à une augmentation proportionnelle de celle des boules. Mais nous ne pouvons dissimuler une imperfection à craindre pour les thermometres à grosses boules. Il y a une sorte de sensibilité qu'ils ne sçauroient avoir aussi grande que l'ont les thermometres à petites boules. Je distingue dans les thermometres deux especes de sensibilité, dont la premiere se mesure par la quantité de chemin que parcourt la liqueur dans le tube, pendant qu'il se fait un certain changement dans la température de l'air. Comme celle-ci dépend de la proportion du diametre de la boule à celui du tube, elle peut également se trouver dans les thermometres à grosses boules, & dans les thermometres à petites boules.

Mais il y a une autre espece de sensibilité dans les thermometres, qui seule même mériteroit ce nom ; elle consiste véritablement dans un sentiment plus exquis, en ce qu'un thermometre, plus sensible qu'un autre aux changemens de chaud & de froid, nous apprend plutôt ceux qui se font dans l'air. Les thermometres à air l'emportent en ce genre de sensibilité sur ceux à esprit de vin : l'air reçoit plus vite les impressions du chaud & du froid que l'esprit de vin le plus rectifié ne les peut recevoir. Or entre les thermometres
à

à esprit de vin, ceux-là seront les plus sensibles dans ce point de vûe, dont les boules seront plus petites. Les changemens du froid au chaud, d'un degré de chaud à un autre degré de chaud plus grand, se font dans l'air avant de se faire dans la liqueur du thermometre. L'air, plus chaud que les corps qu'il touche, leur communique de sa chaleur : la boule du thermometre partage avec la couche d'esprit de vin appliquée contre sa surface, les impressions de chaleur qu'elle a reçues. Cette premiere couche d'esprit de vin partage la sienne avec la seconde couche ; ainsi la chaleur, distribuée de couches en couches, est moins grande vers le centre de la boule d'esprit de vin que vers sa surface, & est d'autant moins grande que la boule a plus de diametre. Il en est ici comme du feu qu'on allume autour de deux vases, dont l'un est grand, & l'autre petit, quoiqu'on le fasse agir également sur toute la surface des deux vases, la liqueur contenue dans le petit bouillira plutôt que celle qui sera contenue dans le grand. Aussi si la boule étoit supposée grosse jusqu'à un certain point, il se feroit souvent des changemens du froid au chaud, & du chaud au froid, qui ne seroient pas marqués dans toute leur étendue par le thermometre, car il faudroit alors un temps assez considérable avant que l'esprit de vin placé près du centre de la boule eût pris le degré de chaleur de l'air extérieur : & s'il arrive qu'avant d'avoir pris ce degré de chaleur, l'air commence à se refroidir, la liqueur de la boule se refroidira avant d'avoir pris un degré de chaleur égal à celui que l'air avoit ci-devant. Les passages du froid au chaud sont souvent si subits, l'air qui nous environne reste pendant si peu de temps dans un même état, qu'il est même à croire que les thermometres à plus petites boules ne donnent que très-rarement toute l'étendue du froid ou du chaud de l'air, & cet inconvénient est encore plus grand pour les thermometres à grosses boules.

Mais le remede qu'on peut apporter à ce défaut des thermometres à grosses boules est bien simple. Rien n'exige que la partie que nous nommons la boule du thermometre soit

une boule. Toute figure lui est bonne : tout ce qui y est essentiel, c'est qu'elle ait une certaine capacité. Qu'on lui donne la forme d'une boîte aplatie, ou d'une lentille, dont les parois laissent entr'eux une distance moindre que n'est le diametre des boules des petits thermometres, & alors on rendra les thermometres à gros tubes aussi sensibles, & même plus sensibles que le sont ceux à petites boules. Plus on applatira les boîtes, plus on augmentera la sensibilité de la seconde espece. Celle de la premiere sera aussi toujours telle qu'on la voudra : car en augmentant la grandeur des boîtes, on est toujours maître de les rendre d'une assez grande capacité. Il est vrai que dès qu'elles auront une telle figure, il ne sera peut-être pas possible de les faire faire par ceux qui soufflent des boules à la lampe : mais il est assez indifférent à ceux qui ont besoin de thermometres, qu'on fasse dans les Verreries les boîtes & les tubes, ou qu'on n'y fasse que les seuls tuyaux, comme on les y a toujours faits. Si pourtant les boules n'excedent pas quatre pouces de diametre; la marche de la liqueur des tubes ne fera pas long-temps à se fixer au terme correspondant à celui que donne une petite boule : cela ne sçauroit aller à un quart d'heure, ni même à un demi-quart d'heure, selon les expériences que j'en ai faites. Enfin au lieu de prendre pour la boîte une boule d'un si grand diametre, on peut en prendre de forme cylindrique. Elle peut être un gros tuyau qui n'aura qu'autant de diametre, & même moins, qu'en ont les boules des thermometres ordinaires; on déterminera sa hauteur sur la capacité qui convient à la quantité de liqueur qu'elle doit contenir. Le plus & le moins de sensibilité de la seconde espece sera quelquefois cause que les marches de divers thermometres, qui devoient être les mêmes, paroîtront différentes. Qu'en deux heures il se fasse dans l'air un changement de chaleur capable de faire monter la liqueur d'un degré & demi, peu après ces deux heures le thermometre le plus sensible marquera ce degré & demi de plus, pendant que celui qui est moins sensible ne se fera peut-être élevé que d'un degré.

Mais si la chaleur de l'air reste constante pendant quelque temps, le premier se soutiendra au même point, & le second arrivera à un point semblable. De-là il suit que les temps, les moins équivoques pour juger de l'état de la température de l'air par les thermomètres, ce sont ceux où la liqueur est restée au même degré d'élevation pendant un quart d'heure ou environ.

M. Taglini, Professeur à Pise, a fait imprimer en 1725 une these sur les thermomètres, qui est dans un tout autre goût que celles qui paroissent si souvent dans nos collèges; elle n'a la forme de these que par ses positions. C'est un petit ouvrage où on a soigneusement rassemblé & discuté tout ce qui a rapport aux thermomètres. Nous n'acquiescerons pourtant pas à toutes ses assertions, & sur-tout à la dernière: elle est trop directement contraire aux principes sur lesquels nous avons cherché à construire des thermomètres dont les degrés de chaud & de froid fussent comparables: elle ôte même toute espérance d'en avoir jamais de tels. Il y soutient que les degrés fixes de chaud & de froid que les Physiciens ont cherché jusqu'ici, n'ont point encore été trouvés, & qu'il est impossible de les trouver. Des deux pourtant que nous avons pris pour termes, il n'y en a qu'un qui y soit attaqué directement, celui de chaleur déterminé par l'eau bouillante. Il combat, à la vérité, les degrés fixes qu'on voudroit établir par le froid de la glace, & même par la congélation produite par le froid de l'air. Mais il ne dit rien contre le froid de la glace artificielle faite dans un temps où l'air fonderoit vite la glace naturelle; & nous croyons avoir prouvé ci-dessus que le degré de froid de cette glace artificielle ne doit pas être confondu avec celui de toute autre glace, & qu'il pouvoit être regardé comme un terme fixe. Nous avouons pourtant que ce terme de froid, ou de moindre chaleur, ne nous paroît pas plus fixe que celui de l'eau bouillante, que M. Taglini ne veut pas reconnoître pour tel, & que j'eusse crû hors de toute atteinte. La théorie eût dû même nous apprendre, quand on a eu besoin d'un degré de chaleur

fixe, que nous le pouvions trouver là. Mais il n'arrive que trop souvent, à notre honte, que nous devons à des expériences faites assez tard des connoissances où le raisonnement eût dû nous conduire de bonne heure. Sans être Physicien, on a toujours sçû que l'eau bouillante est moins chaude que de l'huile bouillante, que du plomb, que du cuivre, que du fer, que de l'argent, fondus jusqu'à bouillir. On a donc toujours reconnu qu'il y avoit des degrés de chaleur où l'eau ne pouvoit atteindre : il y en a donc un qu'elle ne sçauroit passer, & par conséquent qui est un degré fixe. Peut-être a-t-on eu tort de croire que l'eau soit arrivée à ce degré de chaleur, dès qu'il commence à s'en élever quelques bouillons. C'est ce que prouveroit tout au plus l'expérience rapportée par M. Taglini, qui lui a fait voir que l'eau, qui étoit contenue dans une boule adaptée à un tuyau de verre, ne s'étoit élevée qu'à une certaine hauteur, la boule ayant été mise dans un pot où de l'eau bouilloit, & qu'ayant forcé l'eau du pot à bouillir plus fort, l'eau du tube s'y étoit élevée plus haut, & si haut qu'elle étoit même sortie hors de ce tube. Si le diametre de la boule eût été moins grand par rapport à celui du tube, ou que le tube eût eu plus de hauteur, l'eau seroit toujours restée dans le tube ; & quand elle auroit été arrivée à un certain terme, elle y seroit restée, quelque chose qu'il eût fait pour augmenter la force des bouillonnemens de l'eau du pot. C'est ce que j'ai éprouvé sur des boules de quatre pouces & demi, adaptées à de gros tubes de plus de six pieds de long. J'ai aussi éprouvé qu'il falloit laisser la boule pendant un temps assez considérable dans l'eau bouillante, avant que celle du tube montât jusqu'où elle peut monter, au moins plus d'un quart d'heure, parce que l'eau qui monte dans le tube s'y refroidit.

Le sçavant Professeur n'a omis aucune des raisons capables de faire douter du terme fixe donné par l'eau bouillante, ou au moins de faire douter si ce terme est saisissable. Il fait observer combien les eaux different les unes des autres, que leurs différences en pesanteur sont connues, & nous en

doivent faire imaginer dans leurs compositions : que de-là il fuit que le degré de chaleur qui suffit pour faire bouillir une certaine eau ne suffit pas, ou est plus que suffisant pour en faire bouillir d'autres. Tout cela a bien l'air d'être vrai : mais en conclurons-nous qu'il faut caractériser par le poids, ou par d'autres moyens, l'espece d'eau dont nous nous servirons pour marquer le terme de chaleur de l'eau qui bout, comme nous l'avons fait pour l'esprit de vin ? Ce seroit au pis aller à quoi nous serions réduits : mais il y a bien de l'apparence que cette précaution seroit très-inutile. Tant qu'on s'en tiendra à des eaux communes, ce que l'une aura de chaleur plus que l'autre, lorsqu'elle bouillira, ne donnera pas apparemment des différences saisissables. Quand il s'agit de mesures sensibles, nous n'avons besoin que d'égalités sensibles. L'impossibilité d'avoir des mesures exactes, de quelque espece que ce soit, se prouveroit très-solidement : peut-être n'y a-t-il jamais eu deux poids de marc, deux aunes, &c. d'une égalité parfaite. Des mesures qu'on feroit parfaitement égales, cesseroient de l'être selon que la chaleur, la secheresse ou l'humidité de l'air agiroient sur elles. Nous avons pourtant des mesures de tout genre d'une justesse qui nous suffit, parce qu'elle est telle qu'il n'en résulte pas des inégalités importantes.

Après tout j'avouerais sans peine, que je n'espère pas qu'on construise beaucoup de thermometres dont les degrés soient exactement égaux, ou exactement proportionnels. Les barometres simples, tout simples qu'ils sont, n'ont pas toujours des marches parfaitement égales : mais il sera aisé de faire des thermometres qui differeront peu sensiblement, & qui nous donneront des idées des degrés de froid & de chaud à peu près aussi exactes que nous avons besoin de les avoir. Il en sera de ces instrumens comme de tous les autres ouvrages de l'art : on les fera d'autant plus parfaits, qu'on apportera plus d'attention à les construire ; que des mains plus adroites & plus exercées s'y occuperont. Ceux que j'ai fait faire n'ont pas différé dans les rapports de leur marche de plus d'un quart de degré, & certainement mille gens feront mieux.

que je n'ai fait faire. Enfin quand on ne pourroit pas remplir dans la dernière exactitude toutes les conditions demandées pour la perfection de nos thermometres, au moins auroit-t-on toujours un à peu-près, & alors on auroit des thermometres bien supérieurs à ceux à esprit de vin dont on se sert aujourd'hui, où tout est inconnu, capacité des boules & des tubes, valeur des degrés & qualité de la liqueur.

Si la grandeur de nos nouveaux thermometres déplaît, on pourra par leur moyen en avoir d'aussi petits qu'on souhaitera, dont la graduation sera proportionnelle à celle des grands; on les remplira du même esprit de vin, & on se servira des grands comme d'étalons pour graduer les petits. On pourra même construire des thermometres assez petits, en les mesurant réellement comme nous avons appris à mesurer ceux d'un plus grand volume, à cela près que les divisions n'en seront bien précises que de cinq en cinq degrés: par exemple, au lieu de les graduer avec une mesure d'un degré, on les graduera avec une mesure de cinq degrés. Tous les termes de cinq en cinq seront donc exactement déterminés. On divisera chacun de ces espaces en cinq parties pour faire autant de degrés intermédiaires, & cette façon de diviser ne produira pas d'erreurs sensibles dans ces petits instrumens.

Au reste quand on a voulu nier l'existence, & même la possibilité de tout degré de chaleur fixe, on n'a pas pensé que les Physiciens de Paris en ont un très-commode dans les caves de l'Observatoire. C'est à la vérité, un fait bien singulier, & un de ceux qu'on n'auroit pas prévus, que des caves dont la profondeur n'est pas extrême, & dont la longueur n'est pas excessive, & à qui on ne s'est pas embarrassé d'ôter toute communication avec l'air extérieur, que ces caves, dis-je, renferment un air dont la température est toujours sensiblement la même. Les épreuves qu'on en a faites sont pourtant démonstratives. M. de la Hire a observé que dans les plus grandes chaleurs de nos étés, & dans le plus grand froid de 1709, la liqueur du thermometre est restée assez

constamment sur le même degré : aussi ce degré de température des caves de l'Observatoire est-il un des termes qu'on a pris soin de marquer sur les meilleurs des thermomètres qu'on a faits jusqu'ici. Un des premiers usages qu'on a crû devoir faire des thermomètres construits sur les principes que nous avons donnés a été de le reconnoître. On a trouvé que le degré de chaleur de ces caves étoit à 10 degrés $\frac{1}{4}$ au dessus du terme de la congélation dans un thermomètre dont le volume de la liqueur condensée par la congélation artificielle étoit 1000, & dont le volume de cette liqueur dilatée par l'eau bouillante étoit 1080, ou, ce qui revient au même, le volume de la liqueur de ce thermomètre, qui est réduit à 1000, par la congélation de l'eau, est 1010 $\frac{1}{4}$ dans les caves de l'Observatoire.

Nous pourrions de même, par le moyen des nouveaux thermomètres, ramener à des degrés connus & comparables les observations faites ci-devant sur les thermomètres qui subsistent encore, tel qu'est celui de M. de la Hire, dont on se sert à l'Observatoire depuis tant d'années.

Lorsque nous n'avions ci dessus pour objet que la seule construction du thermomètre, nous avons dit que nous ne croyions pas qu'il convînt de raréfier extrêmement l'air qu'on renferme dans le tube, ni de laisser cet air dans l'état de condensation qu'il a dans des temps froids; que ce qui nous paroïssoit de mieux, est que l'air y fût dilaté à peu-près au point où il l'est dans les jours les plus chauds. Les raisons qui nous ont déterminé à prendre ce parti moyen sont aisées à voir. Quand l'esprit de vin se raréfie, l'air contenu dans le tube tend à se raréfier; il fait donc des efforts pour s'opposer à la dilatation de l'esprit de vin, qui ne sçauroit se faire sans condenser l'air, ces efforts pourroient briser le tube ou la boule, lorsque la chaleur est considérable. Il semble aussi y avoir un inconvénient, & beaucoup plus grand à ne renfermer dans le tube qu'un air extrêmement raréfié. L'air qui entre dans la composition de l'esprit de vin, trouve alors de la facilité à s'en dégager; & s'il s'en dégage, l'esprit de vin

n'est plus précisément le même que celui dont on a déterminé les qualités. Or que l'air contenu dans l'esprit de vin s'en dégage, si cet esprit de vin est environné d'un air trop raréfié, d'une espece de vuide, c'est ce qu'une observation faite sur nos thermometres a montré très-clairement. Après avoir fait prendre à l'esprit de vin de la boule d'un de ces thermometres un degré de chaleur qui étoit peu au-dessous de celui de l'eau bouillante, je le couchai presque horizontalement, je laissai refroidir sa liqueur pendant qu'il étoit dans cette position. Bien-tôt le volume de l'esprit de vin, renfermé dans la boule, diminua: le vuide, qui ordinairement se fait dans le tube, se fit alors dans la partie la plus élevée de la boule: je le vis croître, devenir insensiblement un segment de sphere de plus grand en plus grand. Mais à mesure que ce vuide croissoit, j'observois continuellement de petites bulles qui s'élevoient de toutes parts de la surface de l'esprit de vin, & qui se réunissoient ensuite à la grande bulle. Ces bulles ne pouvoient être prises que pour les bulles d'air qui se dégageoient de l'esprit de vin. Cette observation nous a conduit à en faire plusieurs autres, que nous ne sçaurions placer ici sans ajouter beaucoup à la longueur d'un Mémoire déjà excessivement long: nous ne pourrions nous dispenser de les rapporter dans toute leur étendue: outre qu'elles sont assez curieuses par elles-mêmes, elles nous apprendront à construire des thermometres qui ne feront point sujets à des dérangemens qu'on a vû arriver à ceux qu'on a construits jusqu'ici, & dont les nôtres même ne seroient pas exempts.

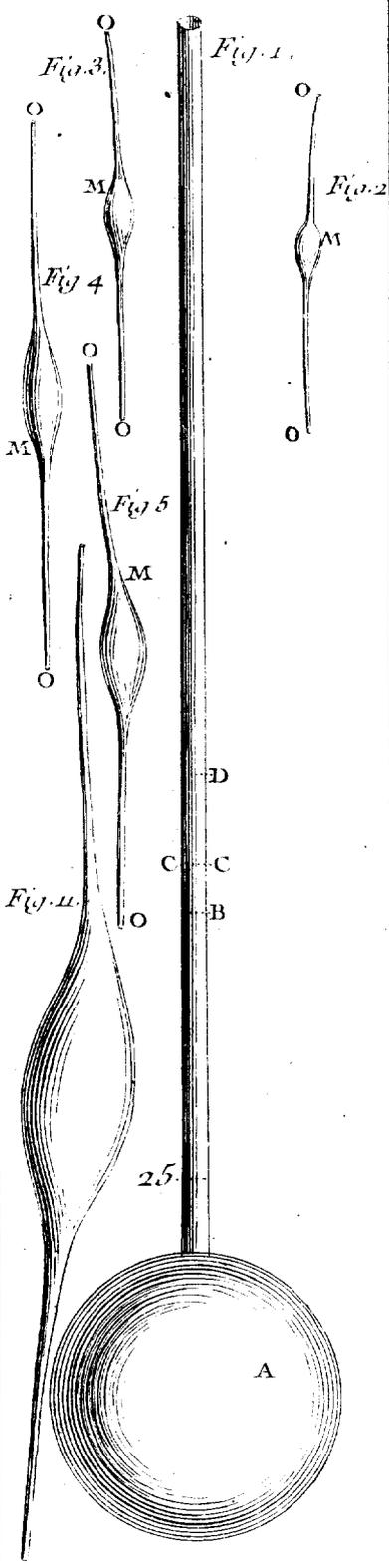
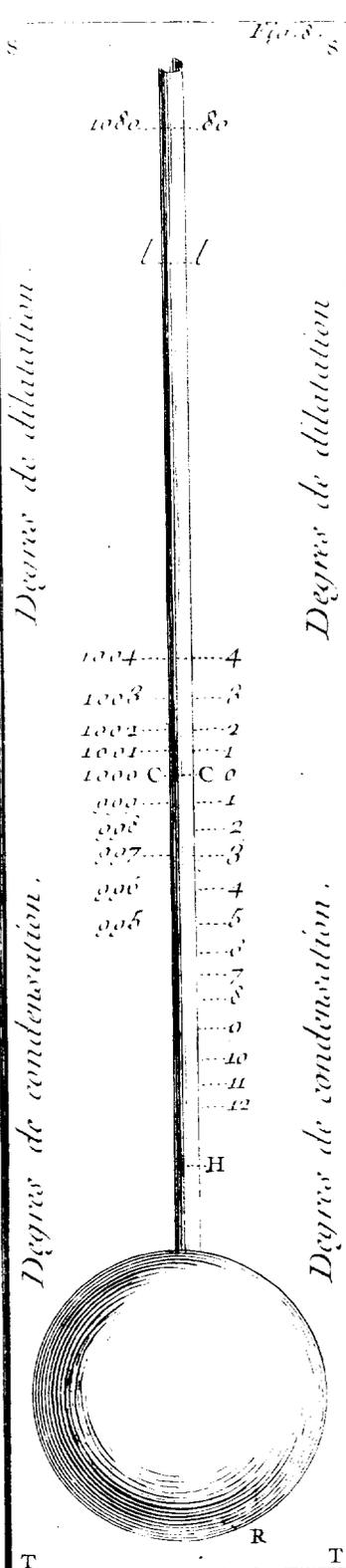
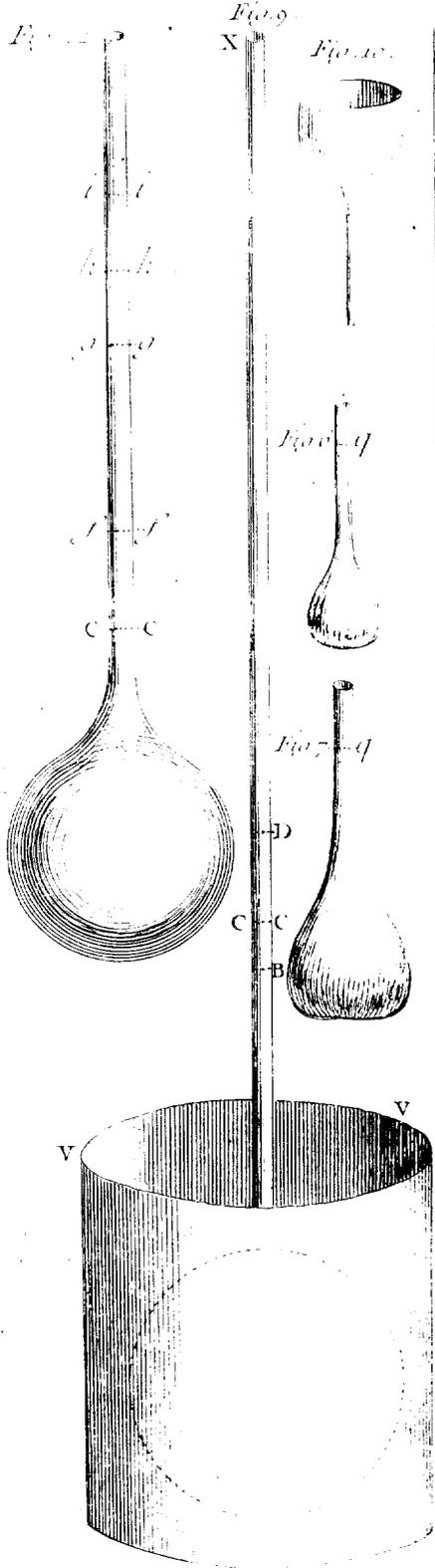
Nous ferons seulement faire attention à la source des dérangemens dont nous voulons parler. On n'est pas certain si un thermometre, après plusieurs années, ou même après un temps plus court, est tel qu'il étoit dans le temps de sa construction. L'esprit de vin peut perdre peu-à-peu, à la longue, cet air qui s'en est séparé en un temps court dans l'expérience que nous venons de rapporter: peut-être même que quelques-unes des parties des plus spiritueuses de l'esprit de

de vin s'élevent dans le tube , & y restent en vapeur ; peut-être aussi que l'esprit de vin reprend l'air qui l'avoit abandonné , comme nous voyons que l'eau se recharge avec le temps de celui qui en avoit été chassé pendant qu'elle bouilloit ; & peut-être que de même les parties spiritueuses qui se sont élevées de l'esprit de vin , viennent ensuite s'y réunir , qu'ainsi il se fait une sorte de circulation qui entretient l'esprit de vin renfermé toujours à peu-près dans un même état. C'est ce qui a été difficile à décider jusqu'ici , & ce qui pourra l'être sûrement dans la suite. On n'aura qu'à exposer la boule d'un grand thermometre à la congélation artificielle de l'eau , la surface de la liqueur se trouvera dans le tube vis-à-vis la ligne marquée pour le terme de la congélation , s'il ne s'est fait aucun changement dans la liqueur depuis que le thermometre a été construit , & s'il y est arrivé des changemens , elle sera au-dessous & au-dessus de ce terme , selon la nature des changemens. On a donc ainsi une méthode de s'assurer continuellement de l'état de son instrument , de le vérifier , & on sçait jusqu'où on doit compter sur les observations qu'il fournit.

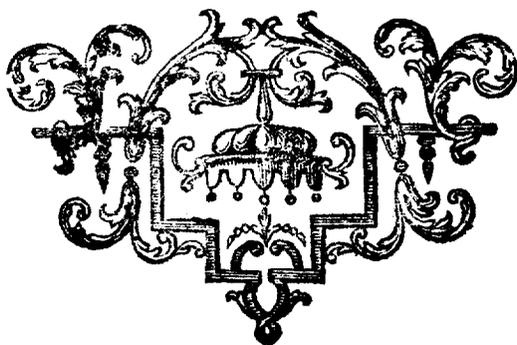
Il seroit à souhaiter que les Physiciens de différens pays pussent avoir des thermometres de cette espece , leurs observations nous instrueroient alors chaque année sur le plus grand chaud & le plus grand froid des différens climats. On ne se trouvera pas à portée par-tout de faire souffler des boules ou des boîtes au bout des tuyaux : mais pour peu qu'on puisse avoir des tuyaux , & qu'on ait une sorte d'industrie , qui ne manque gueres à ceux qui aiment les recherches dont il s'agit , il sera aisé de se faire soi-même un thermometre. On adaptera le tube à quelque bouteille de capacité convenable. Si on est arrêté par la difficulté de sceller ensemble le goulot de la bouteille , & le bout inférieur du tuyau , l'équivalent peut être fait par un lut , ou une espece de colle sur laquelle l'esprit de vin n'ait pas prise ; de la gomme arabique , de la colle de poisson , qui se dissolvent si aisément à l'eau , ne se dissolvent point à l'esprit de vin.

J'ai luté, avec l'une & l'autre de ces colles, des tubes à des bouteilles qui m'ont fait des thermometres. Il y a lieu de croire qu'ils seront assez durables: c'est sur quoi on ne peut être instruit que par le temps, & sur quoi je ne le suis pas assez. Je ferai seulement remarquer qu'extérieurement il faut couvrir de quelques couches d'un vernis, qui résiste aux impressions de l'humidité, la surface de la colle: un simple vernis de lacque y suffira.

Mais inutilement aura-t-on en différens pays des thermometres bien construits sur les principes qui rendent leurs degrés comparables, la comparaison du chaud & du froid des différens pays & des différentes saisons ne se fera jamais exactement, si ceux qui veulent bien se charger de faire les observations qui y sont nécessaires, & les communiquer au public, ne sont attentifs à bien choisir les places où ils mettront leurs thermometres, au moins quelque temps avant d'observer leur marche. Dans une même ville, dans une même maison, on trouvera à la même heure de grandes différences entre les degrés de différens thermometres, qui tous marqueroient pourtant le même s'ils étoient posés les uns à côté des autres. La liqueur de ceux qui seront dans des chambres, n'y fit-on jamais de feu, sera à des hauteurs fort différentes de celles où sera la liqueur des thermometres qui seront exposés à l'air libre: il y a tel jour où l'on verra la liqueur de ces derniers monter & descendre de 8 à 10 degrés, pendant que la liqueur des autres aura à peine monté ou descendu d'un degré. Il est donc absolument essentiel que l'Observateur expose son thermometre à l'air extérieur. L'exposition qu'il doit choisir est celle du Nord, & telle que le soleil ne puisse donner dessus à aucune heure du jour. Ce ne sera pas même assez, si en rendant compte de ses observations, il n'avertit s'il y a des murs voisins qui renvoyent les rayons du soleil du côté du thermometre, ou s'il n'y en a pas: si son thermometre est placé à un premier, à un second, ou à un troisième étage. Toutes ces circonstances sont essentielles à marquer pour mettre en état de faire d'exactes



comparaisons. J'ai vû en été deux thermometres , exposés à l'air libre & au Nord , dans différentes maisons , dont la liqueur de l'un étoit , dans les jours où le soleil paroissoit , d'un degré ou d'un degré & demi plus élevée que celle de l'autre , parce que l'air qui l'environnoit étoit échauffé par la réverbération des murs voisins. J'ai aussi observé , dans des jours chauds , que la liqueur d'un thermometre mis à la fenêtre d'un rez-de chauffée , étoit d'un degré plus bas que celle d'un autre qui étoit au premier étage , à la fenêtre au-dessus de la précédente. Cependant les thermometres , dont je parle , étoient de ceux de nouvelle construction , & mis les uns à côté des autres auroient marqué les mêmes degrés. Les instrumens les plus parfaits demandent de l'habileté & de l'attention dans ceux qui s'en servent.



Règles pour construire des thermomètres dont les degrés soient comparables et qui donnent des idées d'un chaud ou d'un froid qui puissent être rapportés à des mesures connues - M. DE RÉAUMUR

Académie royale des sciences - Année 1730

PHYSIQUE

DE RÉAUMUR, AMONTONS, DE LA HIRE
