

Sur l'élasticité parfaite des corps solides chimiquement définis.

ANALOGIE NOUVELLE ENTRE LES SOLIDES,
LES LIQUIDES ET LES GAZ.

(*Bulletins de l'Académie royale de Belgique*, 3^e sér., t. VI, n^o 11, p. 507, 1883.)

Je me suis proposé de vérifier, par l'expérience, s'il était possible de diminuer, d'une manière permanente, à l'aide de la pression, le volume occupé par un poids donné d'un corps solide chimiquement défini.

Le travail dont j'ai l'honneur de présenter aujourd'hui les résultats à l'Académie se rattache aux recherches que j'ai entreprises, depuis quelques années, sur l'action de la pression sur les corps solides en poudres (*).

J'avais cru observer en effet, au cours de ces recherches, que le *soufre prismatique* fraîchement préparé, ou bien le *soufre plastique*,

(*) *Bulletins de l'Académie royale de Belgique*, 2^e série, t. XLV et t. XLIX; 3^e série, t. V.

Toutefois l'origine de ce travail se trouve dans une expérience que J. Plateau m'avait demandé d'exécuter pour lui. Cet illustre et regretté physicien désirait savoir jusqu'à quel point on pouvait augmenter, par la pression, la densité d'un métal. Les résultats ayant été négatifs en ce sens que le métal employé n'augmentait pas de densité par la pression, Plateau m'engagea à continuer seul ces recherches, « puisque, disait-il, ses prévisions ne se réalisaient pas ».

se changeaient, à haute pression, dans la variété plus dense du *soufre octaédrique*; de même l'*arsenic amorphe* se transformait partiellement, sous une pression suffisante, en arsenic cristallin, plus dense, comme on le sait. En un mot, la pression avait diminué, d'une façon permanente, le volume spécifique du soufre prismatique, du soufre plastique et de l'arsenic amorphe; mais un changement de l'état allotropique de ces substances avait accompagné la condensation de la matière.

J'avais conclu de cette observation, ainsi que d'autres connues déjà d'ailleurs, que *la matière prenait, au-dessous d'une température donnée, l'état allotropique correspondant au volume qu'on l'obligeait d'occuper.*

Cette conclusion présupposait, d'une manière implicite, que l'état allotropique d'un corps se trouvait caractérisé *par sa densité* à une température donnée, ou, en d'autres termes, qu'il était impossible d'augmenter, d'une manière permanente, la densité d'un corps à une température donnée sans changer son état chimique. Ce point important n'avait jamais été vérifié d'une manière explicite. Rien plus, malgré l'emploi fréquent des poids spécifiques des corps pour les caractériser, on s'est habitué non seulement à les considérer comme dépendants de la température, mais encore à les croire soumis à l'influence de la pression que les solides avaient eu à supporter. Cette croyance prenait certainement sa source dans les différences constatées dans les poids spécifiques de certains métaux selon qu'ils avaient été examinés après fusion, après martelage, etc.

Je crois donc qu'il ne sera pas inutile d'être fixé sur la question de savoir si la densité d'un corps chimiquement défini dépend d'un autre facteur que la température.

J'ai soumis, à cet effet, à des compressions énormes, dans des conditions particulières qui seront indiquées plus loin, et pendant un temps relativement long, un nombre suffisant de corps solides n'admettant pas d'états allotropiques, de poids spécifique connu, en vue de m'assurer si, dans ces conditions, ils éprouvaient une condensation permanente.

Je vais indiquer immédiatement le résultat général obtenu ainsi que les conséquences qu'il entraîne. Je passerai ensuite aux détails techniques des expériences ainsi qu'aux données bibliographiques indispensables pour apprécier l'état de la question. En agissant de

cette manière, je crois être agréable aux personnes non intéressées à prendre connaissance de tous les détails de ce travail; elles pourront se borner à l'examen des conclusions.

1. — *Résultats obtenus.*

La plupart des corps examinés ont manifesté une petite augmentation permanente de densité après avoir subi une pression d'environ 20,000 atmosphères, mais celle-ci une fois réalisée, ils ont résisté opiniâtrément à toute diminution permanente ultérieure de leur volume. Pour tous, la densité a atteint bientôt *un maximum*. La faible augmentation de densité permanente observée n'a cependant jamais eu pour cause une contraction réelle de la matière. Toujours elle a été due à l'écrasement, par pression, des cavités existant d'avance dans le corps examiné, ou bien à la disparition de fissures plus ou moins évidentes. En un mot, on s'est trouvé, en présence d'un fait accidentel, pouvant facilement amener une erreur, mais non d'un phénomène physique essentiel. D'autres corps ont conservé leur poids spécifique intact, pour ainsi dire, quelle qu'ait été l'énergie de la pression.

Il n'est pas à dire cependant que les corps de l'une ou de l'autre catégorie aient présenté de *l'incompressibilité* dans le sens ordinaire de ce mot. Au contraire, pendant toute la durée de la pression on a pu constater, avec facilité, que leur volume était diminué d'une quantité plus ou moins grande, mais sitôt que la pression cessait, ils reprenaient exactement leur état primitif. Les corps solides examinés se sont comportés, sous pression, comme les liquides ou les gaz; ils sont revenus à leur premier volume aussitôt qu'on leur a rendu la liberté.

On a expliqué, comme on le sait, l'incompressibilité permanente des liquides et des gaz par ce que leurs molécules n'auraient pas, les unes par rapport aux autres, de position stable. On ne trouvait pas étrange, dans cette manière de voir, qu'après compression leur force répulsive les ramenât à leur position première. Il en était autrement des solides. La fixité de la position relative de leurs molécules les faisait considérer comme différant peut-être profondément des liquides et des gaz; je pourrais citer à l'appui de ceci l'opinion et

les travaux d'un grand nombre de physiciens et de chimistes qui ont pensé que la pression pouvait augmenter réellement le poids spécifique des solides. Les résultats que je viens d'indiquer montrent cependant que c'est là une erreur. Les solides se comportent sous pression comme les liquides ou les gaz. Leur densité n'augmente réellement, pour une même température, que si leur nature chimique admet des états allotropiques; sinon, par la pression seule, on ne peut distinguer un solide d'un liquide. Cette analogie nouvelle est à ajouter à celle que M. Tresca a fait connaître, il y a déjà longtemps, en prouvant que les solides s'écoulaient sous forte pression comme des liquides. On doit la rapprocher aussi de celle que j'ai indiquée récemment en montrant que les solides se soudaient quand ils sont mis en contact intime, par l'action d'une forte pression, comme les gouttelettes d'un même liquide se confondent dès qu'elles se touchent.

Le fait de l'incompressibilité permanente des solides n'admettant pas d'état allotropique a plus d'une conséquence importante. Je vais essayer de le montrer.

En premier lieu, il se trouve établi que l'état allotropique d'un corps est bien caractérisé, à une température déterminée, par sa densité. La conclusion tirée de mes premières recherches, savoir que *la matière prend l'état allotropique correspondant au volume qu'on l'oblige d'occuper*, a maintenant une signification précise. Elle conduit à son tour à une analogie entre les états allotropiques de certains corps solides et les divers états d'agrégation de la matière. En un mot, on peut même *assimiler* les états d'agrégation à des états allotropiques. Ainsi la *glace* peut être considérée, dans cet ordre d'idées, comme un état allotropique de l'eau au même titre que le soufre plastique est allotropique du soufre octaédrique. Ne sait-on pas, d'ailleurs, qu'en comprimant la glace à une température convenable inférieure à 0°, elle se résout en eau, plus dense qu'elle, tout comme le soufre plastique se change en soufre octaédrique, plus dense que lui? La vapeur ne serait aussi qu'un état allotropique de l'eau, car la compression seule suffit à la liquéfier sous température convenable, dès qu'elle l'oblige à diminuer suffisamment son volume. En outre, les corps passent d'un état allotropique à un autre par l'action de la chaleur comme la glace fond, comme l'eau se vaporise. Il y a plus encore. Si l'on amène le passage d'un état d'un solide à un autre état allotropique, par l'application de la chaleur, en vase

clos de volume convenable, n'observe-t-on pas, à une température donnée, une limite dans ce passage, tout comme en chauffant de l'eau en vase clos on ne peut arriver à la volatiliser complètement? Le phosphore rouge, par exemple, chauffé en vase clos au-dessus de 260°, à raison de plus de 2^{gr}85 par litre de capacité du vase, ne se transforme jamais complètement en phosphore ordinaire. La tension de la vapeur du phosphore ordinaire formé atteint une limite pour chaque température, comme la vapeur d'eau formée par la volatilisation dans un vase clos atteint une tension maximum pour chaque température. Enfin, il n'y a pas jusqu'aux phénomènes de surfusion observés dans nombre de cas qui ne contribuent à justifier cette assimilation. Il peut exister de l'eau liquide à 20° sous zéro, mais quand elle se solidifie il se dégage de la chaleur; de même qu'il peut exister, à la température ordinaire, du soufre plastique qui se forme seulement vers 300°, mais quand celui-ci se change en soufre octaédrique, il devient aussi une source de chaleur.

L'assimilation des états d'agrégation aux états allotropiques permettra de rapporter à une seule et même cause tous les changements *de formes* de la matière. Cette cause est probablement la polymérisation des molécules. Dans un corps de densité faible, dans un gaz, par exemple, les molécules seraient les plus simples; puis à mesure qu'elles se grouperaient ou qu'elles deviendraient plus pesantes par l'augmentation du nombre de leurs atomes, le corps passerait par tous les états possibles pour finir par atteindre l'état du maximum de condensation.

Si ces considérations sont fondées, il en résultera aussi que les variations brusques qu'un corps pourra manifester dans son poids spécifique, indépendamment de la température, seront autant de témoignages extérieurs des révolutions qui se seront accomplies dans son intérieur et qui auront eu pour résultat de changer son organisation. En un mot, en s'assurant si un corps solide peut se présenter à une même température avec des densités différentes, on pourra probablement être fixé sur la question de savoir s'il admet des états allotropiques ou non.

En deuxième lieu, le fait de l'incompressibilité permanente de la matière pourra contribuer à nous éclairer sur la vraie répartition de la matière solide pendant la façon de certains objets. Ainsi beaucoup de personnes s'expliquent encore les figures imprimées par le balancier sur les médailles, ou sur les monnaies, par une compression

permanente du métal dans les fonds de la médaille ou de la monnaie, tandis que, en réalité, on se trouve plutôt en présence d'un véritable moulage comme celui que subirait une matière plastique. Du reste, s'il en était autrement, le recuit d'une pièce de monnaie devrait en effacer l'empreinte, ce qui n'est pas le cas.

En troisième lieu, dans l'acte, si simple et si souvent répété dans les arts, de ployer une tige métallique, nous trouvons encore une application, utile peut-être, de l'incompressibilité permanente de la matière. En effet, quand on ploie une barre, on comprime sa région concave et l'on dilate sa région convexe. Mais il faut, d'après ce qui précède, qu'une fois la barre abandonnée de nouveau à elle-même, la matière reprenne partout sa densité primitive. Or, il est clair que la déformation permanente de la barre sera subordonnée, dans ces conditions, au transport d'une certaine quantité de matière de la partie concave vers la partie convexe. Si la matière de la barre a un degré de mollesse voulu, ce transport pourra avoir lieu et la barre ne sera pas rompue. Dans le cas contraire, la barre se brisera et même d'autant plus facilement qu'on la ploiera plus brusquement, car dans ces conditions le transport inévitable de matière n'aura pas le temps de s'opérer. C'est bien là ce qu'on observe chaque jour.

Enfin, nous sommes en état maintenant de connaître ce qui se passe dans la matière quand sa limite d'élasticité est dépassée, et même de donner la signification physique de cette limite. Lorsque, par suite d'une compression ou d'une traction exercée sur un corps solide par n'importe quel procédé, *on aura amené un déplacement de matière d'un point à un autre, alors la limite d'élasticité se trouvera déplacée*; le corps ne pourra plus reprendre spontanément sa figure primitive, il sera déformé. Mais si on le comprime dans un cylindre, de manière à empêcher tout déplacement, comme c'était le cas dans mes expériences, alors, quelle que soit la pression, la limite d'élasticité ne sera jamais dépassée. En d'autres termes, la limite d'élasticité d'un corps solide serait le moment critique où la matière commencerait à s'écouler sous l'influence des forces auxquelles elle est soumise. Comme il est des corps qui se déforment à peine quand la limite de leur élasticité se trouve dépassée dans les efforts auxquels ils sont soumis, mais qui se brisent alors avec la plus grande facilité, on peut se demander encore quelle est la signification physique de la *fragilité* d'un solide en restant dans l'ordre d'idées où nous nous trouvons. C'est bien ici qu'il est permis de dire que poser la ques-

tion, c'est la résoudre. Un corps fragile sera celui qui n'aura pas la propriété de s'écouler sous l'action de la pression, car il ne pourra admettre un déplacement de matière d'une de ses régions comprimées vers une région dilatée. D'après cela, il est clair, de plus, qu'on ne devra pas dire *d'un liquide véritable* qu'on le *brise*, ni parler de ses *fragments*. Il en est effectivement ainsi. Entre la facilité qu'il y a à disperser en gouttelettes le contenu d'un verre d'eau et celle de pulvériser un bloc de craie, il y a toute la distance qui sépare la mollesse de la fragilité.

2. — Données bibliographiques.

Je crois d'autant plus utile de montrer où se trouve aujourd'hui l'état de la question que, le faisant, je pourrai tenir compte de plusieurs travaux remarquables, exécutés déjà depuis un certain temps, et avec lesquels les miens concordent en principe.

Je l'ai déjà dit, la question de la constance de la densité n'a jamais été posée d'une manière explicite; du moins je n'en ai trouvé trace dans les documents bibliographiques. La croyance à la variabilité de la densité indépendamment de son état chimique doit probablement son origine aux résultats peu concordants obtenus, par un grand nombre de physiciens, dans la détermination des poids spécifiques. Ainsi, pour ne citer qu'un seul exemple, on trouve, pour le poids spécifique de l'or, métal qu'il n'est pourtant pas bien difficile d'obtenir pur, plus de trente données variant depuis 12,666 jusque 19,5617. On paraît avoir admis, en effet, que la frappe, l'écrasement, le recuit, etc., changeaient réellement la densité d'un métal. Les traités de physique abondent en tables ayant pour objet de montrer que le poids spécifique d'un métal qui a été fondu n'est pas le même que celui du même métal étiré. Il est clair que nous ne nous occuperons pas des variations de ce genre; elles sont pour la plupart le résultat d'erreurs ou de fautes plus ou moins graves, commises dans les déterminations. Il n'y aura lieu que de tenir compte des travaux résistant à la critique.

Les premières fortes variations de densité dans les corps solides ont été observées par Brongniart (*), directeur de la manufacture de

(*) *Traité des arts céramiques ou des poteries*. Paris, 1844.

Sèvres. Il fit connaître que la porcelaine éprouvait une grande diminution de densité par la cuisson, indépendamment de la contraction qu'elle montre en même temps. Le volume diminue de 10 % et la densité descend de 2,72 à 2,48.

Rose (*) a vérifié le fait l'année suivante sur la porcelaine de Berlin, et il prouva que cette diminution de densité provenait de ce que le feldspath, en fondant, abandonnait son état cristallisé pour se changer en une masse amorphe, en un verre moins dense que les cristaux. Le changement de densité se trouve donc subordonné à un changement d'état de la matière.

L'observation faite sur le feldspath a été répétée depuis sur un grand nombre de corps, de manière qu'on peut dire, d'une façon générale (mais non absolue), que les corps sont plus denses à l'état cristallisé qu'à l'état amorphe. Ainsi Schaffgotsch (**) nous montre que le faible poids spécifique de l'opale peut être augmenté, par la calcination du minéral, jusqu'à égaler celui de la silice, mais en même temps l'opale perd son eau et devient de la silice ordinaire. Rose (***) trouva, de son côté, que l'acide niobique amorphe obtenu par le chlorure de niobium, avait une densité de 5,258; chauffé, il change d'état, cristallise et pèse 4,602. L'acide pélopie et l'acide tantalique se comportent de même. Rammelsberg montra (iv) que la Hausmannite, la Braunite, la Manganite et la Pyrolocite étaient plus denses que leurs variétés artificielles amorphes. Enfin, C.-S.-C. Deville (v) a appelé l'attention sur la propriété que possèdent divers minéraux quartzeux de se dilater quand, par un refroidissement subit après fusion, on les transformait en une masse vitreuse. Cette observation s'est confirmée pour les minéraux suivants (voir tableau, p. 125).

D'après Cossa (vi), il faudrait ajouter à ce tableau la Syénite de Biella, dont le poids spécifique varie, dans les mêmes conditions, de 2,71 à 2,45.

(*) *Annales de Poggendorff*, t. LXVI, p. 97, 1845.

(**) *Id*, t. LXVIII, p. 147, 1846.

(***) *Fortschritte der Physik*, t. IV, p. 51.

(iv) *Fortschritte der Physik*, t. XXI, p. 14.

(v) *Comptes rendus*, t. XX, p. 1453, et t. XL, pp. 769-774, 1855.

(vi) *Berichte der deutsch. chem. Gesellsch.*, t. IX, p. 1126, 1876.

	POIDS SPÉCIFIQUES.	
	État cristallisé.	État vitreux.
Quartz	2,656	2,220
Lave	2,570	2,4642
Trachyte rosé de Chahorra	2,7274	2,6171
Lave basaltique de Los Mayorquinos	2,9455	2,8360
Basalte du Pic de Foyo	2,9714	2,8787
Labradorite	2,6894	2,5255
Orthose	2,5610	2,3512
Amphibole	3,2159	2,8256

Selon Deville lui-même, il en serait du quartz comme du soufre qu'on obtient amorphe en refroidissant brusquement sa masse fondue : le quartz vitreux serait *allotropique* du quartz cristallisé. Le bismuth et l'étain se comportent d'une manière semblable, mais à un degré bien moindre. Le sel gemme et le corindon, au contraire, ne montrent rien de ce genre, et le plomb serait un peu plus dense après refroidissement brusque qu'après refroidissement lent : 11,562 au lieu de 11,254. On verra plus tard que 11,562 n'exprime cependant pas le maximum de densité du plomb.

C'est à une circonstance du genre de celle indiquée par Deville que l'on doit attribuer les changements de densité de l'acier après la trempe. Caron (*) a établi que l'acier *diminuait* de densité par la trempe, ce qui provient, comme pour le quartz, de ce qu'en refroidissant brusquement l'acier chauffé, on fixe, en quelque sorte, la dilatation produite par la chaleur. Il serait intéressant de s'assurer s'il ne se produit pas quelques vides ou quelques fissures microscopiques dans ce cas. Je crois bien qu'il doit en être ainsi, car il n'est pas rare d'assister à la rupture de pièces d'acier de forme compliquée quand on les trempe.

(*) *Mémoires couronnés in-4° de l'Académie royale de Belgique*, t. XXXII, p. 64.

Je ne m'arrêterai pas davantage devant les résultats mentionnés, car, on le voit à suffisance de preuve, ils établissent bien que tout changement dans la densité d'un corps a été accompagné d'un changement dans son état allotropique. Je passe à l'examen d'autres travaux se rapportant plus directement encore à notre sujet.

Le célèbre constructeur mécanicien W. Fairbairn (*), de Manchester, avait construit, en 1854, pour le physicien Hopkins, une presse destinée à vérifier si les points de fusion des corps dépendaient de la pression; il s'est servi lui-même de cet appareil pour savoir si la densité des corps pouvait être augmentée par la pression. En comprimant du blanc de baleine à 400 atmosphères, il trouva une augmentation de densité de 0,00636 (de 0,94859 à 0,95495); pour l'étain, il trouva une augmentation de 0,0091 (de 7,3063 à 7,3154). Fairbairn ne nous dit pas si l'augmentation trouvée a pu être dépassée à plus haute pression. Quoi qu'il en soit, elle n'est pas tellement grande qu'elle entraîne nécessairement la conclusion que l'étain et le blanc de baleine auraient réellement éprouvé une contraction permanente. On verra plus tard que la disparition des cavités d'un métal par la pression amène précisément des différences de densité de l'ordre de celles indiquées par Fairbairn (**).

Quelques années plus tard, en 1860, F. Reich (***) publia sur le poids spécifique du plomb une étude intéressante pour le sujet qui nous occupe.

Les données contradictoires de Brisson, de Guyton de Morveau, de Kupffer, de Karsten et de Berzelius, sur le poids spécifique du plomb, avaient été l'origine de ce travail. F. Reich trouva, pour la densité du plomb pur, obtenu à l'aide de l'acétate de plomb et rapporté à l'eau à 4°, 11,3695 et 11,3683. Après avoir martelé ce plomb entre des feuilles de papier pour s'assurer s'il n'avait pas contenu des cavités, il trouva, chose curieuse, une faible diminution de poids

(*) *Dingler's polyt. Journal*, t. CXXXIV, p. 315.

(**) Fairbairn a soumis aussi à une pression de 6,330 atmosphères, de l'argile et il a vu que celle-ci devenait « aussi dense et aussi dure que les plus denses et les plus dures de nos roches ». Je cite ce passage parce qu'il vient à l'appui des résultats publiés par moi sur la compression des poudres des corps solides, résultats dont on a voulu contester l'exactitude.

(***) *Annales de Poggendorff*, t. CLX, p. 541.

spécifique au lieu d'une augmentation; en un mot, un phénomène inverse de celui que Fairbairn avait constaté. Musschenbroeck avait déjà observé que le plomb perdait de sa densité par la pression, mais d'après Brisson, le résultat serait nul. Guyton de Morveau trouva de son côté que le plomb diminuait en effet de densité par la pression, le martelage, l'étrépage ou le laminage, mais pour lui, le fait serait dû à la facilité avec laquelle le plomb fuit et se déchire à sa surface dans ces conditions.

Reich a vérifié l'exactitude de cette explication. En comprimant du plomb, avec précaution, dans un anneau, de manière à empêcher toute fuite du métal, il observa alors une légère augmentation du poids spécifique (de 11,358 à 11,388). Il n'est pas dit, ici non plus, si 11,388 a pu être dépassé ou non. En un mot, ce travail montre que les variations du poids spécifique du plomb étaient dues à des accidents et non à une condensation vraie du métal.

Du reste, le plomb n'est pas le seul métal que le martelage rend plus léger.

En 1862, Ch. O'Neil (*) montra que le cuivre laminé diminuait de densité par l'action du marteau et qu'il reprenait sa densité par le recuit. Ici aussi le martelage produit des fissures dans le métal, surtout si on le pousse un peu loin. Le recuit à haute température les fait disparaître, peut-être parce qu'il emporte la surface du métal en la brûlant, tandis que le nettoyage subséquent et obligé met au jour les parties qui n'avaient pas été fissurées.

Les travaux précédents nous ont appris que les variations des poids spécifiques, sous température égale, pourraient être attribuées, ou bien à un accident, ou bien à un changement dans l'état allotropique d'un corps. La proposition que j'ai énoncée trouvée, par conséquent, déjà un certain appui, mais on s'assurera qu'elle rencontrera, pour ainsi dire, une démonstration si complète par les travaux suivants qu'il restera bien peu de chose à y ajouter.

Déjà en 1848, G. Rose (**) fit une observation qui a de l'importance pour nous. Ayant constaté, à l'occasion d'un travail sur les alliages de l'or, que les densités de divers échantillons de ce métal

(*) *Fortschritte der Physik*, t. XVIII, p. 10.

(**) *Annales de Poggendorff*, t. LXXIII, p. 1.

variaient énormément suivant qu'on les déterminait au moyen d'or natif, d'or fondu sous du borax, ou d'or fondu sous du carbonate de sodium, ou encore selon que l'or était rapidement ou lentement refroidi, il fit battre à outrance de l'or pur à la Monnaie de Berlin, et alors il obtint des résultats concordants.

La densité moyenne de l'or frappé a été trouvée égale à 19,520 à la température de 14° Réaumur : la densité de l'or coulé variait de 19,2730 à 19,2917. Ainsi la frappe donne à l'or une densité constante. Ce résultat n'est pas dû à ce que l'or serait susceptible d'une certaine *condensation maximum*. Mais Rose montre, à suffisance de preuve, que l'or fondu dans des creusets, à l'air libre ou sous des couvertures de sels fondus, refroidi rapidement ou lentement, renferme toujours des cavités plus ou moins grandes. De plus, la surface de cet or est plus ou moins cristalline; les cristaux, en se formant les uns à côté des autres, laissent également entre eux des cavités plus ou moins prononcées, desquelles il est impossible de chasser l'air. L'action du balancier a pour effet de combler toutes ces cavités, comme on ferme les pores d'une éponge en la pressant.

Rose a fait la même observation sur l'argent pur. On sait d'ailleurs que ce métal jouit, comme l'or, de la propriété de dissoudre beaucoup de gaz à l'état fondu. Pendant la solidification, la plus grande partie des gaz est expulsée — mais non la totalité. Ce qui reste, variable en quantité, cause aussi des erreurs dans la mesure des poids spécifiques, à moins que, par une frappe énergique, on n'exprime ces dernières matières gazeuses.

Les travaux bien connus de M. Tresca sur l'écoulement des solides montrèrent, à leur tour, que la densité d'un métal demeure sensiblement constante pendant son écoulement sous l'action de la pression.

Nombre d'années après les travaux de G. Rose, Alfred Riche (*) a trouvé des résultats semblables dans ses *Recherches sur les alliages*.

A. Riche a voulu s'assurer si les différences des poids spécifiques de l'acier et du bronze, dues à la trempe, se produisaient aussi quand on soumettait ces matières à l'action du marteau ou du balancier.

(*) *Comptes rendus*, t. LXIX, p. 343, 1869.

Les résultats obtenus par A. Riche se trouvent reproduits dans le tableau suivant :

	ACIER.		BRONZE.	
	I	II	I	II
Densité initiale	7,845	7,847	8,527	8,660
— après 1 ^{re} recuit	7,849	7,849	8,543	8,653
— — 1 ^{re} frappe	7,839	7,843	8,771	8,738
— — 2 ^e recuit.	7,844	7,843	8,777	8,790
— — 2 ^e frappe	7,838	7,839	8,771	8,883
— — 3 ^e recuit	7,844	7,845	8,777	
— — 3 ^e frappe	7,837	7,841	8,918	
— — 4 ^e recuit	7,849	7,854	8,927	
— — 4 ^e frappe	7,849	7,849	8,937	
— — 5 ^e recuit.	7,844	7,845	8,945	

Riche en conclut, très exactement, que le choc n'amène qu'une différence à peine sensible dans la densité de l'acier, tandis que le bronze subirait une augmentation considérable de poids spécifique dans les mêmes conditions.

Il importe cependant de ne pas nous tromper. Si nous examinons comment varient les nombres se rapportant aux densités du bronze, nous sommes frappés d'abord de ce fait capital que *le recuit n'a jamais effacé l'effet de la frappe*, bien au contraire, il l'a plutôt accentué. D'après cela, la frappe ne pouvait pas avoir produit une condensation de la matière, ni même la compression de bulles de gaz isolées, disséminées dans le métal; le recuit, dans ces conditions, aurait en effet dû rétablir les choses dans leur état primitif. Il est plus probable que le bloc de bronze, loin de présenter des cavités isolées, était plutôt traversé par des fissures microscopiques, en nombre très grand, communiquant entre elles et avec l'extérieur. La frappe aura fermé ces fissures, tout en expulsant leur contenu gazeux, de manière à rendre inefficace l'action du recuit.

On pourra juger ces considérations gratuites; il n'en est rien pourtant, et voici qui le prouve.

Dans ses recherches sur l'influence de la pression sur le point de fusion des corps, Hopkins (*) avait comprimé du blanc de baleine dans un cylindre de laiton, à l'aide d'un piston, sous une pression de plusieurs centaines d'atmosphères. On observa que sitôt la fusion du blanc de baleine, le cylindre se vida complètement. Après avoir cherché longtemps la raison de ce fait étrange, on trouva enfin que le liquide fuyait par les pores du métal en mille jets si fins qu'ils étaient complètement invisibles. On se rendit maître de cet inconvénient en coulant le cylindre avec plus de précautions et en le martelant longtemps sur toute sa surface. On ne pourrait pas mieux établir la porosité du laiton coulé. Je laisse à penser si le bloc de bronze de A. Riche ne pouvait pas présenter le même défaut. D'ailleurs, il y a plus encore, et même de très utile pour nous. Il résulte des nombres fournis par A. Riche lui-même que la densité du bronze marche vers un maximum à mesure que la frappe se répète. Il est facile de s'en assurer. Si l'on prend en effet les différences premières des densités du bronze à l'état initial et après chaque frappe, on obtient :

Après la 1 ^{re} frappe.	0,228
— 2 ^e —	0,100
— 3 ^e —	0,047
— 4 ^e —	0,019

c'est-à-dire que ces différences décroissent avec une rapidité telle, qu'entre la cinquième et la sixième frappe, elles se seraient annulées. En d'autres termes, la densité n'aurait plus augmenté après la sixième frappe, elle aurait atteint son maximum. A partir de ce moment, le bronze se serait comporté comme l'acier ou comme l'or de G. Rose.

Le nombre des corps solides qui sont ainsi criblés de fissures invisibles ou de cavités microscopiques pleines de gaz, est plus grand qu'on ne le pense généralement. Je me bornerai à rappeler, pour le prouver, la longue discussion à laquelle a donné lieu la question de savoir si la fonte est plus ou moins dense à l'état solide qu'à l'état fondu.

(*) *Dingler's Journal*, t. CXXXIV, p. 314, 1854.

La fonte flotte sur un bain de fonte fondue. C'est un fait constaté, mais rien ne prouve moins la plus faible densité de la fonte solide. En effet, d'après F. Centner (*), des blocs de fonte d'un poids de plus de 14 kilogrammes ne flotteraient plus. S'il en est réellement ainsi, on doit voir dans cette circonstance la preuve de la porosité de la fonte coulée : celle-ci serait moins forte, toute proportion gardée, dans des blocs volumineux que dans d'autres, ce qui est facile à comprendre d'ailleurs (**).

A. Riche a étendu ses recherches au cuivre : « Ici on n'observe pas, dit-il, d'effet marqué entre la trempe et le recuit. » Il en est de même pour les bronzes pauvres en étain.

Enfin, A. Riche nous apprend aussi qu'il a fait frapper des médailles en cuivre à l'effet de s'assurer si le métal augmentait de densité. Après six passes, la densité s'est retrouvée sensiblement ce qu'elle était après la coulée.

Ces travaux montrent bien que l'acier, le bronze et le cuivre ont une densité absolue constante : leur densité apparente est variable entre certaines limites par suite de l'impureté physique des matériaux travaillés.

Les observations de A. Riche ne sont pas restées isolées.

En 1878, F. Kick (***) publia un travail sur la constance de la densité du plomb. Il avait comprimé un cylindre de plomb à des pressions diverses, au moyen de la machine de Gollner employée à l'École polytechnique de Prague pour la mesure de la résistance des matériaux, et il avait constaté une conservation parfaite de la den-

(*) *Fortschritte der Physik*, t. XIX, p. 6, 1865.

(**) Centner dit aussi que si l'on coule de la fonte dans un moule fait au moyen d'un modèle en fonte du poids de 28 kilogrammes, la masse coulée ne pèse cependant que 27 kilogrammes. Le poids spécifique de la fonte solide est donc de $\frac{1}{28}$ plus grand que celui de la fonte liquide.

D'après Miller, à la vérité (*Beiblätter*, t. I, p. 468, 1877), la fonte serait, en effet, plus dense à la température ordinaire qu'à l'état fondu, mais elle se dilaterait pourtant lors de la solidification. Cet avis est basé sur le fait que des boulets de fonte froide tomberaient d'abord au fond du bain liquide, puis flotteraient seulement quand ils seraient chauffés suffisamment. Ils émergeraient toutefois très peu du liquide.

On peut se demander si Miller ne se trompe pas et si le fait observé ne prouve pas plutôt que la fonte a des cavités remplies de gaz, qui vont se gonflant fortement par la chaleur quand la fonte se ramollit.

(***) *Dingler's Journal*, t. CCXXIX, p. 559.

sité du plomb malgré les déformations énormes du cylindre. Seul le choc d'un marteau-pilon à vapeur diminue le volume d'un cylindre de plomb de 117^{cc}56 jusqu'à 117^{cc}53. Ce choc avait aplati jusque 16 millimètres un cylindre de 59^{mm}7 de haut et de 50 millimètres de diamètre. Kick conclut lui-même de ces expériences que si, dans la pratique, on a pu observer parfois des condensations de la matière, c'est que l'écoulement déterminé dans celle-ci par la forte pression avait comblé des vides préexistants (*).

Je ferai observer encore que Kick n'a pas comprimé les métaux dans un cylindre clos. Dans ses expériences, le métal fuyait sous la pression; elles demandent donc encore un complément. On trouvera ce dernier dans mes travaux.

Enfin, plus récemment encore, il a été démontré d'une manière claire et évidente pour le platine, pour l'iridium et pour le platine iridié, que les densités apparentes variables de ces métaux étaient dues à la présence de bulles de gaz emprisonnées et que leur densité absolue était constante pour une température donnée. Ce dernier travail que je signale est dû à MM. Broch, H. Sainte-Claire Deville et Stas; il fait partie des recherches auxquelles s'est livrée, dans ces dernières années, la Commission internationale du mètre (**). Ces savants se sont assurés que le platine pur était perméable aux gaz, et particulièrement à l'hydrogène, à une température bien inférieure à son point de fusion. « A l'état fondu, il les dissout. Pendant le refroidissement, il les laisse échapper en produisant dans le lingot d'une part des *cavités* qui ont communication avec l'extérieur et d'autre part de petites bulles closes, disséminées dans la masse. »

« On constate la présence de ces bulles dans les lingots de platine en élevant suffisamment leur température. En chauffant, à l'aide d'un chalumeau alimenté par le gaz oxyhydrique, un lingot bulleux, on voit, dès que la température est près du point de fusion du métal, sa surface s'élever et produire un véritable soulèvement là où les bulles existent. Les parties soulevées persistent après refroidissement... »

Le platine pur au point de vue chimique est donc impropre à la détermination des poids spécifiques, c'est en quelque sorte une

(*) Voir aussi : *Beiblätter zu den Annalen der Physik*, t. VI, p. 636.

(**) *Des types en platine, en iridium et en platine iridié à différents titres*, par MM. S.-C. DEVILLE et STAS, chez Gauthier-Villars, à Paris, 1879.

éponge à cavités plus ou moins grandes. Il n'y a donc rien d'étonnant que les physiciens aient obtenu, pour exprimer sa densité, des nombres compris entre 16,7521 (Brisson) et 23,543! (Cloud). MM. Broch, S.-C. Deville et Stas se sont efforcés de combler complètement, par l'action combinée d'une frappe à outrance et d'un recuit, les cavités du platine coulé avant d'en prendre le poids spécifique. La frappe fut exercée à l'aide d'un balancier à médailles dont la force à chaque coup est évaluée à 30,000 kilogrammes.

Voici les résultats obtenus pour quatre disques de platine provenant de quatre préparations différentes :

	I.	II.	III.	IV.
Disques bruts de fonte	21,4484	21,4366	21,0943	21,2180
Après frappe à outrance	21,4635	21,4412	21,4400	21,4528
Après recuit et nouvelle frappe	21,4417	21,4462	21,4437	21,4637
Après recuit au point de fusion de l'or et frappe.	»	»	21,4588	21,4489

On déduit facilement de là que la moyenne des différences premières des poids spécifiques des disques bruts est

0,1593,

tandis que la moyenne des différences premières des poids spécifiques après la frappe se trouve être respectivement :

0,0121,

0,0099,

0,0090.

Ces nombres montrent clairement que deux disques de platine coulé ne sont jamais comparables entre eux au point de vue de leur densité; ils tendent seulement à le devenir quand, par une compression assez énergique, on a rendu au métal sa continuité parfaite. En outre, et ceci est le point capital, la rapide diminution de ces différences premières montre que la contraction du métal marche vers zéro avec le nombre des frappes. Celles-ci ont toujours été précédées d'un recuit de la matière, qui avait pour objet de lui rendre sa mollesse primitive, mais malgré cette circonstance le métal résiste à l'action d'une compression nouvelle. Il est donc démontré qu'il est vraiment *incompressible d'une manière permanente*, ou encore, qu'il est d'une *élasticité parfaite*.

Le résumé succinct de ces travaux montre, je pense, que la science se trouve déjà en possession — sans y avoir cependant fait assez attention — de la connaissance d'une propriété curieuse des corps solides. Il ne reste plus qu'à s'assurer, par des expériences complémentaires, si cette propriété est générale.

Je vais faire connaître maintenant les travaux que j'ai exécutés dans ce but.

3. — *Vérifications expérimentales.*

J'ai opéré sur divers métaux purs ainsi que sur un certain nombre de sels.

Je vais indiquer d'abord comment les poids spécifiques de tous ces corps ont été déterminés, ensuite je ferai connaître les conditions dans lesquelles les corps ont été comprimés, et enfin, les résultats obtenus.

DÉTERMINATION DES POIDS SPÉCIFIQUES.

Le poids spécifique des métaux a été déterminé en opérant sur des masses de forme cylindrique aussi bien avant qu'après leur compression; mais pour les sels, il importait de mesurer leur poids spécifique, du moins avant la compression, en faisant usage de poudre provenant de cristaux. On sait, en effet, que les cristaux d'un certain volume présentent presque toujours des cavités ou des fissures remplies quelquefois par de l'air, mais le plus souvent par le liquide au sein duquel les cristaux se sont formés. Entiers, ils sont donc impropres à la détermination exacte des poids spécifiques.

Quand il s'est agi de la détermination du poids spécifique d'une poudre, j'ai opéré à peu près comme M. O. Pettersson l'a fait dans son beau travail sur les volumes moléculaires des sels isomorphes (*).

On pesait les poudres dans un petit dé en platine mince, d'une capacité de quelques centimètres cubes, suspendu par un fil de même

(*) OTTO PETERSSON, *Untersuchungen über die Molekularvolumina einiger Reihen von isomorphen Salzen.* (K. Societät der Wissenschaften zu Upsala, Dec. 1873.)

métal, aussi fin que possible, au fléau d'une bonne balance d'analyse. Après avoir pris le poids des poudres bien sèches dans l'air, on plongeait le dé et son contenu dans du *xylool pur* et on exposait le tout sous la cloche d'une machine pneumatique. Le vide relatif était fait lentement, pour éviter les projections que le départ rapide de l'air aurait produites; il était maintenu ensuite jusqu'à expulsion complète de l'air. Cette opération est indispensable, car on sait déjà, depuis les travaux de Grassi (*), que les corps en poudre fine donnent toujours un poids spécifique trop faible, à cause de l'air qui se condense à leur surface et que l'on ne peut enlever complètement par l'agitation.

Le vase et son contenu étaient ensuite pesés dans un bain large de *xylool* où plongeait un thermomètre. Des déterminations spéciales avaient fait connaître d'ailleurs la perte de poids apparente du vase en platine vide.

Le *xylool* employé provenait de la rectification répétée de plusieurs litres du produit commercial pur. Il bouillait d'une façon constante à 159°5, 140° (sans correction), et il était complètement incolore et volatile sans résidu visible. La densité a été déterminée à l'aide d'un picnomètre en verre cubant, à 0°, 16°045114, et maintenu chaque fois, avec son contenu, à une température constante pendant plusieurs heures. Le tableau suivant exprime la moyenne de deux séries de déterminations :

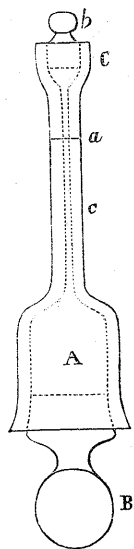
TEMPÉRATURES.	DENSITÉS.
15	0,8674
16	0,8664
17	0,8654
18	0,8645
19	0,8635
20	0,8625
21	0,8618
22	0,8610
23	0,8603
24	0,8595
25	0,8588

(*) *Dingler's Journal*, t. CIV, p. 428, 1874.

La densité du xylol avait été trouvée égale à 0,8660 à 15° par Warren.

La densité du xylol étant connue, on se trouve en possession de tous les éléments nécessaires pour rapporter, par le calcul, les poids spécifiques des poudres à l'eau de même température. Il est inutile d'indiquer ici ce calcul si simple et si connu. Je dirai encore que je n'ai pas rapporté les poids spécifiques à la température de 0° et au maximum de densité de l'eau, parce qu'il s'agissait seulement, dans ce travail, de s'assurer si les poids spécifiques dépendaient de la pression pour une même température.

D'un autre côté, lorsqu'il s'agissait de déterminer le poids spécifique des corps *en masse*, j'ai opéré à l'aide d'un petit picnomètre de forme spéciale nécessitée par les dimensions faibles des solides. Les masses comprimées ont toujours dû être prises de dimensions relativement faibles, pour assurer tout l'effet possible des énormes pressions qu'on exerçait sur elles. Il importait donc de prendre leur poids spécifique dans un vase assez petit pour que le volume de l'eau restât toujours comparable au volume du corps solide. Le picnomètre en verre que j'ai construit à cet effet est figuré par le croquis ci-joint, en grandeur d'exécution. Je puis donc me dispenser d'en donner une description détaillée et me borner à indiquer les points les plus saillants.



La masse solide dont il faut déterminer le poids spécifique, un cylindre de 8 millimètres de diamètre et de 5 à 8 millimètres de hauteur, se place dans la chambre A, qu'elle remplit presque complètement. Cette chambre est fermée par un bouchon en verre dont la forme conique est assez ouverte et qui a été rodé assez exactement pour s'enfoncer toujours à la même profondeur sans jamais la dépasser. A la chambre A est soudé, au-dessus, un tube fin *c* sur lequel est tracé un repère *a*.

Pour opérer à l'aide de cet appareil, on le pèse d'abord vide, puis on le remplit d'eau jusqu'en *a* de la manière que voici. Les deux bouchons B et *b* étant enlevés, on plonge l'appareil et les bouchons dans un vase renfermant de l'eau pure et on expose le tout dans le vide relatif, jusqu'à ce qu'il ne se dégage plus d'air de la surface du verre. Ensuite on place sous l'eau le bouchon B; on soulève l'appareil

reil complètement rempli en le maintenant verticalement dans l'eau, de façon à faire émerger seulement la capsule *c*; on évite ainsi une élévation de température due au contact de la main de l'opérateur. Enfin on enlève l'eau contenue dans la capsule et dans le tube fin jusqu'en *a*, à l'aide de fines bandelettes de papier buvard. On note la température de l'eau, puis on retire complètement l'appareil, qu'on essuie. On place à la fin seulement le bouchon *b* quand la température de l'eau s'est équilibrée avec l'extérieur. L'appareil est alors prêt à être pesé.

Enfin, pour la troisième pesée, on introduit, sous l'eau toujours et en opérant comme précédemment, le cylindre dans la chambre A. Le calcul du poids spécifique se fait comme à l'ordinaire.

J'ai pu obtenir, en opérant de la sorte, une concordance très satisfaisante dans les déterminations des poids spécifiques, bien qu'elles eussent lieu sur des cylindres de volume très petit. On le concevra sans peine en comparant les nombres suivants, qui ont été obtenus en pesant, à diverses reprises, l'appareil pourvu d'eau seulement jusqu'au repère *a* :

TEMPÉRATURES.	POIDS de l'appareil et de l'eau.
14°0	4,2836
16°0	4,2834
17°0	4,2832
17°0	4,2834
15°5	4,2830
13°5	4,2842
15°0	4,2833

Cet appareil ne donne pourtant pas de bons résultats si l'on remplace l'eau par le xylol. Malgré les soins apportés à la confection des bouchons, il reparait toujours une trace de xylol sur le bord extérieur du bouchon, quelque temps après avoir essuyé ce dernier.

CONDITIONS DE LA COMPRESSION.

Les solides ont été comprimés à l'aide de l'appareil à vis qui m'avait servi en 1880 à m'assurer si la pression amenait les grains d'une poudre à se souder. Comme il a déjà été décrit, je ne

reviendrai plus sur ce point (*). J'appellerai cependant l'attention sur cette circonstance capitale que ce compresseur permet d'emprisonner la matière dans un cylindre, de manière qu'elle se trouve soutenue partout sans pouvoir fuir.

La pression maximum qu'on peut réaliser avec cet appareil est d'environ 20,000 atmosphères. En calculant cependant l'effet produit par un effort de 50 kilogrammes appliqué à l'extrémité du bras de levier qui actionne la vis dont la descente enfonce le piston dans le cylindre, on arrive au nombre de 50,000 atmosphères; mais je crois qu'on restera plus dans la réalité en prenant pour limite environ 20,000 atmosphères. En effet, les frottements énormes développés par l'écrasement partiel du piston doivent sceller si fortement ce dernier dans le cylindre que l'effet utile doit diminuer dans une mesure très grande.

Pour obtenir le maximum d'effet de la compression, on n'a jamais agi par chocs brusques sur les corps, mais par poussées successives, en laissant entre elles un intervalle de plusieurs jours. Ainsi, on serrait d'abord la vis de l'appareil sur la substance à comprimer en chargeant l'extrémité du levier de 10 kilogrammes, ce qui produisait une pression d'environ 6,000 atmosphères, et l'on abandonnait l'appareil à lui-même pendant quelques jours, puis on ajoutait une nouvelle charge de 10 kilogrammes et l'on attendait de nouveau quelques jours, et ainsi de suite, jusqu'à ce que la plus forte pression possible fût atteinte. Chaque substance est restée de la sorte comprimée pendant environ trois semaines. J'ai cru devoir agir ainsi parce que j'avais observé, dans mes expériences sur la compression des poudres, qu'une pression brusque et de peu de durée ne se répartissait pas toujours uniformément dans la masse. Le fait était facile à constater parce que les poudres se soudaient alors inégalement bien dans toutes les parties de la masse. En faisant intervenir le temps dans l'acte de la compression, on devait arriver à un résultat d'autant plus complet qu'on permettait aux régions plus fortement pressées au début de *s'écouler* et de découvrir les régions que la pression n'avait pas atteintes.

Après un premier temps de compression, on retirait la substance

(*) Voir les *Bulletins de l'Académie royale de Belgique*, 2^e série, t. XLIX, n^o 5.

du compresseur, on prenait son poids spécifique, puis on la soumettait de nouveau à la pression pendant quelques jours. Finalement son poids spécifique était déterminé encore une fois.

Voici les résultats obtenus à l'aide de métaux.

On verra que j'ai fait choix de métaux ne jouissant pas, ou peu, de la propriété de dissoudre des gaz quand ils sont fondus. Ce point était du reste capital, comme on le pense bien.

On voit en effet que si, à la suite de la première compression, il s'est produit une augmentation du poids spécifique parfois assez forte, après la seconde, au contraire, il ne s'est plus manifesté que des changements incertains, les uns positifs, d'autres négatifs, et qui rentrent complètement dans les limites des erreurs d'observation qu'on est exposé à commettre en déterminant les poids spécifiques.

A. — MÉTAUX.	POIDS SPÉCIFIQUES.		
	Avant la compression.	Après la première compression.	Après la seconde compression.
1. Plomb.	11,350 à 14°	11,501 à 14°	11,492 à 16°
2. Étain	7,286 à 10°	7,292 à 10°25	7,296 à 11°
3. Bismuth	9,804 à 13°5	9,856 à 15°	9,863 à 15°
4. Antimoine	6,675 à 15°5	6,733 à 15°	6,740 à 16°
5. Cadmium.	8,642 à 17°	8,667 à 17°	8,667 à 16°
6. Aluminium (*)	2,7427 à 16°4	2,7517 à 16°	2,750 à 16°
7. Zinc	7,142 à 16°	7,153 à 16°	7,150 à 16°

Les nombres des deux dernières colonnes expriment certainement d'une manière plus exacte que ceux de la première colonne le véritable poids spécifique des métaux examinés, mais je tiens à faire observer que l'on ne peut cependant pas leur attribuer une valeur

(*) L'aluminium employé était le métal du commerce; je n'en garantis pas la pureté. Il n'est pas étonnant que son poids spécifique se soit trouvé un peu plus élevé que d'ordinaire.

absolue : ils n'expriment probablement qu'un minimum. Rien n'établit, en effet, jusqu'à présent, qu'une pression de 20,000 atmosphères durant plusieurs jours soit suffisante pour amener le remplissage de toutes les cavités d'un métal.

Voici, d'autre part, les résultats obtenus à l'aide de sels :

B. — SELS.	POIDS SPÉCIFIQUES.		
	Avant la compression.	Après la première compression.	Après la seconde compression.
Chlorure de potassium.	1,980 à 22°	2,074 à 22°	2,068 à 21°
Bromure de potassium.	2,505 à 18°	2,704 à 18°	2,700 à 18°
Iodure de potassium .	3,012 à 20°	3,110 à 22°	3,112 à 20°
Sulfate de potassium .	2,653 à 21°	2,654 à 22°	2,656 à 22°
Sulfate d'ammonium .	1,773 à 20°	1,750 à 22°	1,760 à 22°
Alun d'ammonium . . .	1,644 à 18°	1,629 à 16°5	1,634 à 18°
Alun de potassium . .	1,758 à 21°	1,756 à 16°5	1,750 à 16°5
Alun de cérium	1,988 à 18°	2 000 à 20°	2,005 à 20°
Alun de chrome. . . .	1,828 à 20°	1,823 à 16°5	»
Alun de thallium . . .	2,320 à 22°	2,314 à 16°5	2,314 à 18°

Le chlorure de potassium, le bromure de potassium et l'iodure de potassium avaient été fondus au préalable, puis pulvérisés; les autres sels ont été employés en fragments de cristaux bien séchés.

Il résulte de ce dernier tableau que pour les aluns et les sulfates on ne peut saisir aucune différence certaine entre les poids spécifiques *même après la première compression*. A l'état cristallisé, ces corps ont donc déjà atteint leur maximum de densité pour la température ordinaire; la pression ne peut rien y ajouter : ces substances sont donc incompressibles d'une manière permanente.

Il en est tout autrement du chlorure, du bromure et de l'iodure de potassium. Ces sels ont montré, après la première compression, une condensation assez forte qui ne s'est pas reproduite, à la vérité,

après la seconde compression. La condensation a été telle que le bromure de potassium aurait un poids d'environ 200 grammes de plus au litre après compression qu'avant. On a déjà observé (*) que le chlorure de potassium se présentait sous deux états différents, l'un cristallin et l'autre vitreux; son poids spécifique est alors aussi différent. Si l'on fait attention que les sels haloïdes avaient été fondus au préalable, on pourra trouver peut-être la raison de l'augmentation du poids spécifique de ces corps dans le passage de l'état vitreux à l'état cristallisé. Si ceci se confirme, on aura une preuve de plus de l'action de la pression sur les corps à états multiples. Quoi qu'il en soit, il est à remarquer que la diminution de volume ne s'est pas accentuée après la première pression et l'on doit en conclure que ces sels haloïdes présentent, comme les autres, un maximum de densité.

Je me résume et je conclus en disant que les solides se comportent sous pression comme les liquides ou les gaz. La matière ne peut être condensée par la pression que si elle admet un état allotropique plus dense encore que celui qu'elle possède au moment de la compression; en dehors de là, un abaissement de la température amène seul, peut-être, une diminution du volume de la matière. Le *poids spécifique* d'un corps est caractéristique de l'état sous lequel il se trouve à une température donnée. Cette grandeur a donc une signification de la même valeur que le *poids atomique* pour caractériser les éléments.

D'après ce que je viens de montrer, il se pourrait que le plus grand nombre des poids spécifiques admis aujourd'hui comme exacts s'écartassent plus ou moins de la vérité, surtout pour les métaux. Un travail de revision de ces grandeurs, fait en s'entourant des précautions nécessaires pour se mettre à l'abri des erreurs produites par la présence des cavités dans les corps, serait d'une utilité d'autant plus grande pour la science que l'on sait maintenant que la grandeur à mesurer ne dépend que de la température.

Il résulte aussi de ce qui précède qu'un métal écoulé ne peut pas présenter une résistance maximum à la traction sous une section donnée, puisqu'il renferme des solutions de continuité plus ou moins

(*) KRAUT-GMELIN, *Lehrbuch der Chemie*, II, p. 75.

grandes. Le martelage, en comblant les cavités, donne de la solidité au métal. C'est ce que savent très bien les constructeurs de machines. Il y a là un point très important pour les arts techniques, sur lequel je me propose de revenir plus tard.

Un mot encore.

On a vu, par les travaux de Riche, de Rose, de Broch, de Sainte-Claire Deville et de Stas, cités plus haut, que le recuit d'un métal qui a été frappé ou comprimé n'avait jamais eu pour conséquence de diminuer sa densité même si la frappe l'avait augmentée. Mais on sait, d'autre part, que le recuit rend de la mollesse à un métal frappé; il se pourrait donc qu'à une température élevée il se produisît dans certains métaux un travail de désagrégation qui serait sans influence sensible sur le volume occupé par le métal à la température ordinaire. Cette question importante, au point de vue des actions moléculaires qui s'accomplissent dans les corps solides, demande une étude spéciale. Je me propose de l'entreprendre et j'aurai l'honneur de présenter à l'Académie les résultats qu'elle pourra me fournir.
