

Je me suis proposé de vérifier 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.

Afin de ne pas dépasser les limites assignées à tout article du *Bulletin de la Société chimique*, je me bornerai à faire connaître ici, en résumé, les résultats obtenus. On trouvera le détail de mes expériences ainsi que les données bibliographiques indispensables pour apprécier complètement l'état actuel de la question dans le travail dont l'Académie de Belgique a voté l'insertion *in extenso* au *Bulletin* de sa séance de ce mois.

On sait qu'on trouve, en général, des valeurs différentes pour le poids spécifique d'un même métal suivant que celui-ci a été coulé, laminé, étiré ou martelé. Ces différences proviennent-elles d'une condensation réelle de la matière sous l'action de la pression exercée pendant le laminage ou le martelage, ou bien sont-elles dues à la disparition, sous pression, de bulles disséminées dans la matière coulée? Telle est, en un mot, la question à résoudre.

Il résulte déjà de recherches anciennes et récentes que les métaux qui, comme le platine, l'or, l'argent et le cuivre, jouissent de la propriété de dissoudre des gaz quand ils sont fondus et de les laisser échapper *incomplètement* pendant la solidification, sont aussi les corps pour lesquels l'écrouissement amène les plus grands changements dans le poids spécifique. Ceci étant, j'ai soumis à des pressions qu'on peut évaluer à environ 20,000 atmosphères des métaux divers, peu ou point doués de la propriété de dissoudre des gaz ainsi que des sels purs et secs exempts de gaz. La compression a eu lieu dans un cylindre de manière que la substance comprimée ne pût fuir et elle a duré, pour chaque

corps, environ trois semaines. Au bout de ce temps, on déterminait le poids spécifique de la matière et en la comprimant de nouveau pendant plusieurs jours pour terminer par une dernière détermination de son poids spécifique.

Il est clair, me paraît-il, que si la matière jouit réellement de la propriété de se condenser sous pression suffisante, on doit arriver, dans ces conditions, à constater une augmentation du poids spécifique; dans le cas contraire, celui-ci doit demeurer d'autant plus constant, malgré la pression, qu'il se rapporte à une substance moins exposée, par la nature de sa préparation, à présenter des fissures ou des cavités.

Voici les résultats obtenus :

	POIDS SPÉCIFIQUES		
	AVANT la compression	APRÈS LA 1 <sup>re</sup> compression	APRÈS LA 2 <sup>e</sup> 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	9,836 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. Zinc . . . . .	7,142 à 16°	7,153 à 16°	7,150 à 16°
7. Chlorure de potassium . . . . .	1,980 à 22°	2,071 à 22°	2,068 à 21°
8. Bromure de potassium . . . . .	2,505 à 18°	2,704 à 18°	2,700 à 18°
9. Iodure de potassium . . . . .	3,012 à 20°	3,110 à 22°	3,112 à 20°
10. Sulfate de potassium . . . . .	2,633 à 21°	2,631 à 22°	2,636 à 22°
11. Sulfate d'ammonium . . . . .	1,773 à 20°	1,750 à 22°	1,760 à 22°
12. Alun d'ammonium . . . . .	1,641 à 18°	1,629 à 16°, 5	1,634 à 18°
13. Alun de potassium . . . . .	1,738 à 21°	1,756 à 16°, 5	1,750 à 16°, 5
14. Alun de cérium . . . . .	1,988 à 18°	2,000 à 20°	2,005 à 20°
15. Alun de chrome . . . . .	1,828 à 20°	1,823 à 16°, 5	—
16. Alun de thallium . . . . .	2,320 à 22°	2,314 à 16°, 5	2,314 à 18°

On le voit, plusieurs corps ont manifesté, après la première compression une petite augmentation permanente de densité mais, celle-ci une fois réalisée, ils ont résisté à toute diminution ultérieure de leur volume. La densité a atteint, pour tous, un maximum. La faible augmentation permanente de densité observée n'a cependant jamais eu pour cause une contraction réelle de la substance, si ce n'est peut-être pour les sels halogénés du potassium. Ceux-ci avaient été fondus au préalable et ils étaient vitreux avant la compression. Pour les autres corps, l'augmentation de la densité a toujours été due à l'écrasement de ces

cavités existant dans la matière ou bien à la disparition de fissures plus ou moins évidentes. En un mot, on s'est trouvé en présence d'un fait *accidental*, mais non d'un phénomène dont il y a lieu de tenir compte.

Ce n'est pas à dire, cependant, que ces corps se soient montrés incompressibles dans le sens vrai de ce mot : au contraire, pendant toute la durée de la première compression, on a pu constater avec facilité que leur volume était diminué d'une quantité plus ou moins grande, mais aussitôt que la compression cessait, ils reprenaient exactement leur état primitif. Les solides examinés se sont donc comportés, sous pression, comme les liquides ou les gaz; ils sont revenus à leur premier état aussitôt qu'on leur a rendu la liberté. On a expliqué, comme on le sait, l'incompressibilité permanente des liquides et des gaz par cette circonstance que leurs molécules n'auraient pas, les unes par rapport aux autres, de position stable; on ne trouvait pas étonnant, 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 supposée de la position relative de leurs molécules les faisaient considérer comme différant peut-être profondément des liquides et des gaz; je pourrais citer comme preuve à l'appui de cette manière de voir, l'opinion et les travaux d'un grand nombre de physiciens et de chimistes. Cependant les résultats que je viens d'indiquer montrent qu'il n'en est rien. La densité des corps solides, de même que celle des liquides, ne change effectivement qu'avec la température. Cette analogie nouvelle des solides et des liquides est à ajouter à celle que M. Tresca a fait connaître, il y a déjà longtemps, quand il a prouvé que les solides s'écoulaient sous forte pression, comme les liquides. On peut la rapprocher aussi de celle que j'ai indiquée récemment en montrant que des particules de corps solides se soudaient quand elles étaient mises en contact intime à l'aide de la pression, comme les gouttelettes d'un même liquide se confondent dès qu'elles se touchent.

On ne doit pas considérer, cependant, la propriété dont il est question pour le moment comme s'étendant absolument à tous les corps solides. J'ai montré en effet, dans mes recherches antérieures sur l'action des fortes pressions, que le soufre plastique et le soufre prismatique fraîchement préparés se changeaient, par l'action de la pression seule en soufre octaédrique plus dense; de même, l'iodure jaune de mercure se change en iodure rouge

plus dense et l'arsenic amorphe se transforme en arsenic métallique dont la densité est aussi plus grande. Il sera donc plus vrai de dire que *la pression ne produit aucune condensation permanente des corps solides si ceux-ci n'admettent aucun état allotropique plus dense*. Dans le cas contraire, il pourra se produire une condensation permanente, mais celle-ci sera subordonnée à un changement d'état de la matière.

Il y a plus d'une conséquence à tirer de ce qui précède ; 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 donnée, par la densité du corps. La conclusion tirée de mes premières recherches, savoir que *la matière solide prend, dans des conditions de températures convenables, l'état 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*, ou, si l'on préfère, à une assimilation des états d'agrégation aux états allotropiques. Ainsi, dans cet ordre d'idées, la glace peut être considérée comme un état allotropique de l'eau. On sait, en effet, qu'en comprimant la glace, à une température convenable, inférieure à 0° cependant, elle se résoud 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 à une température convenable. D'ailleurs, les corps ne passent-ils pas 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 produit le passage d'un corps d'un état à un autre état allotropique par l'action de la chaleur en un vase clos de volume convenable, on observe, à une température donnée, une limite dans ce passage, de même qu'en chauffant de l'eau en vase clos on ne peut arriver à la volatiliser complètement. M. Lemoine a montré, par exemple, que le phosphore rouge, chauffé en vase clos au-dessus de 260°, ne se transformait jamais complètement en phosphore blanc, si l'on emploie plus de 2 gr. 85 de phosphore par litre de capacité du vase. La tension du phosphore ordinaire formé atteint une limite pour chaque température donnée, de même que la vapeur d'eau formée par la volatilisation en vase clos atteint une tension maximum pour chaque température.

L'assimilation des états d'agrégation aux états allotropiques permettra peut-être de relier les diverses formes de la matière à une seule cause : la polymérisation. On sait que plusieurs essais ont déjà été tentés dans ce sens.

L'incompressibilité permanente de la matière pourra contribuer, en second lieu, 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 du métal dans les fonds de la médaille ou de la pièce de monnaie, tandis que, en réalité, on se trouve plutôt en présence d'un véritable moulage comme celui que l'on ferait subir à une matière plastique. S'il en était autrement d'ailleurs, le recuit d'une pièce de monnaie devrait en effacer l'empreinte, ce qui n'est pas le cas.

D'autre part, 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 ploye une barre, on comprime sa région concave et l'on dilate sa région convexe. Or, il faut que, la barre étant abandonnée de nouveau à elle-même, la matière reprenne partout sa densité primitive ; la *déformation permanente* de la barre sera donc subordonnée au transport d'une certaine quantité de matière de la partie concave vers la partie convexe. Si le métal a un degré de mollesse suffisant, ce transport pourra se faire aisément et la barre ne se rompra pas. Dans le cas contraire, la barre se brisera d'autant plus facilement qu'on la ployera plus brusquement, car, dans ces conditions, le transport nécessaire de matière n'aura pas le temps de s'opérer.

Ces quelques considérations permettent, je pense, de donner une signification physique assez précise à ce qui se passe dans la matière quand la limite de son élasticité est dépassée. Lorsque, par suite d'une compression ou d'une traction exercée sur un corps solide, on a amené un déplacement de matière d'un point à un autre, alors la limite d'élasticité se trouve dépassée : le corps ne pourra plus reprendre spontanément sa figure primitive ; il sera déformé. Mais si on le comprime dans un cylindre par exemple, de manière à empêcher tout déplacement intérieur, comme c'était le cas dans mes expériences, alors, *quelle que soit la pression, la limite d'élasticité ne sera jamais dépassée*. Le

corps sera comprimé pendant la durée de la pression, mais il reviendra rigoureusement à son volume primitif dès que celle-ci aura cessé. C'est à juste titre que l'on peut donc dire que *l'élasticité d'un solide, dans ces conditions, est parfaite sans limite.* En résumé, la limite d'élasticité d'un corps solide est le *moment critique où la matière commence à s'écouler sous l'action des forces auxquelles elle est soumise.*

Un mot encore :

Il est des corps qui se déforment à peine quand la limite de leur élasticité se trouve dépassée dans les efforts qu'on exerce sur eux, mais qui se brisent alors avec la plus grande facilité ; on peut se demander aussi quelle est la signification physique de la fragilité d'un corps dans l'ordre d'idées où nous nous trouvons ? C'est bien ici qu'il est permis de dire que poser la question, c'est la résoudre : un corps fragile sera celui qui n'admettra pas de déplacement de sa matière d'une région comprimée vers une région dilatée, en un mot : *ce sera un corps privé de la propriété de s'écouler sous l'action de la pression.*