

Masses volumiques

par

P. Giacomo.

Les mesures de "masses volumiques" pratiquées au B.I.P.M. sont effectuées par pesée hydrostatique, en utilisant l'eau comme liquide de référence. Il s'agit donc, en fait, de mesures de densité par rapport à l'eau. Pour passer aux "masses volumiques", on utilise, faute de mieux, les tables de Chappuis (1907), qui sont des tables de densité par rapport à l'eau à 4 °C, et la valeur de la masse volumique de l'eau à 4 °C dont la détermination remonte à peu près à la même époque.

On sait actuellement que la "masse volumique" des eaux naturelles dépend de leur composition isotopique, les différences pouvant atteindre 1×10^{-5} . Tant qu'il s'agit de variations relatives, elles sont les mêmes pour la masse volumique et pour la densité, on peut donc s'abstenir de se poser des questions apparemment oiseuses. Ces questions deviennent plus inquiétantes si l'on songe que les déterminations de "masse volumique" des eaux naturelles font appel à deux pesées hydrostatiques (une pour déterminer le volume du corps d'épreuve, une autre pour déterminer la masse d'eau déplacée) et que la réduction des mesures fait appel chaque fois aux tables de Chappuis, établies à une époque où on ne soupçonnait même pas l'existence d'effets liés à la composition isotopique.

Il paraît donc nécessaire d'examiner en détail les opérations mises en jeu par ces déterminations pour estimer les risques d'erreurs systématiques ou, ce qui revient au même, les précautions oratoires dont doit s'entourer la publication d'un résultat.

1. Pesées hydrostatiques

On détermine par pesée :

- la masse M du corps d'épreuve (typiquement 1 kg)
- la masse m d'eau déplacée (eau du robinet bidistillée, que nous appellerons eau de référence) (m est de l'ordre de 100 g).

Corrections

- a) correction de poussée de l'air : elle est suffisamment faible (de l'ordre de 50 mg ou inférieure) pour qu'une erreur de l'ordre de 1×10^{-5} sur la détermination des volumes soit parfaitement tolérable pour son calcul.

- b) correction de gradient de g , due à la différence d'altitude entre la masse M du corps d'épreuve et le plateau de la balance, où l'on dépose les masses marquées ; de l'ordre de $200 \mu\text{g}$, elle ne pose pas de problème spécial.

2. Réduction

La mesure est effectuée à la température t et sous la pression H (y compris la pression hydrostatique). L'effet de la pression reste toujours très petit (de l'ordre de 5×10^{-7} pour 1000 N/m^2) et peut être considéré comme bien connu, nous n'y reviendrons pas. On passe de m mesuré à la température t au volume déplacé V_t à la même température en utilisant les tables de Chappuis (qui donnent en fait la densité $d_o(t)$ par rapport à l'eau à 4°C) converties en tables de masse volumique de l'eau en utilisant pour la masse volumique de l'eau à 4°C la valeur communément admise, soit $\rho_o(4^\circ\text{C}) = 999,972 \text{ kg/m}^3$. On admet donc :

- a) que l'eau de référence utilisée est la même que celle des tables de Chappuis,
 b) que la masse volumique à 4°C de l'eau utilisée par Chappuis est bien $\rho_o(4^\circ\text{C})$.

$$\text{On en déduit } V_t = \frac{m}{\rho(t)} = \frac{m}{d_o(t)\rho_o(4^\circ\text{C})}$$

Il est d'usage de passer ensuite de V_t , volume du corps d'épreuve à t , à son volume V_o à 0°C en utilisant le coefficient de dilatation mesuré une fois pour toutes.

3. "Masse volumique" d'une eau différente

La mesure de cette masse volumique demande une pesée hydrostatique supplémentaire, effectuée à la température t' , où l'on détermine la masse m' d'eau déplacée par le corps d'épreuve. Les corrections et effet de pression ne posent pas plus de problème que précédemment, le passage de V_o à $V_{t'}$ non plus (certaines de ces opérations s'éliminant plus ou moins avec les précédentes, l'exigence sur leur calcul s'en trouve réduite, pourvu qu'on utilise dans les deux cas les mêmes coefficients).

$$\frac{m'}{V_{t'}} = \rho(t')$$

est la masse volumique de l'eau étudiée à t' .

On la ramène à une température conventionnelle t_o (22°C) en utilisant une fois encore les tables de Chappuis, ce qui revient à admettre, entre t' et t_o , la même dilatation pour l'eau étudiée et pour l'eau de Chappuis. Cette fois, l'opération se justifie mieux que précédemment : $t' - t_o$ reste petit, de l'ordre de $0,1^\circ\text{C}$, la différence de dilatation entre l'eau lourde D_2O et l'eau légère H_2O au voisinage de 22°C est faible, et les compositions isotopiques des eaux naturelles varient relativement très peu entre ces deux limites extrêmes (on peut d'ailleurs évaluer la différence entre deux eaux naturelles "extrêmes" en admettant que les volumes des molécules s'ajoutent simplement dans le mélange).

Conclusion

Les risques d'erreur proviennent essentiellement des hypothèses a) et b). On peut espérer que notre eau de référence diffère peu de celle de Chappuis, dans la mesure où son origine est vraisemblablement la même et aussi (pour les gaz dissous) dans la mesure où nous essayons de lui appliquer les mêmes traitements.

Il est peu probable que l'exactitude qu'on peut attribuer à $d(t)$ donné par les tables et au coefficient de conversion $f_0(4\text{ °C})$ atteigne 1×10^{-6} . Or nos pesées semblent bien dépasser cette précision.

Il serait honnête de nous borner à donner nos résultats en "densité par rapport à l'eau de référence". On pourrait ainsi avancer une précision, évaluée d'après la dispersion des mesures, de l'ordre de 5×10^{-7} par exemple. Les valeurs données ainsi s'écarteraient systématiquement d'environ 3×10^{-5} des masses volumiques en kg/dm^3 . Or le mot "density" est utilisé en anglais pour masse volumique : il y a là un risque de confusion très grave dont nous devons tenir compte.

Si l'on donne les résultats en "masses volumiques", et si l'on veut pouvoir faire état de la précision des mesures il est donc indispensable de bien préciser où pourrait s'introduire une erreur systématique (ou, ce qui revient au même, quelles valeurs conventionnelles un autre expérimentateur devrait utiliser pour avoir quelques chances de retrouver les mêmes résultats) donc rappeler sous une forme quelconque les hypothèses a) et b). Par exemple : "résultat obtenu en admettant, pour l'eau de référence (eau du robinet, distillée et privée d'air), au voisinage de 20 °C , la masse volumique donnée par la table de densité de Chappuis (Travaux et Mémoires du B.I.P.M., 13, 1907, D40) convertie en table de masse volumique par multiplication par $999,972\text{ kg}/\text{m}^3$ (masse volumique admise pour l'eau de Chappuis à 4 °C).