

pas trop lors des pesées, ils doivent être placés le plus bas possible par rapport aux pivots – en pratique, à une distance au moins égale à deux ou trois fois leur taille. On obtient ainsi les balances d'apothicaire dont la sensibilité atteint le dixième de gramme. Le prix à payer est une taille imposante et un dispositif fort fragile, ce qui en fait d'ailleurs la beauté.

DU FLÉAU SIMPLE AU DOUBLE FLÉAU

Pour obtenir un appareil plus robuste, Gilles Personne de Roberval a conçu une balance dont les plateaux ne sont pas suspendus, mais placés au-dessus du fléau, comme dans notre balance rudimentaire. Cependant, ce fléau visible n'est que le bras supérieur d'un parallélogramme articulé, fixé sur la potence centrale (voir l'encadré page 89). Un second fléau parallèle, le «contre-fléau», est dissimulé dans le socle. Par construction, les tiges latérales restent verticales quand le parallélogramme se déforme, et les plateaux demeurent ainsi horizontaux quelle que soit l'inclinaison des fléaux.

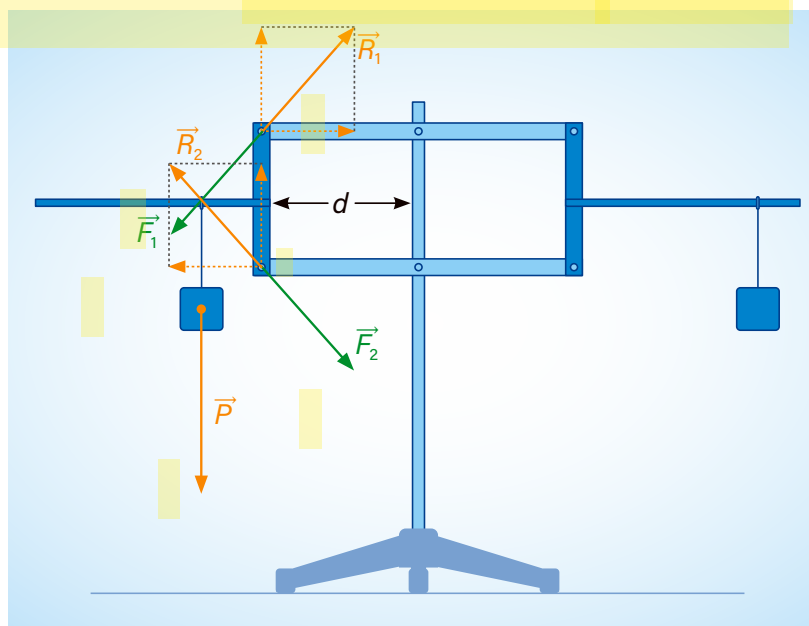
Comment la balance de Roberval s'équilibre-t-elle? Analysons le modèle de démonstration où les plateaux sont remplacés par deux bras horizontaux fixés rigidement au centre des tiges verticales du parallélogramme (voir l'encadré ci-contre). En l'absence de masses ajoutées, cette balance est parfaitement équilibrée.

Maintenons ce modèle dans une position quelconque tout en suspendant une masse sur le bras latéral gauche (par exemple). Trois forces s'exercent sur ce bras et la tige dont il est solidaire: le poids, la réaction du fléau supérieur sur le haut de la tige et la réaction analogue du fléau inférieur sur le bas de la tige. Comme le système est immobile, la somme de ces trois forces est nulle: les composantes verticales des réactions compensent le poids, et leurs composantes horizontales sont de même module, mais de sens opposés.

En vertu de la loi de l'action et de la réaction, la tige exerce, sur chacun des fléaux, des forces opposées aux deux réactions. Quels sont leurs effets sur la rotation des fléaux, solidaires par construction? Les composantes verticales de ces forces créent un moment égal à celui du poids ajouté et s'exerçant à l'extrémité gauche des fléaux. Pour les composantes horizontales, les moments exercés par la tige sur les deux fléaux se compensent, car ces forces horizontales sont opposées tandis qu'elles ont le

INDÉPENDANCE VIS-À-VIS DE LA POSITION

Ce modèle de démonstration du principe de la balance de Roberval reste à l'équilibre même si les deux masses égales sont suspendues à des distances différentes de l'axe vertical central. La position d'équilibre des « fléaux » représentée ici est horizontale pour simplifier. On considère le système masse-barre-tige de gauche. Il est soumis à trois forces : le poids $\vec{P}$, la réaction $\vec{R}_1$ du fléau supérieur et la réaction $\vec{R}_2$ du fléau inférieur. La somme des composantes verticales de $\vec{R}_1$ et $\vec{R}_2$ est égale au poids $\vec{P}$. Par la loi de l'action et de la réaction, les fléaux subissent, à gauche, les forces $\vec{F}_1 = -\vec{R}_1$ et $\vec{F}_2 = -\vec{R}_2$. Le moment total exercé sur eux par $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ est égal, en module, au produit du poids P par la distance d . Il est donc indépendant de la position du point de suspension.



même bras de levier par rapport aux pivots de la potence centrale.

Le point remarquable est que le moment total ne dépend pas de la position de la masse ajoutée sur le bras latéral. Lorsqu'on la déplace, on ne change que le module des composantes horizontales des forces agissant sur les fléaux; or le moment dû à ces composantes est toujours nul!

Ce résultat surprend les physiciens qui font remarquer que les moments des poids posés sur la balance de Roberval, prise dans sa totalité, ne sont pas identiques si les masses ne sont pas à égale distance de la potence centrale. Comment l'équilibre serait-il alors possible? En fait, il faut tenir compte des forces de réaction du support sur lequel est posée la balance. En 2019, Jaeseong Park et deux collègues, en Corée du Sud, ont ainsi montré que ces réactions, verticales et à égale distance de la potence centrale, ne sont pas égales en module. La différence de leurs moments compense justement la différence des moments des poids. La balance est bien à l'équilibre! ■

BIBLIOGRAPHIE

J. Park et al., **What force and torque are working with the Roberval balance?**, *The Physics Teacher*, vol. 57(3), pp. 166-168, 2019.

P. Chagnon, **The Roberval balance**, *The Physics Teacher*, vol. 30(4), p. 238, 1992.

E. S. Barr, **The Roberval balance**, *The Physics Teacher*, vol. 22(2), p. 121, 1984.