

Série : INSTRUMENTS SCIENTIFIQUES: UNE AVENTURE CAPTIVANTE !

Les balances: tout bien pesé

12

Cet article pose quelques jalons historiques et techniques du cheminement ayant permis de passer des instruments de pesée (IP) antiques à la balance-rie électronique moderne, via les apports fondamentaux de la science classique du 16^e siècle au 18^e siècle et de l'industrie du 19^e.

Les mesures naissent quand l'homme passe d'une économie de chasse et de cueillette à une économie d'échange, où une évaluation quantitative des biens, propriétés et services devient nécessaire. Dès lors que le partage, le troc, le commerce, la perception de droits ou de taxes ne peuvent plus reposer sur le simple dénombrement d'objets, il faut évaluer des grandeurs variées avec des instruments de mesure et des unités déterminées. Pour les masses, il s'agira de balances.



Texte: Christiane DE CRAECKER-DUSSART • c.decraecker@skynet.be

Photos: **PhotoAlto/REPORTERS** (p.12), **CPHR/balance Testut** (p.13), **Arteslonga/Beranger** (p.13),

Le Compendium/A. BALASSE/trébuchet (p.14), **Tompress** (p.15)

BALANCES ANTIQUES ET MÉDIÉVALES

Les premières civilisations laissent des traces picturales et sculpturales et un certain nombre de vestiges. Apparaît d'abord le bâton à peser (devenu bismar), inventé par les peuples nomades entre 8 et 10 000 avant J.C., pour peser gibiers, fruits,... Il s'agit d'un simple fléau à bras inégaux et contrepoids fixe, équilibré par déplacement de la charge. C'est une des plus anciennes inventions humaines, aussi ancienne que le troc. Vers 3 000 avant J.C., Égyptiens et Sumériens fabriquent les premières **balances à 2 plateaux**. Formées d'un simple levier-fléau et de 2 plateaux soulevés à la main, elles servent à peser grains, métaux, tissus,..., prélever les taxes, «peser les actions des défunts» (d'où

l'allégorie de la Justice). Connue dans la plupart des civilisations, c'est l'IP le plus répandu. Ils l'améliorent vers 2 000 avant J.C. avec un piédestal supportant le fléau par le milieu. Ils créent les poids associés: en pierre pour les plus lourds, en bronze ou plomb pour les plus légers.

La **balance romaine** (ou «la romaine») est créée, non par les Romains, mais par les Chinois, dès le 2^e millénaire avant J.C., pour peser la soie et autres biens précieux. Elle est transmise au Bassin méditerranéen au 2^e siècle avant J.C. par les caravaniers de la route de la soie, d'abord aux Grecs et aux Romains, puis aux Arabes. Avec crochet, elle devient **quintalier**. Elle sera améliorée au 18^e siècle par décalage de couteaux la rendant oscillante et remplacement du bronze et du bois par le fer forgé, puis, au 19^e, du fer forgé par le fer et l'acier

étirés et estampés, augmentant la qualité de production. Connue de la plupart des civilisations, c'est un IP courant pour les charges moyennes à très fortes (plusieurs milliers de livres), vu l'absence de poids et la facilité de transport (photo 1, ci-contre). De Vinci la représente munie d'un cadran gradué. En avance de quelques siècles, son concept passera curieusement inaperçu...

Vers 1121, al-Khazîni décrit la «balance de la sagesse»: une **balance hydrostatique**, une des premières balances scientifiques. Elle détermine (sur base du principe d'Archimède) poids spécifique, centre de gravité, notion de pesantEUR de solides (métaux, pierres précieuses,...). En 1585, Galilée la redécrit dans «La Bilancetta» et l'appliquera en détail. À la fin du 15^e, les métallurgistes perfectionnent la **balance à bras égaux** en remplaçant le bronze coulé par le fer forgé, pour corriger les défauts plus facilement; divers dispositifs améliorent sensiblement la justesse des fléaux.

SCIENCE CLASSIQUE:

16^e SIÈCLE-18^e SIÈCLE

La Renaissance voit naître la **balance analytique de précision**, la balance scientifique à cage de protection et cadran gradué, et la balance de laboratoire, modèles plus ou moins sophistiqués pour expériences de physique et de chimie. À la fin du 17^e siècle, le **trébuchet** ou **balance fine** à poids associés, de type **macrobalance**, permet de peser non seulement monnaies, pierres précieuses et pépites, mais aussi réactifs chimiques, drogues, médicaments, etc (photo p.14).

Hooke invente le **peson à ressort** en 1678. Il mesure le poids par extension d'un ressort de qualité améliorée en se basant sur la loi portant son nom («As the extension, so the force»: l'importance de l'allongement est proportionnelle à la force de traction sur l'objet élastique, en deçà de sa limite d'élasticité). Outre Rhin, apparaissent, un peu plus tard, des ressorts en C, en V, elliptiques (avec aiguille entraînée par pignon denté) et à lame (*peson de Poncelet*). Peu précis et peu fiable, mais petit, pratique et rapide, le peson à ressort concurrence la romaine pour les charges de 10 g à plu-

sieurs tonnes (ménage, poste, chasse, pêche, aliments, industrie, commerce, personnes,...) (photo p.15).

Vers 1743, Wyatt invente la **bascule** et le **pont à bascule** pour les objets pondéreux. S'affranchissant de la nécessité de suspendre les charges lourdes et encombrantes grâce aux leviers combinés, ils permettent une pesée rapide des marchandises aux portes des villes. Par exemple, peser la charrette sans avoir à la dételier et à l'éliminer au crochet d'une énorme romaine: il suffit de l'immobiliser sur le tablier au niveau du sol. Robuste, bon marché, facile à entretenir, la bascule devient l'IP nécessaire aux commerces, ateliers, fermes, mines,... À la fin du 18^e, les Anglais créeront le pèse-personne, de portée inférieure au pont à bascule. Au début du 19^e, Kettle équipera la bascule portable de Quintenz d'une toise.

Déjà connue à la Renaissance comme balance scientifique, la **balance à contreponds pendulaire** est adoptée, mi-18^e, pour pesées faibles à moyennes dans le domestique, le textile, etc., vu sa rapidité (absence d'oscillation) et sa commodité (instrument gradué sans poids autonome).

Grâce aux balances, la fin du 18^e voit naître une nouvelle science: la chimie expérimentale. En 1787, Lavoisier commande à Portier et Mégnié des trébuchets de haute précision. Leur emploi constant lui permet de publier les célèbres «*lois de conservation de la matière*» portant son nom. Elles forment la base de la chimie expérimentale et sont toujours valables. Son livre fondateur, «*Traité élémentaire de chimie*», datant de 1789, met l'accent sur l'expérience, l'aspect quantitatif, la pesée, le bilan matières, l'oxygène, les corps simples, une liste de 33 éléments,... Les balances y jouent un rôle clé. Tous ses travaux lui valent le titre de «*Fondateur de la Chimie moderne*».

À la même époque, 2 autres savants s'illustrent en matière de mesure des masses. En 1785, Coulomb décrit l'usage d'une **balance électrique (-pendule) à torsion** mesurant des forces électriques minimes. Il établit ses lois d'électrostatique. Le dispositif lui permet, ainsi qu'à Cavendish, de mesurer les faibles forces exercées par les charges électriques, le magnétisme et la gravitation. Cavendish par-



1

Balance romaine d'une portée de 100 kg. De nos jours, elle est encore utilisée comme pèse-bébé et comme balance de ménage. Lorsqu'ils sont en bon état et bien réglés, ces instruments ont une bonne précision.

Balance en acier émaillé à 2 plateaux, avec affichage à aiguille sur écran triangulaire datant du début du 20^e siècle.



13

2

Très grande balance d'épicerie d'une portée de 20 kg. Marque déposée des Usines de la Mulatière, anciennement Maison Béranger. Époque fin 19^e - Napoléon III.



3

vient même, en 1798, à déterminer la densité moyenne et la masse de la Terre.

ROBERVAL, BÉRANGER: L'ÂGE D'OR DU 19^E SIÈCLE

Contrairement à une idée répandue, le mathématicien Roberval n'invente pas la célèbre balance qui porte son nom. Il n'en établit et n'en expose que le principe («énigme statique») en 1669. Le mérite de la réalisation revient à l'Anglais Medhurst en... 1818. C'est la **balance anglaise**, ancien nom de la **(balance) Roberval**. Béranger n'en obtiendra la première admission officielle en France qu'en 1840. La Roberval est une balance à parallélogramme articulé et 2 fléaux, 1 mobile et 1 fixe (base), avec bassins ou plateaux posés au-dessus, au lieu de pendre en-dessous, comme pour les instruments à 2 plateaux suspendus. Très critiquée pour son manque de précision et de justesse, elle ne s'impose qu'à la fin du 19^e siècle (marchés, commerces, ménages, administrations...), pour les charges de 10 g à 50 kg. En 1845, Béranger («Père de la balance moderne») perfectionne la Roberval. Nettement plus fiable que celle-ci, la **Béranger** se base sur un système à bras

Une pièce de monnaie est sonnante lorsqu'elle ne contient pas de vil métal et que le titre approche le 10/10 en or ou en argent. Ainsi, elle tinte de manière reconnaissable pour une oreille avertie. Elle est trébuchante quand elle ne craint pas l'épreuve du trébuchet. Les pièces de monnaie s'usaient pendant leur durée de vie et parfois certains grattaient les pièces pour en récupérer un peu de poudre d'or. Pour que la pièce ait le même poids moyen pendant toute sa durée d'usage, on lui donnait une surcharge à sa fabrication (frappe) qu'elle perdait peu à peu. Cette surcharge était mesurable avec un trébuchet (voir ci-contre). Demander à être payé en monnaie sonnante et trébuchante signifiait que l'on voulait être payé en monnaie authentique et neuve.



égaux à fléaux composés, en boîte fermée (balance de comptoir de prestige, avec index en flèches engagées dans une pendule) ou simplifiée ouverte (marchés). D'une portée de 1 à 100 kg, elle est répandue en Europe (photo 3, p.13).

Si, au Moyen Âge et à la Renaissance, la balancerie relève du domaine d'artisans spécialisés, au 18^e siècle, elle s'intègre à la production des fabricants d'instruments de précision qui connaissent leur apogée au 19^e, au sein de dynasties industrielles. C'est l'âge d'or de la balancerie traditionnelle. Datent de cette époque la bascule compteuse à enregistrement automatique et tickets, ainsi que la balance de comptoir semi-automatique, basée sur un mécanisme Roberval inversé (de type anglais), entraînant une aiguille devant un cadran gradué en forme de secteur (photo 2, p.13).

AUTOMATIQUES, ÉLECTRONIQUES ET... NANOTUBES

Le principe des modèles automatiques (à cadrans gradués circulaires) du 20^e siècle repose sur la déformation d'un parallélogramme (Roberval) ou d'un ressort (peson). La **balance analytique auxiliaire à monoplateau supérieur** naît en 1946. Elle est 10 à 100 fois plus précise qu'une **balance à 3 fléaux**. Puis, l'électronique rend la déformation très faible (d'où suppression des défauts des IP anciens, notamment leur sensibilité aux pannes mécaniques et aux vibrations),

car détectée par capteurs, amplifiée par jauges de contrainte, puis mesurée électriquement. La **balance (micro)analytique électromagnétique et électronique** actuelle (sans fléau ni couteau), notamment la **semi-microbalance**, est commandée par ordinateur à microprocesseur enregistrant les données, à affichage digital et imprimé. Ceci accélère très fortement la pesée et augmente sensiblement facilité, exactitude, fidélité, sensibilité et précision. Il y a 40 ans, il fallait encore 5-10 minutes pour une pesée au trébuchet. Actuellement, quelques secondes suffisent avec un tel équipement, qui a remplacé la balance traditionnelle à fléau(x) dans la plupart des cas. À part pour la restauration d'anciennes balances, le métier de balancier est remplacé, dans les pays développés, par celui... d'électronicien ! Fin du 20^e, les laboratoires peuvent peser à $\pm 1 \mu\text{g}$ avec la **microbalance à quartz**. Les plus performantes ont une sensibilité = $1 \text{ ng/cm}^2 = 10^{-3} \mu\text{g/cm}^2$, pour mesurer, par exemple, la concentration des particules fines en suspension dans l'air. L'ultramicrobalance pèse jusque 5 g à $\pm 0,1 \mu\text{g}$!

Tout récemment, en 2012, des chercheurs de l'Institut Catalan de Nanotechnologie de Barcelone ont mis au point la «balance à vibrations de nanotubes de carbone C», la balance la plus sensible du monde ! Elle mesure les plus petites masses connues (nanotubes de C, atomes de xénon,...) au yoctogramme (yg) près: $1 \text{ yg} = 10^{-24} \text{ g} = 10^{-15} \text{ ng}$ ($1 \text{ ng} = 10^{-9} \text{ g} = 10^{-3} \mu\text{g}$) !

Où s'arrêtera-t-on ? Aux particules élémentaires de la matière ? Affaire à suivre... ■



Pour en savoir plus:

- *Analyse chimique quantitative de Vogel*, De Boeck, Bruxelles, 2006.
- *Chimie analytique*, par Skoog, De Boeck, Bruxelles, 2012.
- *Dictionnaire des inventions & techniques*, par M.-E. Berthon, TEC & DOC, Paris, 2004.
- *Instruments des sciences*, par H. Michel, de Visscher, 1980.
- *Science: the definitive visual guide*, par A. Hart-Davis, DK, London, 2009.
- *La Science classique: XVIe – XVIIIe s.*, par Blay et Halleux, Flammarion, Paris, 1998.
- <http://www.direct-pesage.net> → Heitzler, balances, 2007.
- <http://www.techniques-ingenieur.fr>

GLOSSAIRE

(Duval, 1978; Heitzler, 2007; IUPAC, 1999; Larousse, 2013; Michel, 1980; Perdijon, 2012; Quévauviller, 2001; Skoog, 2012)

Types d'instruments de pesée (IP)

Balance à 2 plateaux	Balance simple avec fléau à bras égaux, mobile au centre sur un point fixe (couteau) et soutenant un plateau à chaque extrémité, 1 pour la charge, 1 pour les poids.
Balance à 3 fléaux	<i>Balance auxiliaire de laboratoire monoplateau</i> , pour masses approximatives. 10-100 fois moins précise qu'une balance à plateau supérieur, elle suffit pour de nombreuses pesées, vu ses avantages (simplicité, robustesse, durabilité, faible coût).
Balance (à levier) à bras égaux	Balance à levier - fléau simple, suspendu via un étrier (chape) ou posé au sommet d'une colonne. Oscillante si le centre de gravité du fléau est un peu en dessous du pivot central; folle s'il est au-dessus (aucun équilibre possible); dure s'il est fort en dessous.
Balance à contrepoids pendulaire	Balance à fléau simple, à bras très inégaux, travaillant à forte inclinaison, au contraire de la <i>balance à bras égaux</i> et même à la <i>romaine</i> .
Balance analytique ou Balance de précision	Balance de précision ayant une capacité max. = 1 g à 2-3 kg et une précision = $1/10^6$ à $1/10^5$ de sa capacité max.
Balance auxiliaire de laboratoire monoplateau	Balance moins précise et sensible, plus robuste et rapide qu'une <i>balance analytique</i> . À plateau supérieur, elle pèse p. ex. 500 g à ± 10 mg, 5 kg à $\pm 0,1$ g ou 16 kg à ± 1 g.
Balance électromagnétique et électronique	Balance où un champ électromagnétique maintient la position du plateau unique; le courant le ramenant chargé en position initiale est proportionnel à la masse déposée. Un microprocesseur convertit le courant en celle-ci affichée.
Balance hydrostatique	Balance scientifique illustrant le principe de la poussée d'Archimède et déterminant la densité de liquides ou d'objets non solubles dans l'eau et plus denses qu'elle.
Balance microanalytique	<i>Balance analytique</i> dont la charge max. = 1 à 3 g et la précision = 1 μ g.
Balance monoplateau mécanique ou électronique	Balance mécanique munie d'un fléau dissymétrique soutenant plateau et poids d'un côté du couteau et un amortisseur à air de l'autre; la pesée s'effectue en ôtant des poids étalons jusqu'à ce qu'ils égalent la masse de l'objet. Type de <i>balance électronique</i> .
Balance (-pendule) Béranger	<i>Roberval</i> perfectionnée, où le fléau principal à <i>bras égaux</i> est relié à 2 leviers annexes symétriques situés en dessous ou transmissions. Chaque bassin est supporté par une extrémité du fléau et une extrémité de la transmission homologue et reste horizontal par calcul judicieux du rapport entre les bras de levier.
Balance électrique (-pendule) à torsion ou Balance de Coulomb	Balance à 2 barres horizontales à sphères, compensées par torsion d'un fil de <i>quartz</i> , de verre, d'argent ou d'un ressort <i>spiral</i> . L'angle des 2 barres mesure une faible force, exercée par charges électriques, magnétisme, gravitation.
(Balance) Roberval ou Balance à parallélogramme anc. Balance anglaise	<i>Balance à 2 plateaux</i> posés aux extrémités d'un fléau reposant chacune sur un couteau. Le fléau principal, à bras égaux, est relié à un levier annexe situé en dessous (contre-fléau); l'ensemble forme un parallélogramme. Chaque bassin est supporté par une tige verticale reposant sur les couteaux et reliée à une extrémité du contre-fléau.
Balance romaine ou Romaine ou Quintalier (à crochet)	(arabe <i>rummāna</i> , grenade, fruit du grenadier, de forme similaire au curseur) <i>Balance à levier</i> , formée d'1 fléau suspendu simple à bras inégaux. Sur le bras le plus long et gradué, glisse un curseur à poids constant équilibrant l'objet suspendu à l'autre bras.
Bascule et Pont à bascule	Balance de forte portée, à fléau à bras inégaux, avec petit plateau suspendu à poids et tablier pour la charge. Reposant sur 2 leviers triangulaires combinés amplifiant l'action des poids, assurant aux points d'appui un faible déplacement vertical identique.
Macrobalance	<i>Balance analytique</i> courante à charge max. = 500 g pour une précision = 0,1 mg.
Microbalance à quartz	Microbalance <i>piézoélectrique</i> à <i>quartz</i> avec pesée à ± 1 μ g au pèse-substance, tube capillaire à prolongement.
Peson à ressort	IP à ressort muni d'un index se déplaçant le long d'une échelle graduée. Seul IP à ne pas comparer une charge avec des masses étalonnées, mais à compenser l'action de la pesanteur sur cette charge, par déformation élastique d'un ressort.
Semi-microbalance	<i>Balance semi-microanalytique</i> : charge max. = 10-30 g, précision = 0,01 mg = 10 μ g.
Trébuchet/Balance fine	Petite <i>balance analytique</i> à <i>bras égaux</i> et 2 <i>plateaux</i> , pesant de très petites masses.

