

Erhard Mettler et ses balances (1945-1980)

Résumé Après un apprentissage en mécanique de précision, complété par une brève formation commerciale, Erhard Mettler (1917-2000) décida en 1945 de fonder sa propre entreprise, en fabriquant des instruments pour la chimie. En accord avec son premier collaborateur, Hans Meier, le choix se porta sur un modèle non-conventionnel de balance, la balance de substitution à un seul plateau, dont aucun modèle n'avait jusqu'alors rencontré de succès commercial. Le premier modèle, la balance Mettler type A, vit le jour au début de 1947 dans un petit atelier près de Zurich. Après un début difficile, les ventes démarrèrent. L'expansion fut rapide, accompagnée du développement d'un réseau international de représentations. De 1947 à 1980, les modèles de balances de substitution mécaniques se succédèrent, avec en même temps une diversification de la production : balances de micro-analyse, balances à plateau supérieur. J'en montre des exemples de la collection UNIL/EPFL. Mais à la fin des années 1960, il devint clair que l'avenir appartenait aux balances électroniques, à compensation de force électromagnétique, qui, dès 1973, remplacèrent peu à peu les balances mécaniques dans le catalogue. Quand Erhard Mettler vendit son entreprise à Ciba-Geigy en 1980, elle occupait environ 2200 personnes dans le monde.

Mots-clés Mettler, balances, substitution, pesée.

Abstract Erhard Mettler and his balances (1945-1980)

After an apprenticeship in precision mechanics, supplemented by a brief commercial training course, Erhard Mettler (1917-2000) decided in 1945 to set up his own company, manufacturing instruments for the chemical industry. In agreement with his first collaborator, Hans Meier, the choice fell on an unconventional model of balance, the single-pan substitution balance, of which no model had yet been commercially successful. The first model, the Mettler type A balance, was produced in early 1947 in a small workshop near Zurich. After a difficult start, sales took off. Expansion was rapid, accompanied by the development of an international network of sales representatives. From 1947 to 1980, there was a succession of models of mechanical substitution balances, while at the same time production diversified to include micro-analysis balances and top pan balances. I show some examples from the UNIL/EPFL collection. But by the end of the 1960s, however, it became clear that the future lay in electronic balances, with electromagnetic force compensation, which gradually replaced mechanical balances in the catalogue from 1973 onwards. When Erhard Mettler sold his company to Ciba-Geigy in 1980, it employed some 2200 people worldwide.

Keywords Mettler, balances, substitution, weighing.

Erhard Mettler : jeunesse et formation

Erhard (Eri pour les intimes) Mettler est né à Saint-Gall, ville du nord-est de la Suisse, le 20 avril 1917, dans une famille très à l'aise financièrement, habitant une grande villa en périphérie de la ville et possédant déjà une voiture [1]. Un père sévère, actif dans l'industrie textile, se montrait plutôt distant envers ses enfants. Eri, second d'une fratrie de quatre, eut ainsi une enfance privilégiée, tout en recevant une éducation stricte. Créatif et bricoleur, il se révéla un mauvais écolier, si bien qu'à l'âge de 12 ans ses parents l'envoyèrent dans une école privée, un internat au bord du Lac de Constance qui appliquait les principes de « l'Éducation nouvelle », où il passa jusqu'à l'âge de 16 ans une période heureuse de sa vie. Peu doué pour les études supérieures, il effectua ensuite un apprentissage de mécanicien de précision à Winterthur, puis un semestre au Technikum de cette ville, avant de faire son service militaire obligatoire, jusqu'au grade de lieutenant.

De 1941 à 1944, il travailla comme mécanicien chez Wild Heerbrugg SA, fabricant renommé d'instruments de géodésie, notamment de théodolites. Ces années, pendant lesquelles il eut l'occasion de se former en optique, furent interrompues par des périodes de service militaire qui lui donnèrent l'occasion d'affirmer ses qualités de chef. Il suivit ensuite une brève formation commerciale.

En 1945, il partit vivre à Zurich avec son frère Matthias, étudiant en architecture. Son but était de devenir indépendant, en fondant sa propre entreprise. Orienté vers la chimie par un ami chimiste, il put visiter les laboratoires de l'École polytechnique fédérale (ETHZ), où il vit toutes sortes d'instruments, parmi lesquelles les balances, objets complexes et coûteux, relevant de la mécanique de précision. Elles lui paraissaient démodées. Il suivit donc le conseil de son frère aîné Hans : « Fais quelque chose pour la chimie, ils ont de l'argent ! ».

Balances de chimie : état de la technique vers 1945

Les balances à deux plateaux ont derrière elles une très longue histoire [2]. L'évolution des modèles utilisés dans les laboratoires de chimie, dès le 18^{ème} siècle, a convergé sur un type standard caractérisé par un boîtier de bois vitré, une capacité de pesage autour de 200 grammes, avec une sensibilité de 1 milligramme, ou mieux, et depuis les années 1890, un fléau court [3, 4]. La balance de la *figure 1*, comme toutes les balances que je montre, fait partie de la Collection d'instruments scientifiques UNIL/EPFL [5].

La pesée s'effectuait en plaçant sur un des plateaux les poids extraits d'une boîte. La lecture de la dernière décimale résultait de la lecture de l'inclinaison résiduelle du fléau.



Figure 1 - Balance à deux plateaux avec son jeu de poids (début 20^{ème} s.), Collection UNIL/EPFL, Inv. 603.0154.

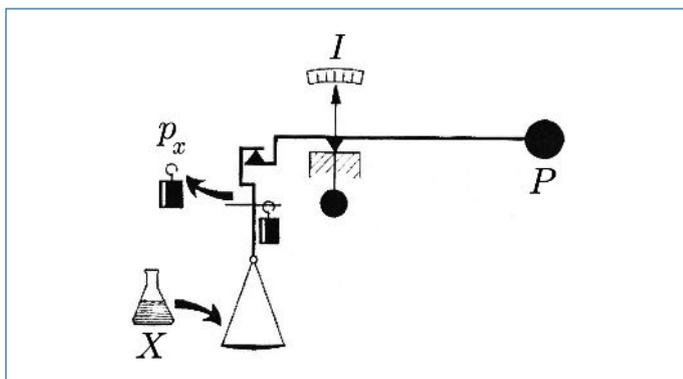


Figure 2 - Principe d'une balance de substitution. Adapté de L. Biétry, « Lexique du pesage », figure 13.

Les modèles haut de gamme étaient pourvus de couteaux et de paliers en agate, fragile et assez tendre [6], d'amortisseurs pneumatiques diminuant le temps d'oscillation, d'une lecture micrométrique de l'inclinaison du fléau, et exceptionnellement d'un jeu de poids incorporé, actionné par des boutons placés à l'extérieur du boîtier [7].

Il y a plusieurs sources d'erreur possibles lors d'une pesée avec une telle balance : parmi elles, l'inégalité résiduelle de la longueur des deux bras du fléau, et la charge variable de celui-ci. Pour s'en affranchir, deux méthodes étaient pratiquées :
- la *transposition*, déjà mentionnée par Lavoisier en 1773, et souvent attribuée à Gauss [8]. On fait deux pesées, une fois avec la masse à peser sur le plateau de gauche et les poids à droite, une seconde avec la masse inconnue à droite, et on fait la moyenne des résultats ;

- la *substitution*, utilisée par Borda [9] et décrite par Biot [10]. La masse inconnue est équilibrée par un lest sur l'autre plateau, puis la masse est remplacée par des poids connus jusqu'à l'équilibre.

Pour effectuer la suite des manipulations requises pour une pesée de précision, il faut un opérateur expérimenté et patient. Des constructeurs se sont demandé comment simplifier les opérations.

Une solution est de construire une balance dite de *substitution* avec un seul plateau et deux paliers. Un jeu de poids correspondant à la capacité de pesage de la balance maintient à l'horizontale le fléau pourvu d'un contre-poids P (figure 2). Lors de la pesée d'une masse X , on enlève le nombre de poids p_x nécessaire au ré-équilibre de la balance [11]. La charge du fléau est ainsi constante.

À ma connaissance, la plus ancienne balance de substitution conservée est celle de Bochkoltz [12], décrite en 1833 (figure 3), et retrouvée récemment par Françoise Khantine-Langlois dans les collections de physique de l'Université Claude Bernard Lyon 1 [13, 14].

Plus tard, d'autres modèles ont été proposés par différents constructeurs [15], mais aucun n'a connu de succès commercial. Seule la petite balance hydrostatique de Westphal (figure 4) a été produite et copiée pendant plus de 50 ans [16].

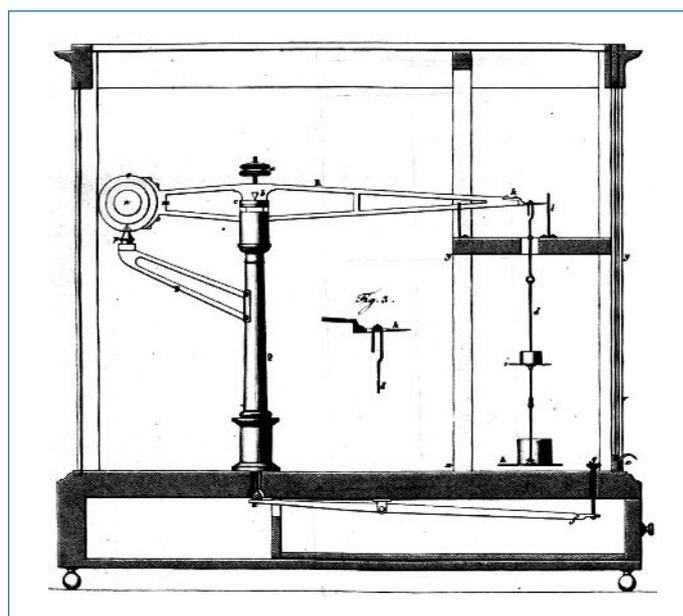


Figure 3 - Balance de Bochkoltz. Th. Olivier (1833).



Figure 4 - Balance pour la mesure de la densité des liquides. G. Westphal, Celle, 1881. Collection UNIL/EPFL, Inv. 603.0917.



Figure 5 - Erhard Mettler. Wikimedia © Mettler Toledo Inc., CC BY-SA 3.0.

1947 : premières balances de substitution Mettler

En 1945, Erhard Mettler (figure 5) prend la décision de construire des balances, mais il ne sait pas encore de quel type [17]. Il loue un atelier à Küsnacht, tout près de Zurich, et engage son premier collaborateur, le mécanicien-construc-teur Hans Meier (1914-2004). Ils échangent leurs idées, et s'accordent sur un projet de balances de substitution, faciles d'emploi, permettant des pesées rapides sans avoir à ouvrir le boîtier. Fin 1946, le première balance est prête : le modèle 200A4N (capacité 200 g, sensibilité 0,1 mg), auquel succède en 1950 le modèle B5 (figure 6), extérieurement presque identique, mais se prêtant mieux à une fabrication en série, et avec un fléau asymétrique comme dès lors dans toutes les balances analytiques de Mettler.

La figure 7 montre schématiquement une coupe de la balance type A. L'amortisseur à air est combiné avec le contrepoids. La principale innovation, inspirée par l'industrie horlogère, est l'utilisation de deux paliers en saphir synthétique, beaucoup plus dur (Mohs 9) et plus résistant aux chocs que l'agate, très fragile. Elle répond à un problème que posent toutes les balances de substitution : le fléau supporte constamment la charge maximum. Le système de lecture optique par projection (4 ou 5 décimales selon les modèles) est un reflet de l'expérience acquise par Mettler chez Wild Heerbrugg.

La fabrication en série est lancée, mais les ventes peinent à démarrer et les stocks s'accumulent : les responsables des achats des grandes entreprises de la chimie bâloise, principal client potentiel, préfèrent acheter auprès de constructeurs connus. Ils sont aussi rebutés par l'aspect non-conventionnel de la balance, avec son boîtier métallique tourné de 90 degrés. Mettler va donc en personne présenter sa balance aux chefs, chimistes eux-mêmes, de petites entreprises, et leur laisse la balance à l'essai pour deux semaines. Succès ! Il obtient d'excellentes références qu'il peut utiliser dans sa publicité. Si 34 balances seulement sont vendues en 1947, l'année suivante ce nombre grimpe déjà à 200.

Un réseau de vente et de service international se développe rapidement : Pays-Bas (1948), USA (1949-1950), où les balances sont d'abord vendues par Fisher-Scientific Co.



Figure 6 - Balance Mettler B5, dans son boîtier métallique vitré. 4 boutons rotatifs actionnent le jeu de poids interne : 0-100 g, puis 3 décades 0-90 g, 0-10 g et 0-1 g. Lecture optique des décimales suivantes. Collection UNIL/EPFL, Inv. 603.0740.

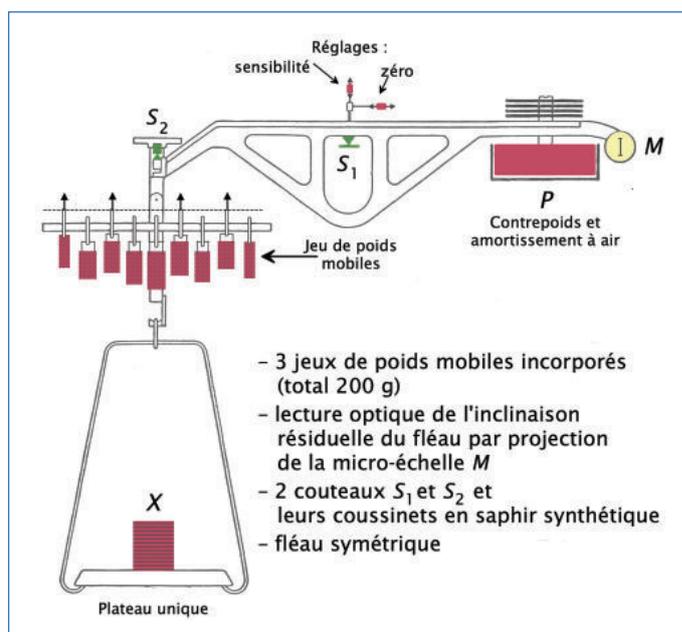


Figure 7 - La balance 200 A4N de 1946 vue en coupe. © Mettler (env. 1950).

et Eimer & Amend sous le nom de *Gram-Atic*, Allemagne, France (Sofranie), etc. La présence aux USA est renforcée par la fondation de Mettler-Instrument Corp. (MICO) à Hightstown, NJ, en 1954. Au milieu des années 1950, il y a déjà plus de 50 représentations dans le monde, et il est possible d'acheter des balances Mettler dans environ 75 pays.

La gamme B est étendue par l'introduction d'une balance « semi-micro » B6 (100 g, sensibilité 10 µg), de balances de capacité atteignant 8 kg, et complétée par une série E5 plus économique « pour l'exportation ».

La première balance de micro-analyse M5, d'une capacité de 20 g avec une sensibilité de 1 µg, est proposée dès 1949. Une double enceinte y protège la chambre de pesée des influences extérieures. C'est un produit de niche qui doit être utilisé dans un laboratoire à température constante, à l'abri des vibrations et des courants d'air, etc.

Manquant de place, la firme Mettler déménage et s'installe en 1952 à Stäfa, au bord du lac de Zurich, dans une usine flambant neuve.

Dès 1954, la série K, conçue et fabriquée sous la direction de Hans Meier, comme la série B, répond au besoin de balances moins précises, mais d'un usage plus aisé. Ces balances à plateau supérieur couvrent le gamme de 100 g à plusieurs kg. Un seul bouton rotatif suffit pour actionner l'unique décade de poids. Les balances de la série P, de principe et d'aspect semblable, leur succèdent dès 1963. Le modèle P162 (figure 8) a été fabriqué jusqu'en 1980.

En 1962, 90% des Mettler vendues font partie des gammes B et K, à parts à peu près égales.

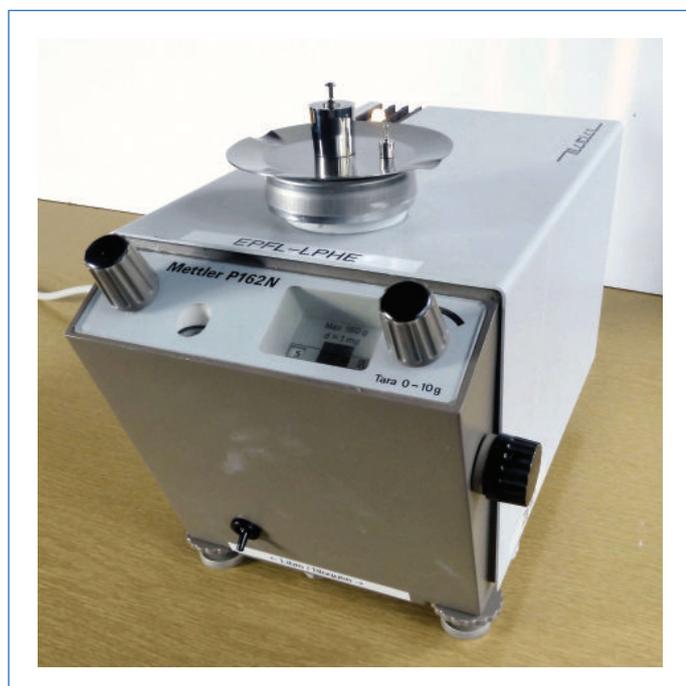


Figure 8 - Balance Mettler P162N. Capacité 160 g. Collection UNIL/EPFL, Inv. 603.1039.

1957-1967 : balances des séries H

1957 est une année importante : Mettler acquiert la firme Spoerhase de Giessen (RFA), Meier invente les jeux de poids en anneaux, rapidement brevetés, et c'est le début des balances de la série H.

Cette année-là, Friedrich Holler (*1891), propriétaire de l'ancienne fabrique de balances Spoerhase, sans héritier, décide de vendre son entreprise à la jeune firme Mettler, en pleine expansion. Mettler y gagne un accès direct au marché de la Communauté Européenne, dont la Suisse ne faisait pas et ne fait toujours pas partie. De son côté, Spoerhase avait aussi construit une balance de substitution, et, d'après Jenemann [18], les premières balances de la série H [19], « à usages multiples », en boîtier plastique (figure 11, gauche) sont fabriquées à Giessen. Elles sont présentées comme « économiques » [20]. Comme désormais toutes les futures balances des séries H, elles utilisent un jeu de poids en anneaux concentriques (figure 9), qui a l'avantage de préserver



Figure 9 - Jeu de poids en anneaux d'une balance H54AR. En bas, 4 poids de 10 g, 20 g, 40 g et 80 g. En haut, 5 poids de 1 g, 2 g, 3 g, 6 g et 10 g. Collection UNIL/EPFL, Inv. 603.1037.

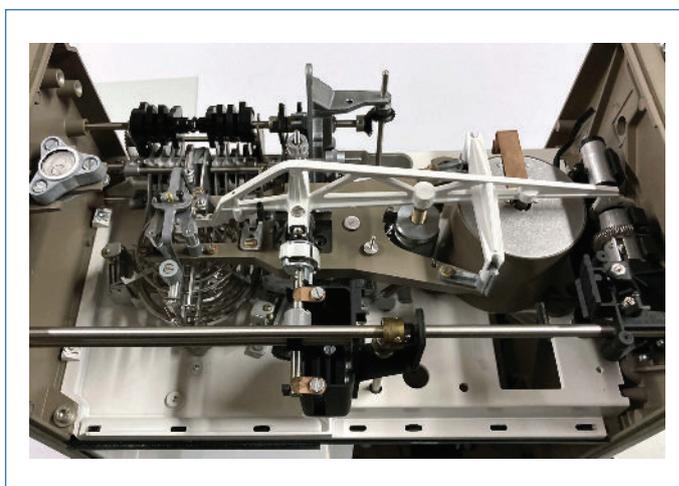


Figure 10 - Intérieur d'une balance H33 (bloquée pour le transport). Collection UNIL/EPFL, Inv. 603.1036.

la symétrie de la balance lors d'un changement de poids [21]. Ce jeu de poids limite le domaine de pesée à 160 g, ce qui ne décourage pas les acheteurs.

En 1959, en prenant une participation majoritaire dans la firme Dr. Rüst AG, Mettler internalise la production des micro-échettes destinées à la lecture optique par projection du déséquilibre résiduel du fléau.

La figure 10 montre une vue intérieure d'une balance équipée d'un tel jeu de poids.

Une autre série H, avec un boîtier métallique ressemblant à celui des balances A et B, est ensuite introduite (figure 11, milieu) [22].

Les balances S5 et S6 – des curiosités rares

Présentées en 1961, d'un extérieur séduisant et d'une construction intérieure particulièrement soignée (figure 12), les balances S5 (160 g) et S6 (80 g) devaient être des « Super » balances. Elles utilisent les poids en anneaux de la série H. Une innovation remarquable est l'affichage entièrement numérique, comme un peu plus tard celui de la H6 digCap. Il s'avéra que des problèmes de charges électrostatiques, attribués à l'usage inconsidéré de matières plastiques, ainsi que



Figure 11 - Exemples de balances des trois séries H : à gauche, H6 digCap (Collection UNIL/EPFL, Inv. 603.1038) ; au milieu, H10 (Inv. 603.1035) ; à droite, H54AR (Inv. 603.1037).

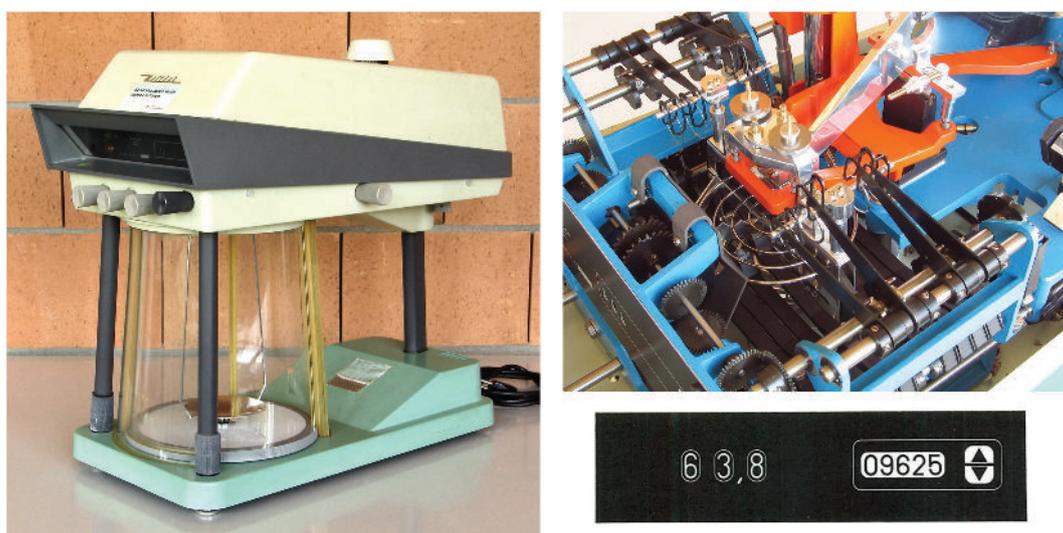


Figure 12 - Balance « semi-micro » S6 (capacité 80 g, sensibilité 5 µg), et aperçu de l'intérieur. L'affichage montre une combinaison de poids de 63,8 g actionnés par les 3 boutons rotatifs et une projection optique d'un déséquilibre de 09625 microgrammes. Collection UNIL/EPFL, Inv. 603.0422.

des courants d'air dus à la convection, perturbaient les mesures. Ces défauts auraient pu être corrigés. Mais avec les boutons de commande en haut, contrairement aux balances de la concurrence, elles sont déjà démodées, et disparaissent vite du programme de fabrication.

1967-1980 : Expansion, transition vers l'électronique

1967 est une autre année de transition. La firme compte à cette époque environ 1000 employés, dont 700 en Suisse. Manquant de place à Stäfa et dans les autres sites de production, le siège principal de Mettler est transféré à Greifensee, non loin de Zurich. L'administration, la recherche et le développement y sont centralisés. A Noël, coup de tonnerre ! Mettler se sépare de Hans Meier, après plus de 20 ans de collaboration, pour des raisons restées obscures [23].

La concurrence n'avait d'abord pas pris la jeune firme Mettler au sérieux, puis elle avait essayé de dénigrer les balances de substitution, provoquant une réponse circonstanciée de Mettler [24]. Constatant leur succès persistant, elle a donc aussi commencé à fabriquer des balances de substitution. Le principe était connu depuis si longtemps qu'aucun brevet ne les protégeait. Les balances de la concurrence ont un avantage sur celles de Mettler : boutons de commande et affichage dans le socle, d'où une utilisation à longueur de journée moins fatigante. Pas besoin de lever les bras ! Mettler doit finalement s'adapter à la demande du marché. Introduite en 1967, la dernière série de balances H possède aussi des boutons de réglage rotatifs et l'affichage dans le socle de la balance [25]. Le dernier modèle, la H54AR (figure 11, droite), est offert jusqu'en 1982. Une brochure de Mettler, en plus de donner les caractéristiques des deux séries de

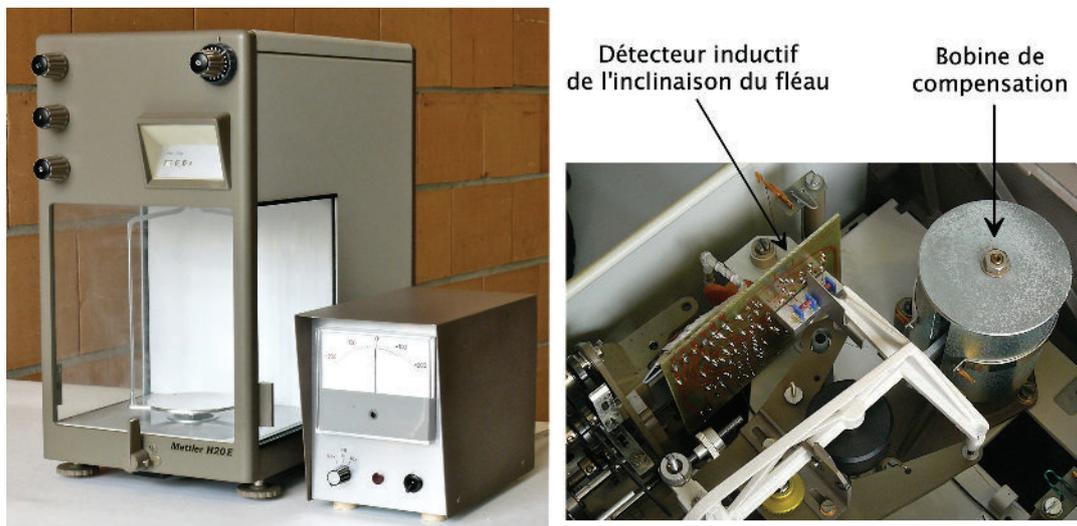


Figure 13 - Balance (partiellement) électronique H20E, avec 3 gammes de lecture du déséquilibre du fléau : ± 20 mg (précision $\pm 0,02$ mg), ± 200 mg ($\pm 0,1$ mg), ± 2 g (± 1 mg). Des trous dans le socle de la balance et dans la table permettent de suspendre la masse à peser au-dessous de la balance, par exemple pour faire des mesures de densité par la poussée d'Archimède. Collection UNIL/EPFL, Inv. 603.0916.

balances H en boîtier métallique, détaille toutes les instructions nécessaires au service [26].

L'expansion se poursuit par la reprise en 1970 de la petite fabrique suisse de balances Microwa, fondée en 1945, et liquidée en 1973. En 1971, c'est un important concurrent allemand (500 employés) qui est absorbé : la firme Sauter KG à Albstadt (RFA), fondée en 1856.

Il devenait clair que l'électronique allait jouer un rôle important dans les méthodes de pesée. Un laboratoire de recherche sur les balances électrodynamiques, dites électroniques, avait donc été ouvert en 1963. Une première balance sort en 1969 : la H20E (figure 13), modification de la H20 standard. Avec une électronique encore entièrement analogique (transistors et diodes), elle permet de mesurer et d'enregistrer des variations de poids en fonction du temps.

Mais Mettler était en train de se faire rattraper par la concurrence, notamment celle de Sartorius (Göttingen, RFA). Finalement, en 1973, Mettler sort le modèle PT1200 à plateau supérieur, sa première balance entièrement automatique, à compensation de force électromagnétique [27]. C'est un gros succès ! Peu à peu toute une gamme de balances d'analyse électroniques, entièrement automatiques, est développée et se substitue aux balances de substitution mécaniques.

1980 : le Dr Mettler vend son entreprise – le succès continue

Un doctorat honoris causa a été octroyé en 1968 par l'ETHZ à Erhard Mettler, en récompense de ses mérites comme ingénieur et entrepreneur, honneur plutôt rare pour quelqu'un qui n'avait pas de diplôme universitaire.

En 1980, la société Mettler SA emploie environ 2200 employés dans le monde, dont 1100 en Suisse, avec un chiffre d'affaires de 240 millions de francs. Voyant venir l'âge de la retraite, et désireux d'assurer l'avenir de l'entreprise dont il est le seul propriétaire, le Dr Erhard Mettler, alors âgé de 63 ans, engage des pourparlers avec une importante société chimique de Bâle, Ciba-Geigy (devenue Novartis en 1996). Le 29 août 1980, Mettler lui vend tout son paquet d'actions, par un contrat

tenant sur une seule page, pour un montant resté confidentiel. Il reste au conseil d'administration jusqu'en 1985.

Désireux récompenser la fidélité de son personnel, il distribue 20 millions de francs à ses employés en Suisse.

L'expansion de la société Mettler continue. Entre 1989 et 1991, elle fusionne avec la société américaine Toledo Scale Corp., important producteur de balances pour le commerce et l'industrie, donnant naissance à Mettler-Toledo SA, puis fait l'acquisition de Ohaus Corp.. Le siège reste à Greifensee.

Les balances occupent toujours une place importante dans la gamme de produits [28], déjà élargie dès 1965 par la production d'autres instruments pour la chimie. En 2020, Mettler-Toledo employait 16 500 personnes dans le monde et son chiffre d'affaires était de 2,8 milliards de dollars.

[1] E. Fueter, *Erhard Mettler, Gewagt – Gewogen – Gewonnen, Schweizer Pioniere der Wirtschaft und Technik, Zürich, 2015, Bd. 103.*

[2] H. R. Jenemann, E. Robens, *A Brief History of the Balance in Society, J. Therm. Anal. Calorim., 1999, 55, p. 339-346.*

[3] P. Bunge, *Neue Construction der Wage, Repertorium für Physikalische Technik, für Mathematische und Astronomische Instrumentenkunde, 1867, 3, p. 269-271 et p. 382-384; 1870, 6, p. 391-395.*

[4] H. Jenemann, *Paul Bunge and the Introduction of the Short-Beam Analytical Balance, Bulletin of the Scientific Instrument Society, 1985, 6, p. 8.*

[5] Toutes les balances photographiées font partie de la collection d'instruments scientifiques UNIL/EPFL : <https://www.epfl.ch/campus/art-culture/museum-exhibitions/fr/collection-dinstruments-scientifiques/>. Photos de l'auteur, reproduction autorisée.

[6] L'échelle de Mohs fut inventée en 1812 par le minéralogiste allemand Friedrich Mohs afin de mesurer la dureté des minéraux. Elle est basée sur dix minéraux facilement disponibles, classés du plus tendre, le talc (Mohs 1) au plus dur, le diamant (Mohs 10), en passant par le quartz (Mohs 7) qui raye l'agate (Mohs 6,5).

[7] H. Jenemann, *Die Waage des Chemikers/The Chemist's Balance, DEHEMA, 1997.*

[8] A. Lavoisier, *Second mémoire sur la nature de l'eau, Mémoires de l'Académie Royale, Paris, 1773, p. 90 (voir p. 101).*

[9] H. Jeneman, *Zur Geschichte der Entstehung der Substitutionswägung zur genauen Massenbestimmung (Borda'sche Wägung), Fresenius Z. Anal. Chem., 1978, 291, p. 1-9.*

[10] J.-B. Biot, *Traité de physique expérimentale et mathématique, Paris, 1816, T. 1 (voir Chap. I : De la Balance, et de la manière de s'en servir).*

[11] L. Biétry, *Lexique du pesage, Mettler Instrumente AG, 1984.*

[12] Th. Olivier, *Rapport sur la balance de substitution de M. Bockholtz, Bulletin de la Société d'Encouragement, 1833, 32, p. 148-150, 334-338 et pl. 563.*

[13] Th. Allgeier, The Bochkoltz Substitution Balance, or: Was Mettler First? *Equilibrium, Quarterly magazine of the International Society of Antique Scale Collectors (ISASC)*, **2016**, 2, p. 4261-4267.

[14] F. Khantine-Langlois, 120 ans avant celle de Mettler, la balance de Bochkoltz, *L'Act. Chim.*, **2018**, 429, p. 50-52.

[15] H. Jenemann, Zur Geschichte der Substitutionswägung und der Substitutionswaage, *Technikgeschichte*, **1982**, 49(2), p. 89-131.

[16] G. Westphal, Ueber Wagen zur Bestimmung des spezifischen Gewicht von Flüssigkeiten, *Zeitschrift für Analytische Chemie*, **1870**, 9. Jahrgang, p. 233-236 und Taf. 3.

[17] H. Jenemann, *Die frühe Geschichte der Mettler-Waage*, Scripta Mercaturae Verlag, **1992**.

[18] H. Jenemann, Zur Geschichte der Präzisionsmechanik und der Herstellung feiner Waagen in Giessen – Die Firma Spoorhase (§ 8 zu 12), *Nach einem Vortrag*, Giessen, 13. März **1981**.

[19] Première série H, arrêtée en janvier 1967 : balances H3, H4, H5, H6, H6 digCap, H15, H16.

[20] Mettler-News 1 - 22, April **1959** - Oktober **1961**.

[21] Brevet CH349808, à Johann Meier, **1957/1960**.

[22] Deuxième série H, dont un modèle reste au catalogue jusqu'en janvier 1977 : H7, H8, H9, H10 et variantes, H11, H14, H18, H20 et variantes, H21, H800C, H1000. Les deux balances H10T et H20T se distinguent par la lecture et les boutons placés dans le socle. La balance HE20 est la première balance électronique de Mettler. La H800C, arrêtée en 1981 seulement, est destinée aux joailliers, avec une échelle de 800 carats métriques (160 g).

[23] Voir Jenemann (1992), p. 65-78.

[24] L. Biétry, Warum Substitutionswägung? *Chimia*, **1957**, 11, p. 92-96.

[25] Troisième et dernière série H, de 1967 à janvier 1982 : H30 à H35, H 43, H45, H51, H54, H72, H78, H311, H315, H542.

[26] Mettler Service, Manual H Analysen Waagen, **s.d.**, ME-700 956.

[27] Strictement, ces balances dites électroniques sont des *dynamomètres*, qui mesurent la force F exercée sur la masse inconnue m par l'accélération g de la pesanteur terrestre : $F = m \cdot g$. La latitude et l'altitude sont les principaux facteurs affectant la valeur locale de g . Une masse de 1 kg paraîtra plus légère d'environ 5 g à Quito (presque sur l'Équateur, à une altitude de 2850 m) qu'à Reykjavik (près du Cercle arctique et au niveau de la mer). Un étalonnage avec un poids connu est donc nécessaire lors de l'installation.

[28] P. Aerni, B. Nufer, 0,0000001 Gramm : Mettler-Toledo – von Balkenwaagen zu hochauflösenden elektronischen Waagen, *Ingenieure bauen die Schweiz - Technikgeschichte aus erster Hand*, Verlag Neuer Zürcher Zeitung, **2014**, Bd. 2, p. 258-266.

Jean-François LOUDE*,
Dr ès Sc. techniques EPFL, professeur honoraire de l'Université de Lausanne (UNIL), a participé à plusieurs expériences de physique nucléaire et corpusculaire. Depuis sa retraite, il inventorie et documente les anciens instruments de physique de l'UNIL.

* jean-francois.loude@epfl.ch



L'Union des professeurs de physique et de chimie

Vous présente

son nouveau site : <http://www.udppc.asso.fr>



L'association	Actualités et Ressources
L'UdPPC ?, Nos positions, Tarifs,	De la maternelle au supérieur,
Charte graphique, Olympiades,	Au collège, Au lycée, Au labo
Partenaires, Nous soutenons, Enquêtes	Annales
Publications	Baccalauréats, Concours général, DNB
Le Bup, Nous avons lu,	Divers
L'arpenteur du web, Appel aux auteurs,	Agenda, BupDoc, Concours, Congrès,
Parus au BO, Autres publications, Publotaires	Réseaux sociaux, Sites académiques

mais l'UdPPC, c'est aussi...

...la publication numérique mensuelle avec impression papier trimestrielle



...la consultation du Bup en ligne par articles et par numéro avec BupDoc

Du 1^{er} janvier au 31 décembre 2024 :

- ◆ Pour tous : 1907 → 2019
- ◆ Pour les abonnés : 2020 → 2024



...un congrès organisé chaque année par une académie différente



Siège social et courrier : 42 rue Saint-Jacques - 75005 PARIS
Tél. : 01 40 46 83 80 - secretariat.national@udppc.asso.fr

