

RAPPORT D'ETUDE ET D'INTERVENTION BALANCE HYDROSTATIQUE À CREMAILLÈRE (AVANT 1814)



Avant



Après

De numéro d'inventaire : 01479-0000

Responsable de spécialité : **Marie-Anne Loeper-Attia**

Intervenant : **Bluenn Boulangé**

Elève restaurateur : **Julie Petit**

Date : 23.02.2026 – 27.02.2026

SOMMAIRE

I.	Identification	3
1.	Fiche d'identification	3
2.	Photographies avant intervention.....	4
3.	Etude historique & technique.....	11
II.	Examen de l'objet.....	13
1.	Constat d'Etat.....	13
2.	Description des altérations	14
3.	Stratigraphies	15
4.	Diagnostic – Pronostic	16
III.	Interventions sur l'objet.....	19
1.	Objectifs d'interventions.....	19
2.	Proposition de traitement	19
3.	Interventions	20
4.	Vers un traitement plus poussé	23
5.	Photographies après intervention	25
IV.	Préconisations	32
	Bibliographie	33

I. IDENTIFICATION**1. FICHE D'IDENTIFICATION**

Dénomination :	Balance hydrostatique à crémaillère
Numéro d'inventaire :	01479-0000-
Numéro d'inventaire INP :	Inp 2026-008
Lieu de conservation :	Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM)
Date d'acquisition :	1814 (achat)
Datation :	Avant 1814
Matériau(x) :	alliage cuivreux / alliage ferreux / plomb / corne
Anciennes appartenances :	Cabinet de Jacques A. C. Charles (1746 – 1823) Physicien, inventeur et chimiste français ; professeur de physique expérimentale au Conservatoire des arts et métiers
Fonction de l'objet :	Instrument de mesure de densité
Valeurs culturelles associées :	Technique : conception d'un instrument scientifique Pédagogique : fonctionnement de l'instrument Recherche : comparaison avec d'autres instruments de la même typologie

2. PHOTOGRAPHIES AVANT INTERVENTION



Figure 1 : balance, vue de devant



Figure 2 : balance, vue du côté gauche



Figure 3 : balance, vue de derrière



Figure 4 : balance, vue du côté de droite



Figure 5 : balance, vue de dessous



Figure 6 : balance, vue de dessus



Figure 7 : plateau (1), vue de devant



Figure 8 : plateau (1), vue de derrière



Figure 9 : plateau (1), vue de dessous



Figure 10 : plateau (1), vue de dessus

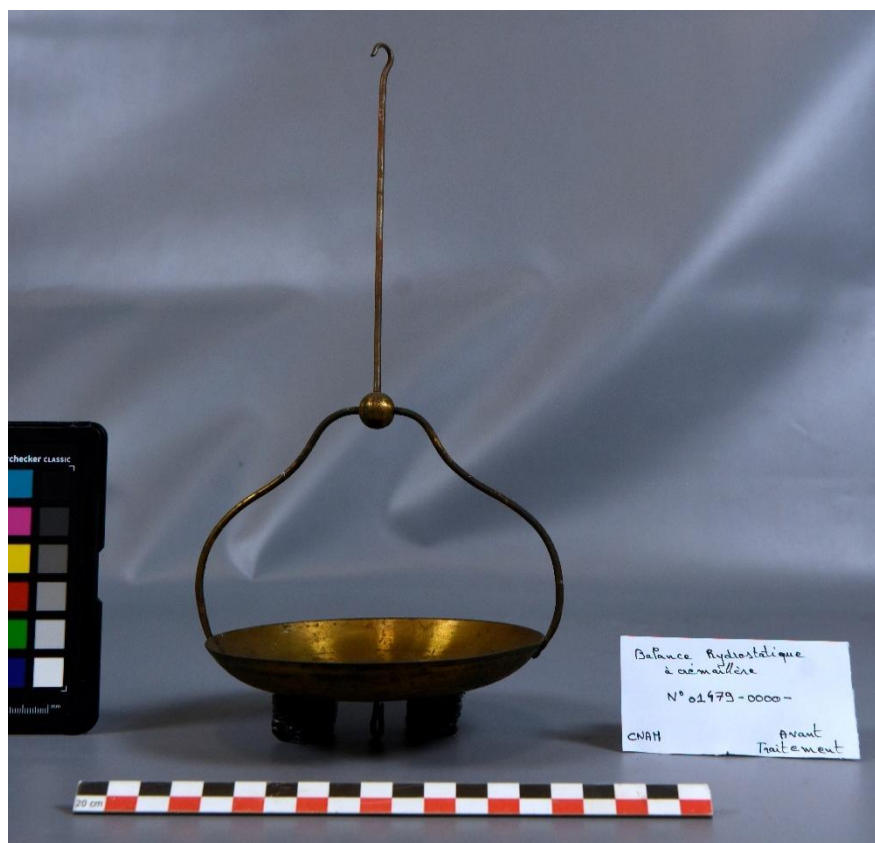


Figure 11 : plateau à crochet (2), vue de devant



Figure 12 : plateau à crochet (2), vue de derrière



Figure 13 : plateau à crochet (2), vue de dessous



Figure 14 : plateau à crochet (2), vue de dessus

3. ETUDE HISTORIQUE & TECHNIQUE

Balance → du latin *bi lanx* (« deux plateaux »). Instrument de mesure avec deux plateaux, l'un portant les poids et l'autre l'objet que l'on souhaite peser, suspendus à un fléau pour conserver l'équilibre du système.

Hydrostatique → du grec *ύδωρ* (« eau ») et *στατικός* (« équilibre des corps »). Science qui traite des conditions d'équilibre dans la mécanique des fluides.

La balance hydrostatique trouve son origine dans un traité, *La Bilancetta*, écrit par Galilée (1564 – 1642) en 1586. Ce dernier, l'un de ses premiers essais scientifiques, permet de démontrer le principe d'Archimède selon lequel « *tout corps plongé dans un liquide reçoit une poussée verticale, dirigée de bas en haut, égale au poids du volume de fluide déplacé* », et de s'en servir pour déterminer la densité d'un solide ou d'un liquide, non-soluble dans l'eau, notamment des métaux et des pierres précieuses. En effet, Galilée pose ses réflexions et ses expérimentations sur la légende de la pesée de la couronne d'or du roi Hiéron par Archimède (287 – 212 av. J.C.).

En suivant le principe d'Archimède, tout en se reposant sur les lois physiques de la Nature, Galilée conçoit une balance à colonne composée d'un fléau avec deux plateaux pour reproduire la technique employée par Archimède pour confondre le voleur de la couronne. C'est un instrument scientifique de mesures physiques de poids et de volumes, dans l'air et dans l'eau, qui est construit selon des dimensions rigoureuses, où la longueur du fléau détermine la précision de ses données.

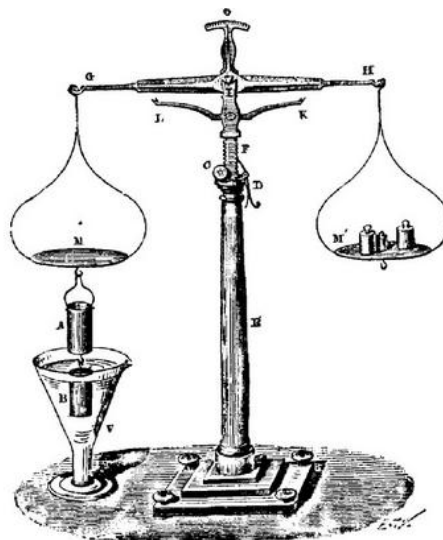


Fig. 52. — Démonstration du principe d'Archimède.

Figure 15 : illustration représentant le fonctionnement de la balance hydrostatique
 ©Leçon de physique à l'usage des demoiselles, Paul Poiré, 1896

La détermination de la densité d'un corps fonctionne par l'emploi d'un double cylindre, un creux et un plein, accroché au-dessous du plateau portant le solide/liquide à peser. À savoir que la capacité du cylindre creux est égale au volume du cylindre plein. Cette partie sera complètement immergée dans l'eau, mettant en évidence la poussée d'Archimède qui rompt l'équilibre de la balance. Sur l'autre plateau, dans l'air, se trouve la tare, constituant le contrepoids.

La densité du corps plongé est alors déterminée en comparant le poids de ce corps au poids d'un volume égal d'eau. Dans ce procédé, il faut noter que les solides pèsent moins dans l'eau que dans l'air ; en relation avec la gravité.

Dans sa conception, la balance hydrostatique dispose d'une crémaillère permettant d'abaisser ou d'élever facilement les plateaux et ainsi pouvoir régler leur hauteur pour que les corps à peser ou les cylindres soient complètement immergés dans l'eau. Cela permet d'accroître la précision de la balance et de répartir les poids sur l'instrument. De plus, le fléau repose sur le couteau, qui est généralement en acier, pour soutenir le poids de l'ensemble.

Un pied à vis calantes permet de mettre cette balance à niveau pour une plus grande précision des mesures.

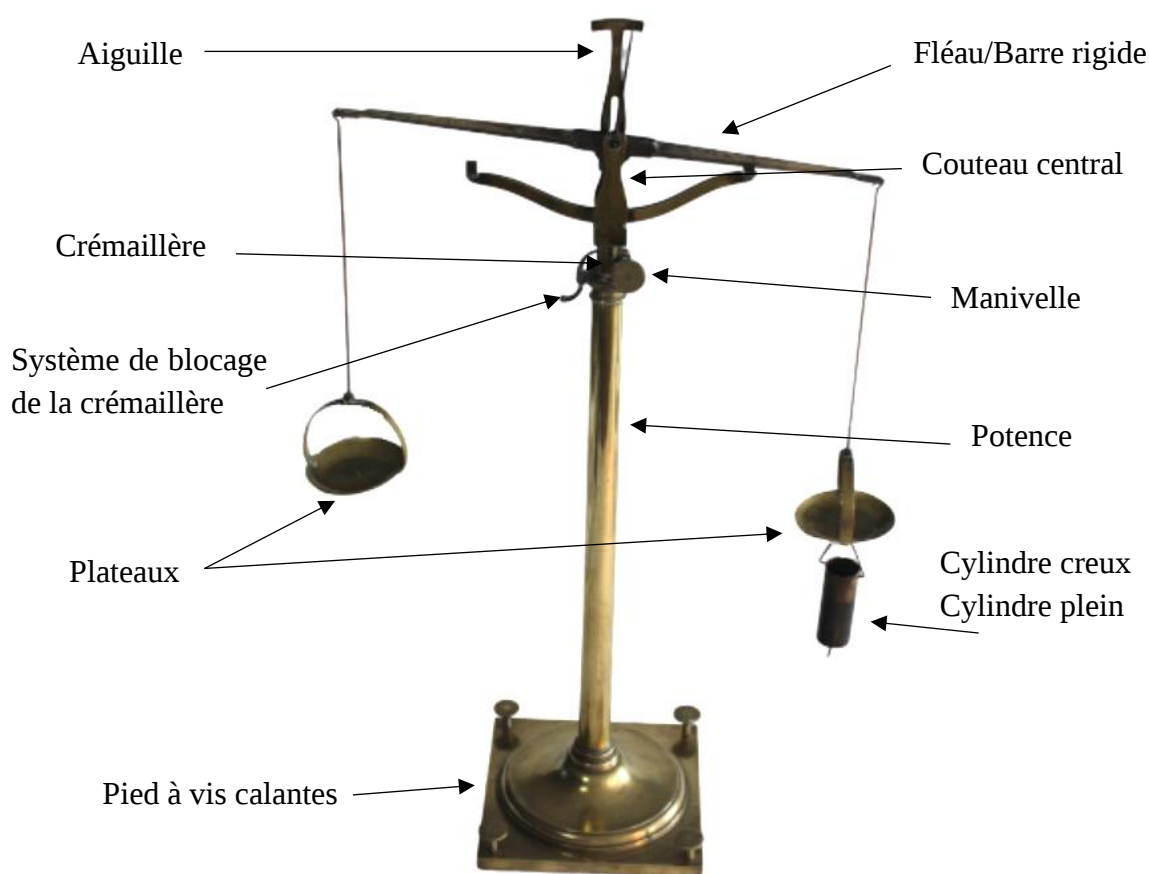


Figure 16 : vocabulaire de la balance hydrostatique

L'instrument, conçu comme un outil physique et pédagogique de démonstration par Galilée, sera par la suite utilisé pour calculer spécifiquement la densité des métaux, des alliages, et des pierres précieuses. En effet, la densité d'un minéral est une constante physique qui est caractéristique d'un minéral donné. Ainsi, la balance hydrostatique peut être employée en joaillerie pour certifier les parts dans un alliage ou de la nature d'une gemme.

Il faudra cependant attendre plusieurs siècles pour que la contribution de Galilée dans l'identification des pierres précieuses, en se basant sur leur poids spécifique, ne soit reconnu en gemmologie.

II. EXAMEN DE L'OBJET

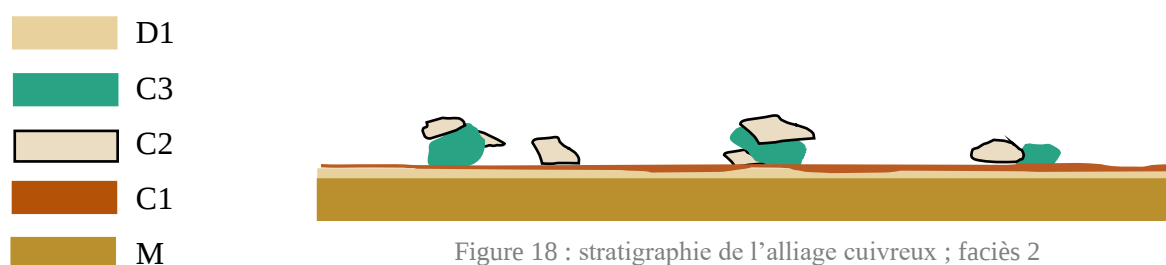
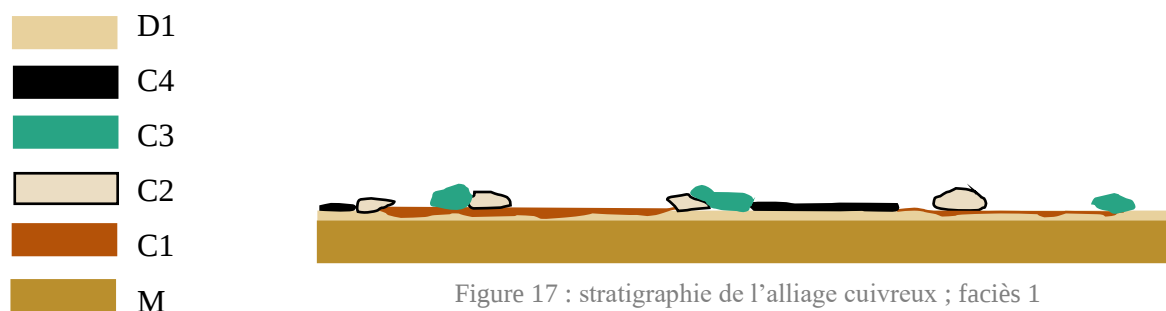
1. CONSTAT D'ETAT

Matériau(x) :	alliage cuivreux : majorité des éléments alliage ferreux : tige des plateaux, élément bloquant la crémaillère plomb : disque de lestage, sous le pied
Dimensions (l x L x H en mm) :	système central : 310 x 180 x 750 plateau (1) : Ø140 x 150 x 280 plateau à crochet (2) : Ø140 x 150 x 300
Poids (en g) :	système central : 6 700 plateau (1) : 165,1 plateau à crochet (2) : 163,9
Forme :	en forme de T
Nombre d'éléments/parties :	3 éléments (système central + 2 plateaux)
Techniques de fabrication :	tournage / repercé / soudure & brasure
Techniques d'assemblage :	visserie / rivetage / emboitage / crémaillère
Techniques de décors :	/
Inscriptions/marques/poinçons	partie avant du pied du système central, marquage : « 1479 », à l'encre ou à la peinture brune graduation sur la partie supérieure du système central
Traces de fabrication/utilisation	jonction entre les différents cylindres sur la potence du système central / rivets / ligne de brasure sur la potence / stries d'usinage (tournage)
Ancienne(s) restauration(s) :	application d'une cire et d'une gomme laque sur l'ensemble de la surface comme protection

2. DESCRIPTION DES ALTERATIONS

Présence de corrosion réactivée :	non
Modifications induites par la corrosion :	alliage cuivreux : matité de la surface et produits de corrosion verdâtres et blanchâtres en relief, suivant les traces de tournage alliage ferreux : teinte brunâtre sur la surface et produits de corrosion orangés plomb : aspect de surface blanchâtre, rayé, mais stable
Type de corrosion :	corrosion uniforme assez généralisée par concrétions produits de corrosion développés sous la surface d'origine
Types d'altérations :	phénomène de corrosion naturel du métal accentué par des facteurs intrinsèques et des facteurs environnementaux de l'objet plateau (1) légèrement déformé sur son pourtour tige du plateau à crochet (2) légèrement tordue/désaxé léger enfoncement sur la potence
Matériaux organiques ou traces de leur présence :	manivelle de la crémaillère en corne fluorescence sous UV 
Altérations des autres matériaux :	fissures dans la longueur

3. STRATIGRAPHIES



La surface d'origine se situe sous D1.

	Couleur	Composition chimique	Cohésion	Dureté	Adhérence sur couche inférieure
D1	beige translucide	cire ancienne/gomme laque	tenace	/	très adhérent
C4	noirâtre	produit de corrosion	tenace	dur	très adhérent
C3	vert-bleu	produit de corrosion	friable	tendre	peu adhérent
C2	blanchâtre	produit de corrosion	pulvérulent	tendre	peu adhérent
C1	orangeâtre	produit de corrosion	tenace	dur	adhérent
M	dorée	métal	/	très dur	/

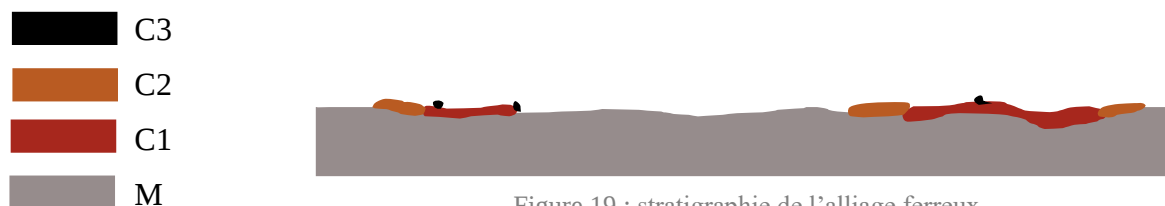


Figure 19 : stratigraphie de l'alliage ferreux

La surface d'origine se situe au niveau de C2.

	Couleur	Composition chimique	Cohésion	Dureté	Adhérence sur couche inférieure
C3	noirâtre	produit de corrosion	friable	tendre	peu adhérent
C2	orangeâtre	produit de corrosion	tenace	dur	adhérent
C1	rougeâtre	produit de corrosion	tenace	dur	très adhérent
M	gris foncé	métal	/	très dur	/

4. DIAGNOSTIC – PRONOSTIC

La balance hydrostatique est dans un état stable. Elle est compréhensible et assez lisible. Cependant, l'état de conservation actuel de l'objet ne permet pas sa pleine compréhension et la possibilité de sa présentation au public.

Elle présente un encrassement et un empoussièrement important et généralisé. Ces éléments peuvent impliquer de possibles agents de détérioration pouvant interagir avec le métal.

De plus, des produits de corrosion verdâtres et blanchâtres du cuivre se sont formés en épaisseur, de manière éparse et uniforme sur l'ensemble de l'alliage cuivreux de l'instrument, donnant une hétérogénéité à la surface métallique. Ces altérations, causées par un processus naturel d'oxydation du métal, ne sont pas stables et pourraient continuer de se développer.



Figure 20 : vue sous binoculaire des produits de corrosion

Ces produits de corrosion, peu adhérents à la surface d'origine, présentent un aspect cireux/gras, laissant penser à des savons métalliques. Des tests de nettoyage ont montré que leur développement avait déjà légèrement rongé le métal sous la surface d'origine. De ce fait, les produits de corrosion épais peuvent être retirés, mais une fine couche brunâtre sous-jacente restera en surface. Hormis les produits de corrosion, la surface métallique montre un aspect mat et terne de sa surface.

Pour l'alliage ferreux, la surface est légèrement corrodée de manière éparse avec des produits de corrosion orangeâtre en couche mince.

On note également la présence du numéro d'inventaire, écrit en grand sur la partie supérieure du pied, perturbant la lecture. Ainsi que les résidus encrassés de l'adhésif d'une ancienne étiquette à la droite du marquage.

Par une analyse avec une lampe UV, on remarque la fluorescence de la manivelle de la crémaillère, indiquant qu'il s'agit d'une matière organique, mais également de légères coulures sur la partie supérieure du système central qui pourraient correspondre à une ancienne cire appliquée comme protection sur la surface métallique et qui aurait vieilli.

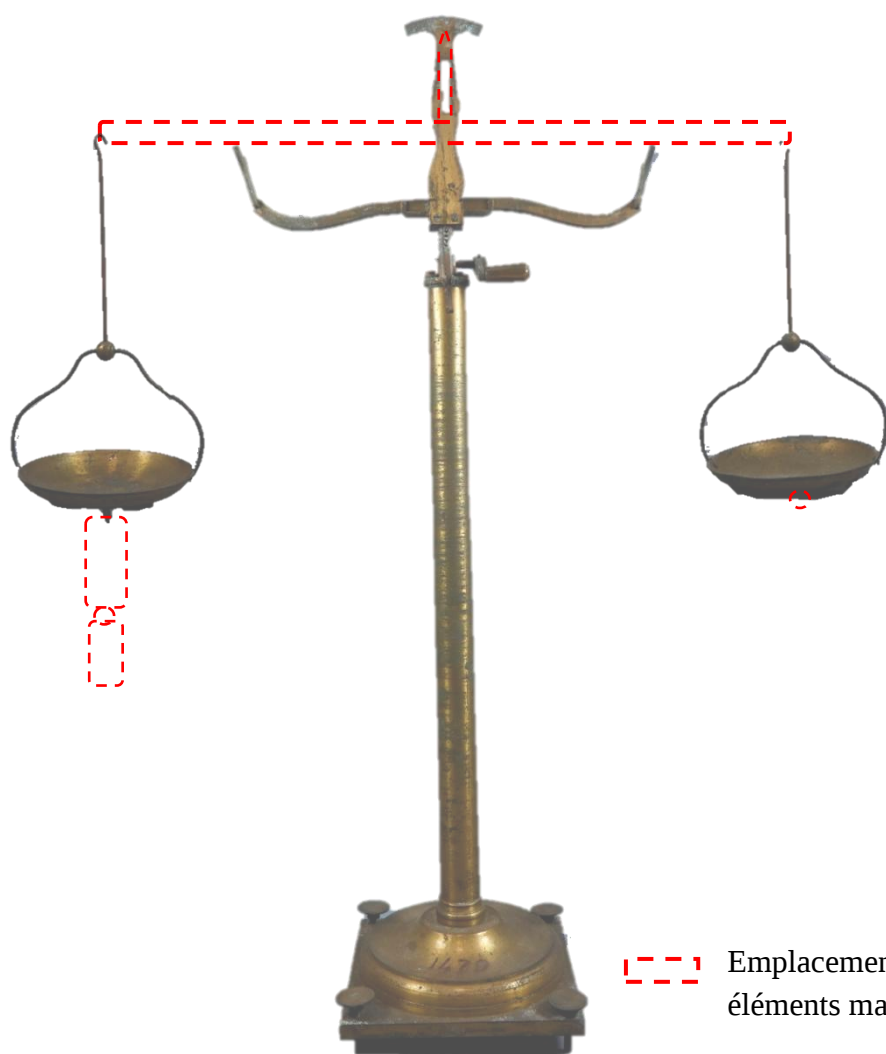
Dans l'étude de son analyse mécanique, la balance présente de légères déformations qui n'implique pas de problèmes structurels. À noter, toutefois, que l'un des systèmes d'accroche du plateau (1) a été remplacé par un filin métallique représentant un point de fragilité.



Figure 11 : détail du système d'accroche défaillant

Enfin, c'est un instrument lacunaire. En consultant la littérature, nous pouvons avancer que la balance hydrostatique ne dispose pas des éléments suivant, nécessaire à son usage et à la compréhension de son fonctionnement :

- **Cylindre creux** et **cylindre plein** pour mettre en fonction le principe d'Archimède
- **Fléau** pour actionner les plateaux
- **Aiguille** pour donner les valeurs
- **Crochet** inférieur du plateau (1) pour suspendre un corps/poids



Emplacement des éléments manquants

Figure 22 : schéma des éléments manquants de la balance hydrostatique

Dans une vision plus globale de l'instrument scientifique, on peut constater que la balance hydrostatique se compose de trois éléments distincts : le système central et deux plateaux. Cette séparation et l'impossibilité d'un remontage unique, constituent un risque potentiel de perte ou d'éparpillement des différentes parties lors de manipulations ou d'un stockage.

III. INTERVENTIONS SUR L'OBJET

1. OBJECTIFS D'INTERVENTIONS

Le module « Instruments scientifique », encadré par Bluenn Boulangé, se déroulait pendant une semaine.

Dans ce délai d'intervention de conservation-restauration restreint, l'objectif principal consistera en la stabilisation de l'instrument scientifique, par le retrait mécanique des produits de corrosion jusqu'à la surface d'origine, afin de ralentir le phénomène de corrosion et éviter le risque de corrosion réactivée, ainsi que de retrouver une lisibilité de la surface. Il faut également réaliser le marquage du numéro d'inventaire à un emplacement peu visible, mais accessible, sur les trois éléments de la balance pour éviter tout risque de perte ou de séparation de l'ensemble lors de manipulations ou de leur stockage.

2. PROPOSITION DE TRAITEMENT

- 1) Démontage partiel
- 2) Dépoussiérage
- 3) Décassage de la surface
- 4) Retrait des produits de corrosion de l'alliage cuivreux
- 5) Retrait des produits de corrosion de l'alliage ferreux
- 6) Rinçage des résidus de traitement
- 7) Marquage des trois éléments
- 8) Remontage des vis calantes
- 9) Conditionnement (housse)

3. INTERVENTIONS

L'ensemble de la balance hydrostatique à crémaillère a été dépoussiérée par micro-aspiration à l'aide de pinceaux pour retirer tous les dépôts exogènes volatils pouvant s'être déposés sur l'instrument.

Les vis calantes du pied du système central ont été démontées pour un nettoyage plus approfondi de cette zone de l'objet. Dans le temps alloué à l'étude et le traitement de cet instrument scientifique, il n'était pas envisageable de démonter l'ensemble de la crémaillère.

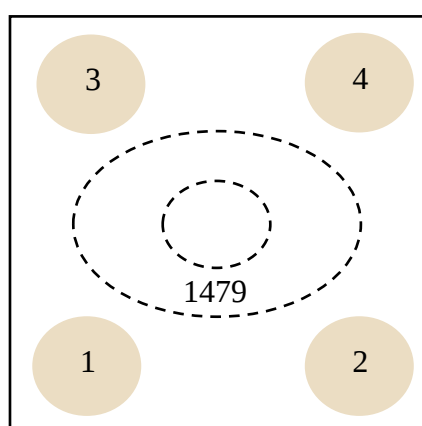


Figure 23 : schéma de numérotation des vis calantes pour le démontage



Figure 24 : vis calantes avant (en haut) et après (en bas) intervention

Des tests de nettoyages par action mécanique ont été réalisés sur l'instrument pour choisir la technique la plus adaptée à l'objectif établi pour le traitement de conservation-restauration.

Ainsi, le stylo à ultrasons (Cavitron®) a été retenu pour le retrait des produits de corrosion de couleur verdâtre à blanchâtre de l'alliage cuivreux, permettant une action localisée et efficace pour abraser les concrétions épaisses jusqu'à la surface d'origine du métal.



Figure 25 : nettoyage au stylo à l'ultrasons en cours sur la potence

Un prérinçage à l'eau déminéralisée a permis d'enlever le dépôt d'oxydes de la surface et d'avoir un visuel sur le résultat obtenu.

Pour un traitement optimal des concrétions restantes, une finition à la main avec de la laine d'acier très fine, humidifiée de White Spirit, a été appliquée sur la surface. Le solvant limite l'abrasion de la surface lisse, mais permet aussi de retirer les corps gras pouvant être présents sur la surface.



Figure 26 : partie haute du système central avant (gauche) et après (droite) traitement au stylo à l'ultrasons, puis passage à la laine d'acier

Le traitement des produits de corrosion de l'alliage ferreux a été effectué à la main avec de la laine d'acier humidifiée de White Spirit.

Pour éliminer tous les résidus de nettoyage, l'ensemble des éléments constitutifs de la balance hydrostatique ont été rincés à l'éthanol.

Les possibles traces restantes ont été essuyées avec un chiffon microfibre doux, permettant de lustrer la surface par la même occasion.



Figure 27 : plateau (1) avant intervention



Figure 28 : plateau (1) après passage au stylo à l'ultrasons



Figure 29 : plateau (1) après intervention

Les trois éléments ont été marqués du numéro d'inventaire attribué à l'ensemble à la peinture acrylique blanche (blanc de Titane, Golden®) avec une plume sur une couche de paraloid® B44 à 5% dans de l'acétate d'éthyle pour permettre la réversibilité du marquage. Une couche de cette résine acrylique a également été apposée au-dessus pour protéger l'inscription.



Figure 30 : marquage du plateau à crochet (2) sur le dessous

Les vis calantes ont été remontées sur le système central, à leur emplacement initial, à l'aide de la numérotation établie.

Une housse de protection temporaire en Tyvek® a été conçue pour éviter le réempoussiérèrent de l'instrument scientifique et limiter son contact avec les polluants atmosphériques le temps de son transport et des manipulations.



Figure 31 : housse de protection du système central

4. VERS UN TRAITEMENT PLUS POUSSE

Lors d'un nettoyage préliminaire de tests de traitement, nous avons remarqué la présence d'un dépôt gras exogène à la surface du métal, ne semblant pas d'origine, et rendant celui-ci terne et mat. Il se retire facilement aux solvants, au White Spirit en particulier, laissant

apparaître une surface brillante sous-jacente. De plus, il peut être porteur d'agents détériorant et a pu réagir avec le cuivre pour former ces produits de corrosion verdâtres et d'aspect gras présents sur l'alliage cuivreux. Il peut s'agir d'une protection ancienne, de type cire, qui a mal vieilli et auxquels se sont ajoutés des polluants (poussière, produits d'entretien). Ce corps gras a ainsi été retiré lors de l'intervention de conservation-restauration pour rendre son aspect brillant au métal.

Après le passage au stylo à ultrasons, la surface du métal avait retrouvé son éclat. Cependant, le retrait de l'encrassement et des produits de corrosion ont également mis en évidence la présence d'une gomme laque¹ altérée recouvrant l'ensemble de la surface en tant que vernis de protection. Elle s'est avérée difficile à retirer mécaniquement sans provoquer une abrasion conséquente du métal.

Ainsi, pour parfaire le projet de conservation-restauration de cet instrument scientifique maintenant stabilisé, il faudrait le démonter entièrement et le traiter chimiquement avec des compresses ou du gel de tri-ammonium citrate (TAC)² pour retirer la gomme laque et les produits de corrosion pouvant demeurer dans les recoins. La balance hydrostatique à crémaillère sera alors complètement traitée pour sa bonne conservation sur le long terme.

¹ Résine d'origine animale, sécrétée par des insectes.

² Agent chélatant utilisé pour le nettoyage des surfaces avec le minimum d'apport d'eau.

5. PHOTOGRAPHIES APRES INTERVENTION



Figure 32 : balance, vue de devant



Figure 33 : balance, vue du côté gauche



Figure 34 : balance, vue de derrière



Figure 35 : balance, vue du côté de droite



Figure 36 : balance, vue de dessous



Figure 37 : balance, vue de dessus



Figure 38 : plateau (1), vue de devant

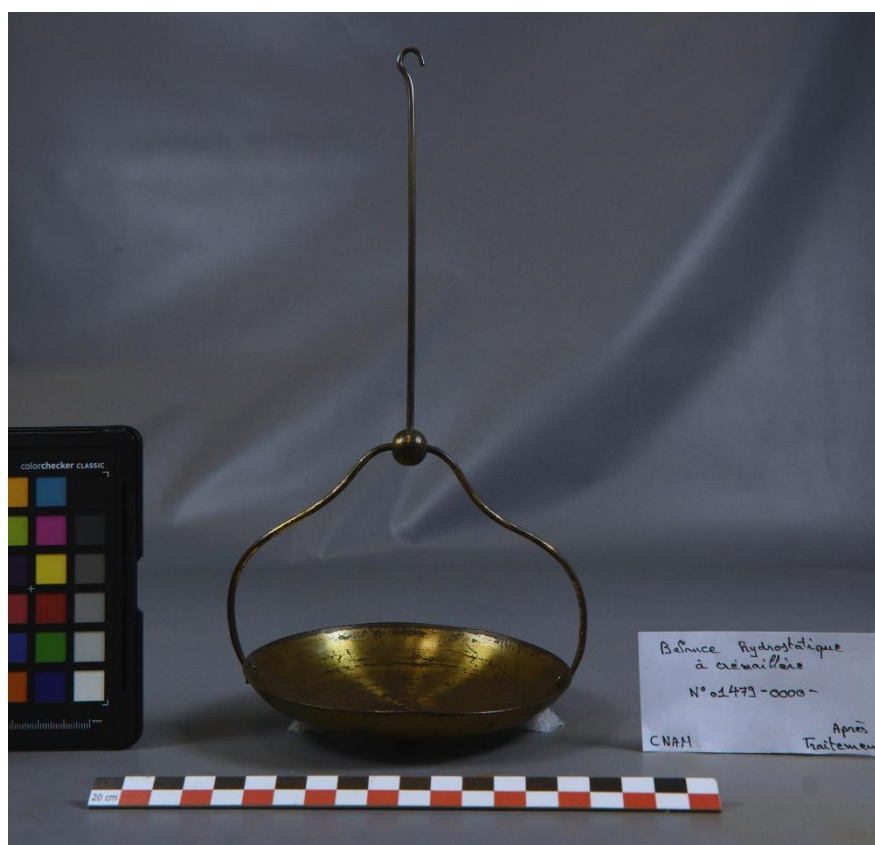


Figure 39 : plateau (1), vue de derrière



Figure 40 : plateau (1), vue de dessous

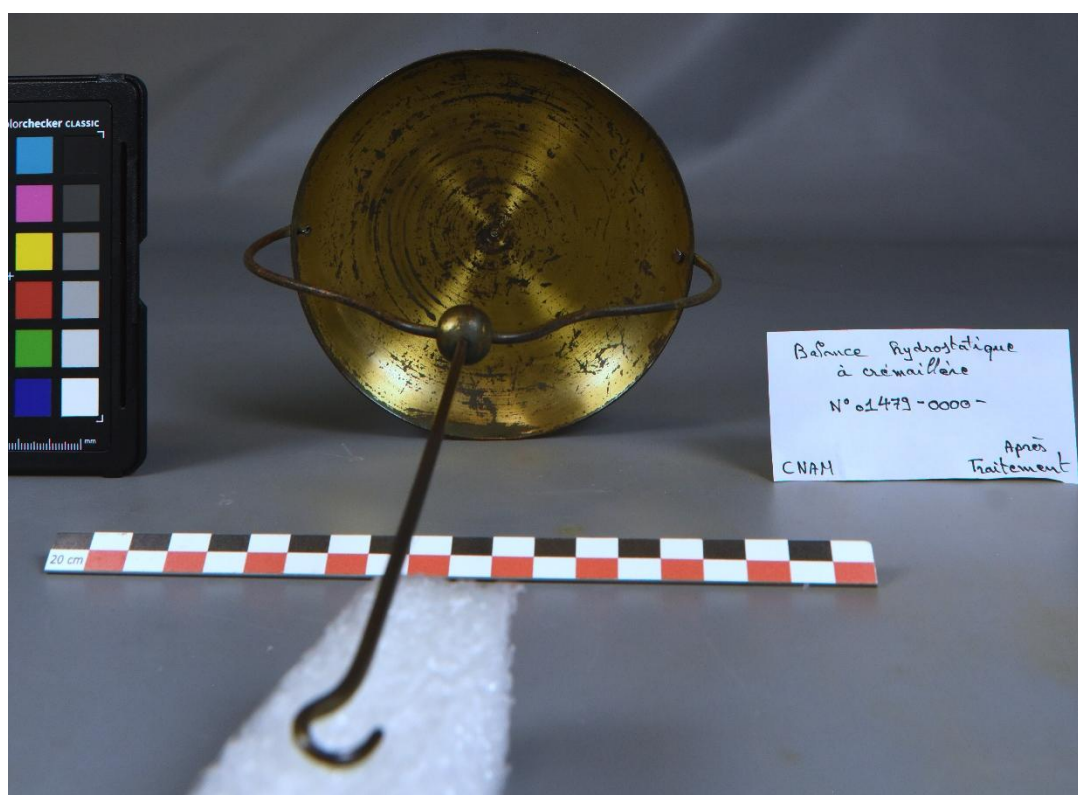


Figure 41 : plateau(1), vue de dessus



Figure 42 : plateau à crochet (2), vue de devant



Figure 43 : plateau à crochet (2), vue de derrière



Figure 44 : plateau à crochet (2), vue de dessous



Figure 45 : plateau à crochet (2), vue de dessus

IV. PRECONISATIONS

Pour que la balance hydrostatique à crémaillère conserve l'état obtenu après intervention, il y a des précautions à prendre pour sa manipulation, son stockage, et son éventuelle exposition.

- Manipulation :
 - avec des gants propres, en coton ou en latex/nitrile, pour éviter le dépôt de graisse et d'empreintes sur la surface
 - manipuler la balance précautionneusement en la maintenant en dessous du pied pour supporter son poids. Ne pas tenir les plateaux par leur tige
- Stockage :
 - protéger de la poussière, dont les particules sont abrasives et transportent de l'humidité
 - protéger de la lumière, notamment les hautes énergies (UV)
 - envelopper l'objet dans du papier de soie non-acide et/ou un sac de polyéthylène pour réduire les variations hygrométriques et éviter un contact avec les polluants
 - possibilité d'ajouter du gel de silice déshydraté et du charbon activé ou un tissu inhibiteur de ternissure dans le conditionnement pour augmenter la protection
- Exposition :
 - privilégier une vitrine avec du gel de silice déshydraté pour maintenir à une humidité relative stable et limiter le dépôt de poussières/polluants

Pour les conditions générales de conservation, la balance hydrostatique doit être dans un environnement avec une hygrométrie ambiante stable ; pas trop humide (>55%) pour la bonne conservation du métal et éviter tout risque de corrosion réactivée.

BIBLIOGRAPHIE

CORCY, Marie-Sophie, *L'héritage de Jacques Alexandre Charles au Conservatoire des arts et métiers : du cabinet de physique à la galerie de physique (1818-1850)*, HAL open science, *Cahiers d'histoire du Cnam*, vol.16, p.107-130, 2023

URL [<https://hal.science/hal-04356541v1>]

GIANNETTO, Enrico, *Review of Galileo e la bilancetta: Un momento fondamentale nella storia dell'idrostatica e del peso specifico*, coll. « Biblioteca di "Galilaeana" » par Annibale Mottana, JSTOR, *Revue d'histoire des sciences*, vol.71, n°2, p. 343–344, 2018

URL [<https://www.jstor.org/stable/26633519>]

MOTTANA, Annibale, « Galileo's La Bilancetta: The First Draft and Later Additions », OpenEditions Journals, *Philosophia Scientiæ, Travaux d'histoire et de Philosophie Des Sciences*, n° 21-1, p.165-179, 2017

URL [<https://journals.openedition.org/philosophiascientiae/1253?lang=en>]

NAMER, Émile, « Le traité de « La balance hydrostatique » de Galilée », JSTOR, *Revue d'histoire des sciences et de leurs applications*, vol.17, n°4, p. 397-403, 1964

URL [<https://www.jstor.org/stable/23903788>]

POIRE, Paul (1832-1900). *Leçons de physique à l'usage des demoiselles (Nouvelle édition) / par Paul Poiré*. GALLICA, 1896.

URL [<https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k4116599>]

Dictionnaire de l'Académie française, 2^e édition, « balance ». [Consulté le 07/03/2026]

URL [<http://www.dictionnaire-academie.fr/article/A2B0067>]

« Galilée – La bilancetta (S3E1), Palais de la découverte », 20 novembre 2025.

URL [<https://www.palais-decouverte.fr/explorer-nos-contenus/sciences-lues/galilee-la-bilancetta-s3e1>]

Le Compendium, « Balance colonne à crémaillère - balance à hauteur variable - Appareil de Masson - Appareil de Pascal - Le Compendium ». [Consulté le 28/02/2026].

URL

[https://www.lecompendium.com/dossier_meca_41_balance_hydrostatique_a_cremaillere/balance_a_cremaillere.htm]

Musée des Arts et Metiers, « Collections - Balance hydrostatique à crémaillère ». [Consulté le 06/03/2026]

URL [<https://collections.arts-et-metiers.net/?queryId=8418d4b5-f72d-472a-bfc2-956b9592a333>]

Muséum Genève, 2. *La balance hydrostatique – expérience I*, 2023

URL [<https://www.youtube.com/watch?v=qpWWT0uIFU8>]