Sommaire

RESUME 5
ABSTRACTS 6
INTRODUCTION GENERALE 7
MANDAT 7
OBJECTIFS 7
DESCRIPTION DU PROJET OBS 8
1.DESCRIPTION DE L'HORLOGE LEROY 8
1.1. HISTORIQUE 8
1.2. VALEURS 10
1.3. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT 10
2.CONSTAT D'ETAT 14
2.1. MOUVEMENT 14
2.2. CLOCHE 15
2.3. PENDULE 16
2.4. BAROMETRE 16
2.5. COLONNE 17
2.6. ANNEAU 17
2.7. RECOMMANDATIONS POUR LA CONSERVATION A LONG TERME 18
2.7.1. Métaux *18*
2.7.2. Verre *18*
2.7.3. Bois *18*
2.7.4. Polymères *19*
3.CONDITIONNEMENT POUR LA CONSERVATION A LONG TERME 19
3.1. CHOIX DES TYPES DE CONDITIONNEMENT 20
3.2. CHOIX DES MATERIAUX POUR LA FABRICATION DES CONDITIONNEMENTS 21
3.2.1. Matériaux de structure et de matelassage *21*
3.2.2. Matériaux et techniques d'assemblage *22*
3.3. CONDITIONNEMENTS POUR LA CONSERVATION A LONG TERME 22
3.2.3. Mouvement *23*
3.2.4. Cloche *24*
3.2.5. Pendule *25*
3.2.6. Baromètre *26*
3.2.7. Colonne *28*
3.2.8. Anneau *29*
3.4. DISCUSSION SUR LES CONDITIONNEMENTS 29
4.TRANSPORT 32
4.1. DOMMAGES LIES AU TRANSPORT 33
4.2. PREPARATION DE L'OBJET AU TRANSPORT 34
4.3. CHOIX DES TYPES DE CONDITIONNEMENT 35
4.4. CHOIX DES MATERIAUX POUR LES CONDITIONNEMENTS 38
4.5. CONDITIONNEMENTS POUR LE TRANSPORT 39
4.5.1. Caisse de transport *40*
4.5.2. Mouvement *41*
4.5.3. Cloche *42*
4.5.4. Pendule *42*
4.5.5. Baromètre *42*
4.5.6. Colonne et anneau de fixation *42*
4.6. RECOMMANDATIONS POUR LE TRANSPORT 43
4.7. DISCUSSION 44

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

CONCLUSION GENERALE **46**
LISTE DES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES **47**
LISTE DES FIGURES **51**
LISTE DES TABLEAUX **54**
GLOSSAIRE **55**
LISTE DES ABREVIATIONS **56**
ANNEXE 1.LISTE DES FOURNISSEURS **57**
ANNEXE 2.CONSTAT D'ETAT DETAILLE **58**
I. GENERALITES 58
I.I. Lieux de conservation *58*
II. MOUVEMENT 59
II.I. Dimensions *59*
II.II. Matériaux constitutifs et techniques de fabrication *59*
II.III. Description *59*
II.IV. Constat d'état *61*
II.V. Diagnostic *62*
II.VI. Pronostic *63*
III. CLOCHE DE VERRE 64
III.I. Dimensions *64*
III.II. Matériaux constitutifs et techniques de fabrication *64*
III.III. Description *64*
III.IV. Constat d'état *64*
III.V. Diagnostic *65*
III.VI. Pronostic *65*
IV. PENDULE 65
IV.I. Dimensions *65*
IV.II. Matériaux constitutifs et techniques de fabrication *65*
IV.III. Description *66*
IV.IV. Constat d'état *67*
IV.V. Diagnostic *67*
IV.VI. Pronostic *68*
V. BAROMETRE 68
V.I. Dimensions *68*
V.II. Matériaux constitutifs *68*
V.III. Description *69*
V.IV. Constat d'état *69*
V.V. Diagnostic *70*
V.VI. Pronostic *70*
VI. COLONNE 71
VI.I. Dimensions *71*
VI.II. Matériaux constitutifs et techniques de façonnage *71*
VI.III. Description *71*
VI.IV. Constat d'état *71*
VI.V. Diagnostic *72*
VI.VI. Pronostic *72*
VII. ANNEAU 73
VII.I. Dimensions *73*
VII.II. Matériaux constitutifs et technique de façonnage *73*
VII.III. Description *73*
VII.IV. Constat d'état *73*
VII.V. Diagnostic *74*

VII.VI. Pronostic *74*

ANNEXE 3.CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX UTILISES POUR LA CONCEPTION DES CONDITIONNEMENTS **75**

I. CARTON ONDULE NON ACIDE, DE 0,2 CM D'EPAISSEUR. 75
II. COUSSIN D'AIR 75
III. ETHAFOAM® 76
IV. MOUSSE DE POLYURETHANE 76
V. PANNEAUX DE POLYPROPYLENE CANNELE 77
VI. PROFILES D'ACIER ZINGUE 77
VII. RUBAN DE COTON NON ACIDE. 78
VIII. VELCRO® 78

ANNEXE 4.SCHEMAS DES CONDITIONNEMENTS **79**

I. SCHEMAS DES CONDITIONNEMENTS POUR LA MISE EN RESERVE 79
II. SCHEMAS DES CONDITIONNEMENTS POUR LE TRANSPORT 81
III. NOTICE POUR LE PLACEMENT DES ELEMENTS DANS LA CAISSE DE TRANSPORT 84

ANNEXE 5.RECOMMANDATION POUR LA MANIPULATION DU MERCURE **85**

ANNEXE 6.TEST D'ODDY **86**

I. MATETIAUX TESTES 86
I.I. Métaux *86*
I.II. Echantillons de matériaux de stockage *86*
II. RESULTATS 88
II.I. Plaques suspendues *88*
II.II. Plaques posées sur l'échantillon *90*
II.III Conclusion *92*

ANNEXE 7.TEST DE VIBRATIONS ET CHOCS **93**

ANNEXE 8.UTILISATION DES OUTILS D'AIDE A LA DECISION DE L'ICC **95**

I. RESULTATS OBTENUS 95
II. CONCLUSION 96

Résumé

L'horloge à pression constante construite par la maison L.Leroy est Cie fut installée à l'observatoire de Neuchâtel 1949 pour transmission de l'heure. Elle est arrêtée en 1962 et subit une période d'abandon. En 2010, l'horloge fut démontée et déposée au musée international de l'horlogerie de La Chaux-de-Fonds afin d'assurer sa sauvegarde. Les six éléments constitutifs de l'horloge de haute précision Leroy sont : un mouvement alimenté par un électroaimant, une cloche de cristal, un pendule ayant une tige d'invar®, un baromètre à mercure fixé sur un support de bois, une colonne d'acier et un anneau de fixation en fonte. L'horloge de haute précision Leroy est un objet comportant des assemblages fragiles, des matériaux constitutifs vulnérables aux chocs, du mercure susceptible de se déverser, ainsi que des éléments volumineux et lourds. En tenant compte de ces paramètres, des conditionnements adaptés doivent être réalisés pour la mise en réserve de cet objet, ainsi que pour les transports qu'il subira.

Après un descriptif du fonctionnement de l'horloge Leroy, sont présentés les conditionnements réalisés pour la conservation à long terme de l'objet. Ceux-ci ont été conçus afin d'assurer la protection et le soutien des éléments de l'objet, en n'employant que des matériaux stables dans le temps. Un test d'Oddy, a été effectué afin de tester l'émission probable de polluants par des matériaux de conditionnement.

La dernière partie de ce travail traite du transport de l'horloge Leroy. Il est présenté une caisse de transport légère imaginée d'après des modèles existants, mais exempte de matériaux nocifs pour la conservation et démontable. Sont décrites les précautions à prendre pour le transport de l'horloge Leroy, ainsi que les matériaux de calage qui doivent être employés.

Pour arriver au choix des conditionnements présentés de nombreuses pistes ont été étudiées. Chaque partie se termine donc par une discussion traitant des solutions de conditionnement pour la mise en réserve ou le transport, qui auraient pu être envisagées ou non. Dans ce but, des tests de vibrations et de chocs ont été réalisés afin de comparer des matériaux de calage pour le transport. Les descriptifs de l'ensemble des tests effectués, ainsi que leurs résultats détaillés se trouvent en annexe. Celles-ci contiennent également le constat d'état détaillé de l'horloge, un descriptif des matériaux employés dans les conditionnements, ainsi que des consignes concernant la manipulation du mercure.

Abstracts

Built by the house L. Leroy and Co., the constant-pressure clock was installed in the Neuchâtel observatory in 1949 to transmit time. It was turned off in 1962, and neglected for some time. In 2010, the clock was dismantled and brought for safekeeping to the international watchmaking museum of La Chaux-de-Fonds. The six constituents of the Leroy high accuracy clock are : an electromagnet which controls movement, a crystal dome, a pendulum with an invar® rod, a mercury barometer on a wooden support, a steel column and a cast iron fixation ring. The high accuracy clock contains some fragile assembling materials and is vulnerable to shock. It is susceptible to mercury spills, and certain of its constituents are heavy and bulky. After taking this into account, specific packaging needs to be built to store and transport the clock safely.

After describing the different functions of the Leroy clock, the packaging, which was designed for the long-term conservation of the clock, is described. It was created from materials that are guaranteed to be stable over time, and to insure the protection and the support of the clock's constituents. An Oddy test was performed to measure the potential pollutants of the packaging.
The last section of this work focuses on the transportation of the Leroy clock. A light transport case inspired by pre-existent models is described. It is made of non-harmful conservation materials, and is demountable. Descriptions of the precautions and the cushioning materials needed for the transportation of the Leroy clock are also given.

Many other potential solutions were studied before choosing the packaging. Each section of this work ends with a discussion of the other storage and transport options that were considered. Vibration and shock tests were carried out to compare different potential cushioning materials needed for transport. An overview of the different tests and the detailed results can be found in the appendix. The appendix also contains a detailed condition report of the clock, a description of the materials used for packaging, as well as instructions for the handling of mercury.

Introduction Générale

Les collections muséales ont besoin d'être protégées afin de garantir leur conservation sur le long terme. En plus de garantir de bonnes conditions climatiques, il est nécessaire de prévoir des conditionnements afin de protéger les objets des dommages mécaniques. Lorsque des objets sont déplacés, ils sont exposés à une multitude de risques et dangers qui peuvent gravement les altérer. Il est donc nécessaire de concevoir des conditionnements différents conçu à cet effet.

Le présent travail porte sur la mise en réserve et le transport d'une horloge de haute précision Leroy. Dans la littérature spécifique à la conservation-restauration il existe pu de littérature concernant les précautions devant être prises pour le transport des horloges et leur mise en réserve. Dans le cas des horloges de haute précision qui sont des objets rares et n'étant pas conçus pour être déplacés, les recommandations en conservation sont inexistantes.

Afin de concevoir les conditionnements les plus protecteurs possible pour l'horloge Leroy, il est nécessaire de regrouper les habitudes des métiers de l'horlogerie et de la conservation préventive en ce qui concerne le transport et le stockage à long terme. Dans un premier temps, afin d'identifier toutes les sensibilités de l'horloge Leroy, il a été important de saisir son principe de fonctionnement. Cela permet de comprendre les assemblages, ses parties mobiles ainsi que de déterminer ses matériaux constitutifs. Ainsi l'ensemble des sensibilités de l'horloge peuvent être identifié.

Mandat

L'horloge de haute précision Leroy fut démontée en six éléments et déposée au Musée international d'horlogerie situé à La Chaux-de-Fonds. Dans le cadre du projet OBS, elle est actuellement stockée dans les réserves de la haute école ARC de Neuchâtel. L'horloge Leroy devra revenir au MIH et il est possible qu'elle ne soit pas directement acheminée aux nouvelles réserves de l'institution, ce qui engendrera un autre déplacement. Bien que sur un long terme, ce stockage au MIH reste toutefois temporaire car l'horloge n'intégrera pas ses collections, il est probable que dans le futur l'horloge Leroy vienne à être déplacée une nouvelle fois. Dans ce cadre, des conditionnements doivent être conçus pour la mise en réserve de l'objet ainsi que son transport.

Objectifs

- Conception de conditionnements pour la mise en réserve et le stockage à long terme de l'horloge : Les matériaux choisis doivent être compatibles avec ceux qui constituent l'objet afin de ne pas engendrer des dégradations. Le conditionnement doit offrir une protection et si besoin un soutien. S'ajoute à ces conditionnements des recommandations pour la mise en réserve.
- Conception de conditionnements pour le transport : Ceux-ci doivent offrir une protection à l'objet contre tous les risques de dégradation liés à celui-ci. De plus ils doivent être réutilisables, démontables et exempts de matériaux non compatibles avec ceux constitutifs de l'horloge. Il

existe un risque que l'objet reste dans sa caisse de transport entre deux déplacements s'ils sont rapprochés en temps. Ce travail s'accompagne de recommandations pour le transport.

Description du projet OBS

Le projet OBS propose une approche pluridisciplinaire de la décontextualisation des collections scientifiques et techniques en prenant pour exemple l'observatoire de Neuchâtel. Il est mené par une équipe de l'unité de recherche appliquée et de développement de la haute école Arc de conservation et restauration située à Neuchâtel. La direction du projet OBS est assurée par Isabel Tissot, conservatrice-restauratrice spécialiste en métal et adjointe scientifique du Ra&D.
La collection de l'observatoire de Neuchâtel a subi une période d'abandon et plusieurs objets ont dû être rapidement déposés dans des musées pour leur sauvegarde. Ceci fut fait sans documentation : sur leur histoire, sur leur utilisation, sur leur mode de fonctionnement et sur leur emplacement dans le Pavillon Hirsch. De plus, des espaces de ce bâtiment ont été réaménagés afin d'être réattribués. De ce fait la collection de l'observatoire est décontextualisée, ce qui réduit les informations que les objets peuvent nous fournir. Dans le cadre du projet OBS, quelques objets sélectionnés sont étudiés afin de comprendre leur usage au sein de l'observatoire de Neuchâtel. L'horloge de haute précision Leroy fait partie de ce panel d'objet.

1. Description de l'horloge Leroy

1.1. Historique

L'objet au centre de ce mémoire est un régulateur à pression constante fabriqué par la Maison L. Leroy & Cie, dont le siège est basé à Paris. Il s'agit de la seconde horloge de ce fabriquant qu'a acquis l'observatoire de Neuchâtel. Ceci dans le but d'augmenter l'émission des signaux horaires.
Le second régulateur à pression constante de l'observatoire de Neuchâtel est le 50e garde temps mécanique fabriqué par la maison L. Leroy et Cie, sur les 64 réalisés et répartis dans 34 observatoires de part le monde[1]. Cette horloge porte le N° 1756. Cependant, ce n'est pas son numéro d'origine. Elle fut livrée à l'observatoire sous le numéro de série N° 1740, elle fut ensuite renvoyée aux ateliers de la Maison L. Leroy & Cie afin de subir une ou plusieurs modifications[2]. Pour le sûr, cette intervention comprenait la suppression de l'un des deux interrupteurs marquant la seconde au niveau de l'échappement.
L'observatoire de Neuchâtel ayant une fonction importante dans la

© Drouot Richelieu

Figure 1 : Régulateur à pression constante Leroy.
(Chayette et Calmels, 1986 , p.98.)

[1] Castagna, 2011 [en ligne].
[2] Information donnée par Dominique Mouret, (horloger, Mouret pendulier Sàrl), par e-mail daté du 25 mai 2013.

Rapport-Gratuit.com

Figure 2 : Observatoire de Neuchâtel, Le pavillon Hirsch.

Figure 3 : Salle des horloges fondamentales située au sous-sol du Pavillon Hirsch.

diffusion de l'heure en Suisse, il possédait déjà plusieurs horloges fondamentales installées dans une salle située au sous-sol du Pavillon Hirsch[3]. Concernant les horloges Leroy, la première horloge à pression constante de ce type fut acquise en 1931. La seconde horloge de haute précision Leroy fut commandée en 1948. Elle a été installée dans le sous-sol du pavillon Hirsch en juillet 1949[4]. Quelques années plus tard, en 1952, une troisième horloge Leroy fut achetée par l'observatoire[5]. Au milieu des années 50, toutes les horloges à pression constante de l'observatoire sont remplacées pour la transmission de l'heure par des horloges à quartz. Celles-ci étant plus précises. Cependant les horloges à pression constantes resteront encore en activité dans le but de régler les horloges à quartz en cas de coupure de courant[6]. Toutes les horloges mécaniques furent arrêtées en 1961[7]. Cette même année, l'horloge Leroy de 1931 est déposée au musée international d'horlogerie de La Chaux-de-Fonds. La seconde horloge restera en place dans le pavillon Hirsch jusqu'en 2010, où elle est aussi déposée pour sa conservation au musée international d'horlogerie de La Chaux-de-Fonds. Toutefois elle reste la propriété du canton de Neuchâtel et n'intègrera pas les collections du musée[8]. Quant à la troisième horloge Leroy, sa localisation actuelle est inconnue.

[3] Babey, 2003, p.39.
[4] Trueb, 2012, p.93.
[5] Babey, 2003, p.39.
[6] Trueb, 2012, p.105.
[7] Trueb, 2012, p.120.
[8] Trueb, 2012, p.179.

1.2. Valeurs

Tout objet est associé à des valeurs culturelles. Sont listées ici celles étant propres à l'horloge de haute précision Leroy.

- Valeur historique : Les horloges à pression constante fabriquées par Leroy sont le témoignage historique d'un savoir faire en haute horlogerie qui n'existe plus aujourd'hui. Les horloges de haute précision furent remplacées pour la mesure et la transmission de l'heure par des horloges électriques à quartz[9], puis par des horloges atomiques. L'horloge Leroy informe donc des activités passées de l'observatoire de Neuchâtel.
- Valeur esthétique : Même si l'horloge Leroy est conçue pour être un objet utilitaire, il est possible de remarquer l'effort esthétique. Un exemple est le motif décoratif qui recouvre les platines.
- Valeur financière : L'horloge Leroy était coûteuse à sa création, soit environ 12'000 € en 1930[10]. Sa valeur de rareté, d'ancienneté et l'arrêt de sa production a augmenté sa valeur marchande.
- Valeur de rareté : Les horloges à pression constante Leroy furent construites à 64 exemplaires et il est possible que certaines aient été détruites. De plus peu d'horloge Leroy sont similaires. L'esthétisme de celles-ci a changé selon les époques. De plus elles ont subi des modifications selon leur utilisation.
- Valeur d'association : l'observatoire de Neuchâtel était un lieu très reconnu dans le monde en ce qui concernait la transmission de l'heure et sa détermination. A une époque, l'heure donnée par l'observatoire était considérée comme « l'heure Suisse »[11].

1.3. Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement décrit dans ce chapitre est en partie déduit suite à des conversations avec des personnes ayant des connaissances dans le domaine de l'électricité ou de l'horlogerie. Il est donc probable qu'il ne soit pas totalement exact, car il n'a pu être entièrement validé par aucune source écrite.

Le mouvement de l'horloge de haute précision Leroy est remonté électriquement par un système comprenant un électroaimant*. L'alimentation électrique du mouvement pouvait se faire par des batteries ou l'horloge pouvait être directement branchée sur secteur. Dans cas, l'horloge disposait du rhéostat permettant de régler l'intensité du courant électrique[12].

A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 4 : Electroaimant situé à l'arrière de l'horloge. Deux bobines en série, reliées à leur base par un condensateur et leur sommet par un aimant pouvant basculer.

[9] Trueb, 2012, p.93.
[10] Fievez, 2013, p.58.
[11] Trueb, 2012, p.118.
[12] Trueb, 2012, p.118.
[12] Turner *et al.*, 2011 [en ligne].

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

L'électroaimant situé à l'arrière du mouvement est composé de deux bobines, surmontées d'un aimant dans lequel est inséré sur un axe. Cet assemblage lui permet de pivoter librement. Les bobines étant montées en série, l'aimant ferme le circuit lorsqu'il est à l'horizontale et l'ouvre lorsqu'il bascule. Les bobines sont reliées à leurs bases par ce qui est supposé être un condensateur. Les bobines sous tension emmagasinent de l'énergie, ce qui engendre la formation d'arcs électriques lorsque le circuit s'ouvre. Le condensateur permet de palier ce désagrément et évite la surtension des bobines en absorbant les pics de courant[13].

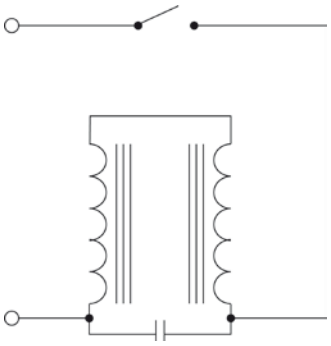


Figure 5 : Schéma électrique de l'horloge Leroy.

L'électricité entre dans l'électroaimant par la bobine de gauche. Au cœur des bobines se trouve un élément de fer pur. Lorsque le courant alimente les bobines, cela entraine la formation d'un pole + et d'un pole – qui est inversé d'une bobine à l'autre. L'aimant est attiré, il se met à l'horizontale et ferme le circuit. L'axe situé au centre de l'aimant accompagne le mouvement de celui-ci et fait basculer la tige à laquelle il est fixé. Cette bascule est maintenue en position haute par un ressort. L'extrémité de la tige est fixée à un axe situé sur le côté du mouvement, qui va transmettre le mouvement de bascule à une seconde tige se trouvant sous le cadrant. Cette tige est en contact avec un levier. Celui-ci étant en déséquilibre lorsque le circuit n'est pas alimenté il reste en position basse.

Du côté opposé à la zone de contact est placé un poids pouvant être vissé à des fins de réglage.

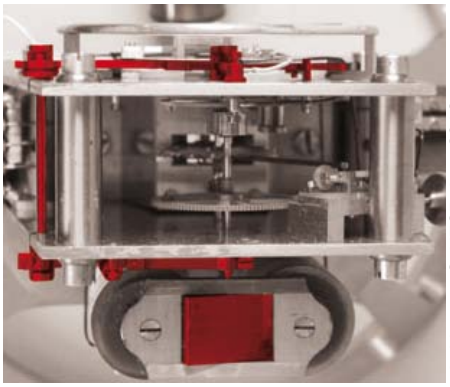


Figure 6 : Vue de dessus du mouvement. En rouge, aimant et éléments du mécanisme qu'il entraine afin de remonter le ressort.

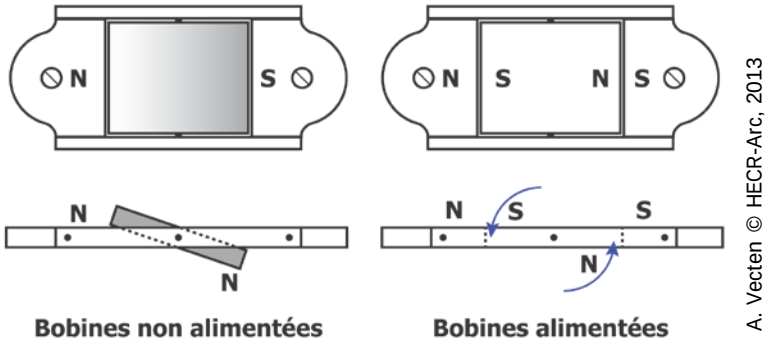
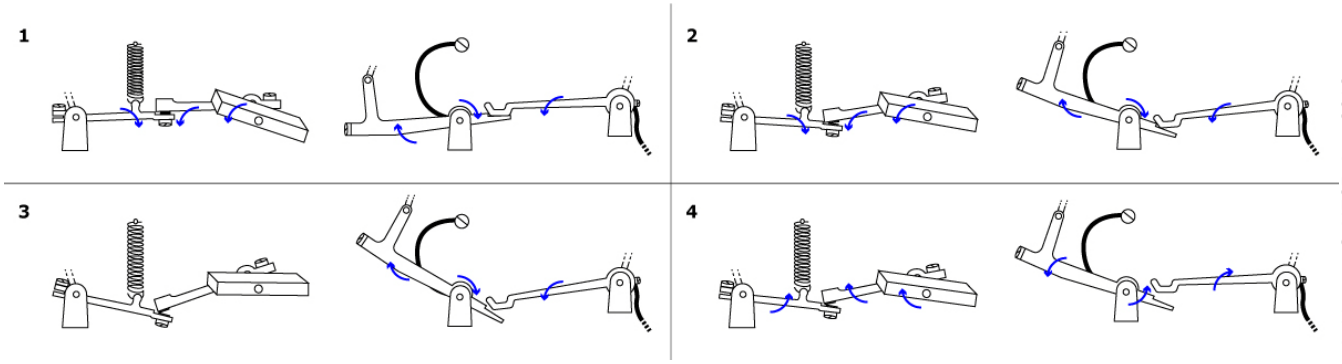


Figure 7 : Fonctionnement de l'électroaimant lorsque les bobines sont alimentées.

[13] Information donnée par Didier Vecten, (ingénieur en électronique, Debiotec S.A.), lors d'un entretient daté du 16 juin 2013.

Lorsque la tige bascule elle appuie sur le levier et pousse cette extrémité vers le bas[14]. Le levier est alimenté en électricité par un fil de cuivre en provenance de la seconde bobine. Lorsque la tige et le pendule sont en contact, le circuit est fermé et l'électricité peut circuler. Une fois ouvert, la circulation de l'électricité dans le circuit est coupée. De ce fait, l'électroaimant n'est plus alimenté, la tige jointe à l'aimant est remontée par le ressort et l'aimant bascule. Ensuite, le levier revient en position initiale et referme le contact, ce qui permet à l'électricité de circuler de nouveau.



A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 8 : Principe de basculement de l'aimant et des leviers.

1. L'aimant est attiré et bascule. Le mouvement est transmis à la tige qui appuie sur le levier et le fait basculer.
2. Toutes les tiges basculent, le levier monte.
3. L'aimant est à l'horizontal. Lancé dans son élan le levier monte jusqu'à son maximum. Le contact entre la tige et le levier est interrompu, l'électricité ne passe plus.
4. L'électricité étant coupée, l'aimant n'est plus attiré et il revient en position inclinée. Les tiges se remettent à l'horizontale et le levier redescend.

Le levier est relevé en 0,1s toutes les 38 secondes[15]. En descendant, il entraine une roue à cliquets située derrière la platine. Celle-ci ne peut tourner que dans un sens de part la forme de ses dents et car deux cliquets placés à sa base empêchent son retour en arrière. La roue est indépendante de l'axe sur lequel elle se trouve. Elle remonte un ressort qui à un temps t relâche la force qu'il a emmagasinée et entraîne l'axe[16]. L'avantage de ce type d'horloge électrique est qu'en cas de coupure de courant, le ressort peut continuer à la faire fonctionner jusqu'à ce qu'il soit détendu[17].

La roue fixée sur l'axe tourne et entraine par un engrenage une seconde roue reliée à l'axe de l'échappement. L'échappement est basé sur le modèle de l'échappement à force constante de Reid[18]. Il se compose d'une roue à 30 dents sous laquelle se situe l'ancre*. Celle-ci est en forme de Y et le pendule est monté à son extrémité[19].

[14] Information donnée par Tobias Schenkel, (conservateur-restaurateur et enseignant, Haute école Arc), lors d'un entretient daté du 17 mai 2013.

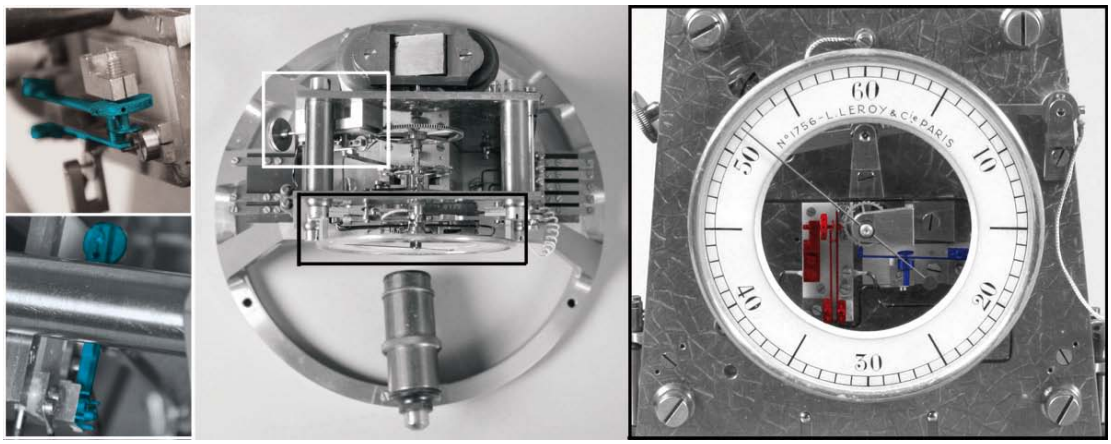
[15] Fievez, 2013, p.62.

[16] Information donnée par Tobias Schenkel, (conservateur-restaurateur et enseignant, Haute école Arc), lors d'un entretient daté du 17 mai 2013.

[17] Viredaz, 2005, p. 22.

[18] Chayette et Calmels, 1986

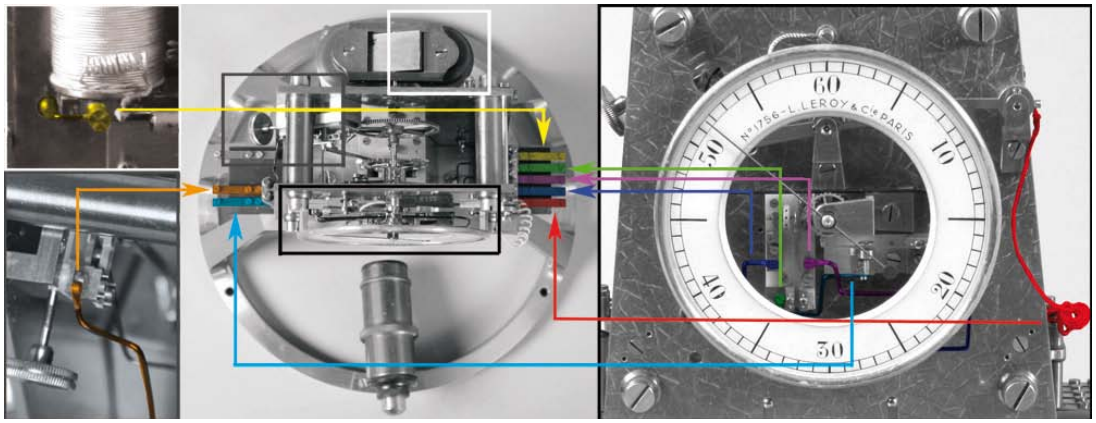
[19] Roberts, 2003, p.138.



A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 9 : Emplacement des interrupteurs sur le mouvement. En Cyan, interrupteur de l'échappement. En rouge interrupteur du mouvement marquant la seconde et en bleu celui marquant la minute.

Le fait de remonter le ressort par un système électrique à électroaimant permet d'obtenir une régularité. Un ressort remonté à la main ne sera jamais mis sous tension avec la même force alors que celle émise par l'électroaimant est constante[20]. De ce fait, l'horloge Leroy est très précise et perd seulement entre 0,010 secondes à 0,017 secondes par jour[21]. Cette horloge ne compte que les secondes, ce qui explique que son mouvement comporte peu d'éléments. Le pendule effectue une oscillation à la seconde. A chaque seconde, l'interrupteur situé sous le cadrant, à côté de l'aiguille, et celui fixé en haut de la platine de derrière se ferment rapidement. Ils transmettent électriquement l'information des secondes. L'interrupteur situé sur le cadran, sous l'aiguille, sert au repérage des minutes[22]. Les deux interrupteurs du cadrant sont déclenché par une roue dentée fixée sur l'aiguille. Celui de la platine arrière est directement déclenché par une tige fixée sur l'ancre de l'échappement*.
De chaque côté du mouvement sont placés des plaquettes de laitons dans lesquelles se fichaient des fils électriques. Ils servent soit à l'alimentation électrique du mouvement, soit à la transmission des informations des interrupteurs.



A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 10 : Correspondance des plaquettes avec des interrupteurs du mouvement ou des emplacements du circuit électrique. Comme la base de la bobine de gauche et l'extrémité de la tige faisant basculer le levier.

[20] Rawlings, 1993, p.139.
[21] Rawlings, 1993, p.119.
[22] Chayette et Calmels, 1986

Au-delà de la précision des mouvements liés à l'ajustement des pièces, les horloges sont influencées par la pression atmosphérique et la température. Le mouvement de l'horloge Leroy est enfermé hermétiquement à une pression constante de 400 mbar[23]. Une pression plus basse ferait évaporer les huiles de lubrification[24]. La pression constante dans l'horloge sert à limiter l'impact des changements de la pression atmosphérique sur le mouvement et ainsi à éviter l'erreur qu'ils induisent[25]. Afin de compenser l'impact de la température le régulateur Leroy était placé avec les autres horloges fondamentales dans une salle située en sous-sol du pavillon Hirsch. Les pièces en sous-sol subissent moins les fluctuations journalières de la température. Des panneaux de liège aggloméré fixés aux parois et au sol permettaient d'amortir les fluctuations de la température qui pouvaient toutefois subvenir[26]. Un autre facteur influençant la précision des horloges sont les vibrations*. Afin de palier ce problème, l'anneau de maintient de l'horloge se fixait à un pilier de béton ayant pour fondation la roche de la colline du Mail[27].

2. Constat d'état

Le constat d'état détaillé des éléments constitutifs de l'horloge Leroy figure en annexe[28]. Dans ce chapitre il est uniquement mentionné les dégradations et sensibilités dont il faut tenir compte pour la réalisation des conditionnements pour la mise en réserve et le transport.

2.1. Mouvement[29]

Le mouvement de l'horloge Leroy est composé de divers matériaux. L'essentiel du mécanisme et de sa base sont faits d'alliages cuivreux et ferreux, comprenant pour le sûr du laiton, de l'acier et du fer. Les éléments servant à l'isolation sont faits de polymères, tel que de la Bakélite®. Sont aussi présentes des fibres textiles servant à l'isolation des fils électriques souples, ainsi que de l'émail pour le cadrant et du verre.

A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 11 : Mouvement de l'horloge Leroy N° 1756.

Le mouvement est constitué de nombreux assemblages mobiles dont les éléments peuvent s'entrechoquer entre eux. De ce fait, c'est un objet

[23] Fievez, 2013, p.58.
[24] Fievez, 2013, p.58.
[25] Defossez, 1952, p.529-530.
[26] Trueb, 2012, p.74.
[27] Babey, 2003, p.34.
[28] Voir Annexe 2, p.58.
[29] Voir Annexe 2, chapitre II, p.59.

ayant une sensibilité aux vibrations et chocs[30]. Ceux-ci peuvent engendre un risque de dégradations mécaniques qui est augmenté par le fait que des pièces d'acier côtoient des pièces de laiton. Or la dureté de des ces deux métaux n'est pas la même. Les pièces de laiton ont plus de risque d'être griffées ou enfoncées. Les pièces de petite taille peuvent facilement se tordre. Le mouvement comporte aussi des matériaux fragiles. Il s'agit du métal émaillé du cadrant, des plaquettes de verre servant à l'isolation des interrupteurs et des lentilles de verre dans la lunette.

Pour la bonne conservation des alliages cuivreux et ferreux, ainsi que des polymères qui le compose, le mouvement doit être protégé des variations de l'humidité climatique. L'humidité relative ne doit pas être élevée et l'eau ne doit pas se condenser sur l'objet. Cela engendrerait une accélération du phénomène de corrosion des métaux non protégés par la gomme laque et la dégradation des polymères. La gomme laque recouvrant le laiton des platines* du mouvement est vulnérable à l'eau[31]. La poussière ayant pour effet de retenir l'humidité, l'objet doit en être protégé[32].

2.2. Cloche[33]

La cloche est faite d'un cristal, un verre contenant du plomb, enduite à sa base d'un produit de graissage. Le cristal est un matériau fragile pouvant être cassé lors de chocs. La surface du verre peut aussi être abrasée, d'ailleurs elle comporte déjà quelques griffures.

La graisse est facilement ôtée lorsqu'elle touche une surface. Elle doit donc être préservée de tout contact. Elle doit être protégée de la poussière qui adhère à sa surface. La poussière se déposant sur l'objet engendre des manipulations qui sont un risque pour celui-ci. Plus la cloche est manipulée, plus le risque de dégradations mécanique est important.

A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 12 : Cloche de cristal.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

[30] Marcon, 2011a [en ligne].
[31] Tétreault, 1999, p.4.
[32] Logan, 2007a, p.2.
[33] Voir Annexe 2, Chapitre III, p.64.

2.3. Pendule[34]

A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 13 : Pendule de l'horloge Leroy.

Le pendule est composé uniquement de métaux qui sont de l'acier, du laiton et de l'Invar®. Ceux-ci sont toutefois sensibles aux dégradations mécaniques, tels que les griffures et enfoncements. D'ailleurs des griffures sont présentes sur le poids, la tige et la bague située sous la plaquette. En plus des facteurs externes, des abrasions peuvent être causées par le poids du pendule qui est mobile.

De part sa constitution, le pendule peut être soumis à des déformations. Si le pendule est uniquement soutenu par sa tige, le poids va la faire plier.

Le pendule doit être protégé de la poussière car elle favorise la corrosion des métaux. Les alliages cuivreux et ferreux dont est fait le pendule sont déjà corrodés. Ce phénomène étant sûrement des corrosions galvaniques favorisées par le contact de métaux ayant des potentiels électrochimiques différents[35].

2.4. Baromètre[36]

Le baromètre se constitue d'une planche de bois vernie sur cinq faces. Les tubes de verre d'un baromètre et d'un thermomètre, sont fixés au moyen de plaquettes en alliage cuivreux. Les graduations du baromètre sont inscrites à la peinture noire sur une plaque de laiton.

De part ses matériaux constitutifs, le baromètre est sensible aux variations climatique en particulier celles de l'humidité relative. Cela peut engendrer des déformations du bois, ainsi qu'accélérer la corrosion des métaux. Une humidité relative élevée pourrait aussi favoriser le développement de la moisissure actuellement inactive et située au dos du baromètre. L'objet doit être protégé de la poussière pour les raisons citées précédemment, mais aussi car elle favorise le développement des moisissures[37].

Le verre constitutif des tubes est fin et comporte des défauts comme des bulles, il est de ce fait fragilisé. Les tubes contiennent une grande quantité

A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 14 : Le thermomètre et le baromètre.

[34] Voir Annexe 2, Chapitre IV, p.65.
[35] Selwyn, 2004, p.31.
[36] Voir Annexe 2, Chapitre V, p.68.
[37] Guild et MacDonald, 2006, p.5.

de mercure qui pourrait se déverser lors de chocs. Le tube du thermomètre est fermé mais pas celui du baromètre. Le réservoir est fermé au moyen d'un bouchon de liège qui n'est pas étanche.
L'assemblage des lamelles en alliage cuivreux des tubes, ne les immobilise pas. Sur certaines sections du tube du baromètre, un espace se trouve entre celui-ci et le bois. En cas de choc à cet emplacement il pourrait rompre.

2.5. Colonne[38]

La colonne est faite d'acier peint sur sa face extérieure. Il comprend un emplacement où sont boulonnés sept fils électriques. Ceux-ci sont isolés d'une gaine en polychlorure de vinyle et sont rassemblés dans un tube en alliage cuivreux.
La peinture de la colonne est tachée et comporte des éraflures dues à des chocs. Sont aussi présentes à sa surface des tâches de corrosion du métal sous-jacent. Le tube en alliage cuivreux ainsi que la vis qu'il comporte sont corrodés. Ce phénomène est probablement accéléré par les composés chloré qu'émet le PVC en se dégradant[39]. De ce fait, cet élément ne doit pas être placé dans un conditionnement clos. Le tube n'est pas fixé dans la colonne. Lors de déplacement, il va taper contre la paroi interne de la colonne. Cela peut engendrer des dégradations des deux éléments.

A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 15 : Colonne servant de base à l'horloge.

2.6. Anneau[40]

L'anneau de fixation est fait de fonte recouverte de peinture noire. Sur cet élément sont vissé trois grandes vis d'acier servant à la fixation de la colonne dans l'anneau. De par sa constitution, cet élément n'est pas fragile. Il est seulement nécessaire de le protéger des chocs qui pourraient engendrer des déformations des vis, ainsi que des pertes de peinture.

A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 16 : Anneau de fixation.

[38] Voir Annexe 2, Chapitre VI, p.71.
[39] Quye et Williamson, 1999, p.102.
[40] Voir Annexe 2, Chapitre VII, p.73.

2.7. Recommandations pour la conservation à long terme

2.7.1. Métaux

Le phénomène de corrosion touchant tous les métaux peut être enrayé par une humidité relative basse. Son taux doit être situé entre 35 % et 55 %, et ne pas dépasser cette valeur[41].

Tous les éléments en métal doivent absolument être manipulés avec des gants de coton ou de vinyle et non à main nue[42]. Car les acides à la surface de la peau se déposent par contact sur le métal et favorisent sa corrosion.

A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 17 : Corrosion du laiton provoquée par le contact avec la peau.

2.7.2. Verre

Le verre non altéré est peu sensible aux fortes fluctuations de l'humidité relative. Il est toutefois préférable que le taux d'humidité relative se situe entre 40 et 50 %[43]. Concernant la température, il faut éviter d'exposer le verre à des extrêmes, comme une exposition en plein soleil ou sous une un fort éclairage[44]. Surtout si l'exposition est locale. Il est aussi nécessaire de protéger le verre des rayons ultraviolet qui sont un facteur de la dégradation de sa structure[45].

Il est préférable de manipuler les objets en verre à mains nues, ce qui assure une bonne prise en main[46]. Cependant, la cloche de verre peut être manipulée avec des gants dont la surface accroche au verre, comme des gants en vinyle, PVC, latex, polyéthylène[47] ou des gants en coton ayant leur surface recouverte de picots antidérapants.

De part sa structure moléculaire, le verre est un mauvais conducteur des vibrations et casse facilement en cas de chocs[48]. Afin de réduire le risque de casse lors de déplacement, il faut privilégier l'usage d'un chariot plutôt que de la porter à l'objet main et le laisser dans son conditionnement[49].

2.7.3. Bois

Le bois est un matériau très hygroscopique* qui cherche en permanence à être en équilibre avec son environnement[50]. Lorsqu'il est soumis à des variations du taux de l'humidité relative, il se dilate et se contracte. Ce qui entraine des fissurations et un écaillement du vernis-laque[51]. Le taux de l'humidité

[41] Logan, 2007b, p.1.
[42] Illes, 2004, p.77.
[43] Alcouffe, 2001, p.96.
[44] Note de l'ICC 5/1, 2007, p.3.
[45] Note de l'ICC 5/1, 2007, p.3.
[46] Illes, 2004, p.79.
[47] Illes, 2004, p.98.
[48] Alcouffe, 2001, p.95.
[49] Illes, 2004, p.24.
[50] Oudry, 2001, p.156-157.
[51] Note de l'ICC 7/2, 2002, p.3.

Rapport-Gratuit.com

relative doit donc être stable et situé entre 40 et 50 %. Au-dessus de ce taux le risque de moisissure est grand[52].

Les rayons ultraviolets qui sont une composante de la lumière entraînent un jaunissement des vernis et un changement de couleur du bois. De ce fait, le taux d'UV doit être inférieur à 75 mW/lm et l'éclairement de 150 lux[53] maximum.

2.7.4. Polymères

Une température basse ralentit les réactions chimiques qui entraînent la dégradation des polymères. De ce fait, la température de conservation ne doit pas dépasser les 20°C[54]. Concernant l'humidité relative, son taux doit se situer entre 30 et 50%[55]. La dégradation des plastiques est aussi favorisée par la lumière. Ils doivent être placés à l'abri des rayons ultraviolets et le taux d'éclairement lumineux doit se situer entre 50 et 300 lux[56]. Cela est particulièrement le cas du PVC qui est instable et qui jaunit rapidement quand il est exposé aux UV[57].

Les objets ayant des parties plastiques ne doivent pas être encapsulés dans des conditionnements hermétiques. Les composés qu'ils dégagent vont accélérer leur dégradation ainsi que celle des matériaux environnants.

Les parties plastiques ne doivent pas être touchées à mains nues, surtout si elles sont dégradées. Le contact de la peau peut laisser des marques. L'usage de gants de vinyle, latex, polyéthylène, nitrile ou de coton non acide, permet de limiter la propagation par le toucher des composés libérés lors de la dégradation des plastiques[58]. Toutefois ils doivent être propres et changés régulièrement.

3. Conditionnement pour la conservation à long terme

Un conditionnement a pour fonction de protéger l'objet qu'il contient des dégradations externes. Cependant il est soumis à de nombreuses contraintes.

Les conditionnements sont réalisés au cas par cas, selon les mesures et nécessités de protection des objets. Les designs de ceux-ci furent conçus en se basant sur le constant d'état[59] de l'horloge Leroy. Lors du constat d'état ont été identifié la vulnérabilité des assemblages ainsi que les faiblesses structurelles des matériaux. De plus, les éléments de l'horloge Leroy n'ont pas été conçus pour être démontés. Le baromètre, par exemple, était suspendu dans la colonne. De ce fait, il ne peut être posé verticalement comme lors de son usage, car l'aire de sa base est trop faible.

[52] Oudry, 2001, p.158.
[53] Oudry, 2001, p.160.
[54] Quye et Williamson, 1999, p.92.
[55] Quye et Williamson, 1999, p.92.
[56] Shashoua, 2008, p.195.
[57] Quye et Williamson (eds.), 1999, p.127.
[58] Quye et Williamson (eds.), 1999, p.92.
[59] Voir Annexe 2, p.58.

Le conditionnement doit tenir compte l'environnement de conservation, de ses particularités et des dégâts qu'il pourrait engendrer. Dans ce cas, les réserves du MIH au musée, de la ville de La Chaux-de-Fonds et de la haute école arc sont souterraines. Seule la colonne et l'anneau, conservés pour des raisons de place dans la seconde réserve du MIH sont exposés à la lumière. Mais cela ne sera plus le cas après le déménagement dans les nouvelles réserves de La Chaux-de-Fonds.

Les conditionnements doivent être adaptés aux structures de stockage. Ils doivent prévenir des mauvaises manipulations ainsi que des vibrations et chocs. Ils sont aussi une aide à la manipulation comme c'est le cas du pendule qui risque de plier s'il n'est pas correctement soutenu. De plus, le support va répartir le poids de l'élément. Les éléments tels que le mouvement, la cloche de verre et le baromètre doivent être posés sur des mousses absorbant les vibrations[60]. De ce fait, le choix des matériaux entrant dans la réalisation des conditionnements est important. Il dépend des propriétés mécaniques recherchées. Il s'effectue aussi en fonction de la compatibilité des matériaux. Les matériaux de conditionnement ne doivent pas émettre de composés favorisant la dégradation. En plus de se référer à la littérature, les matériaux employés dans les conditionnements ont été testés. Pour cela un test de vieillissement accéléré nommé test d'Oddy a été réalisé dans le cadre de ce travail[61]. Il sert à visualiser l'impact des composés émis par les matériaux testés sur les métaux. Or ceux-ci sont le constituant principal de l'horloge Leroy.

Le design du conditionnement doit être pensé afin de permettre d'en retirer facilement l'objet qu'il contient, tout en évitant de devoir faire beaucoup de manipulations. Il faut donc privilégier les réalisations les moins compliquées[62].

3.1. Choix des types de conditionnement

Les plateaux facilitent la prise en main et limitent le contact direct avec les objets, volontaire ou accidentel, en éloignant l'objet du porteur et protégeant ainsi les objets fragiles[63]. Ce mode de conditionnement a été choisi comme base pour le mouvement, la cloche, le pendule et le baromètre. Ils sont calés sur des plateaux faits de carton ondulé et de mousse de polyéthylène.

Il était important de tenir compte de la volonté de Jean-Michel Piguet, conservateur au MIH et en charge de l'horloge Leroy, de conserver à l'avenir les éléments de l'horloge Leroy sur palette. A cause de leur taille, ils devront être séparés sur deux palettes. Ce mode de stockage permet de rassembler les éléments et d'éviter le risque de dissociation. Le problème est que mis en réserve ainsi, les éléments sont dans un environnement ouvert et se trouveront donc exposés à la poussière. En plus d'engendrer des salissures, la poussière favorise la dégradation des matériaux, en particulier des métaux car elle retient l'humidité et peut contenir des polluants en milieu urbain[64]. De ce fait, il est

[60] Barclay *et al.*, 1998, p.4.
[61] Voir Annexe 6, p.86.
[62] Illes, 2004, p.21.
[63] Illes, 2004, p.22.
[64] Logan, 2007a, p.2.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

nécessaire de prévoir des couvercles ou des boîtes dans lesquels s'insèrent les plateaux. Cependant, les conditionnements fermés ont le désavantage de masquer l'objet, ce qui entraine des manipulations intempestives pour connaitre le contenu de la boîte, augmentant ainsi le risque de chute. Il était donc nécessaire de rendre les éléments de l'objet visibles tout en proposant un conditionnement fermé. Pour cela, le carton ondulé dans lequel les boîtes sont fabriquées a été découpé afin d'ouvrir des fenêtres. Celles-ci sont recouvertes d'un film de PP transparent, du film Escal®, cousu avec un fil de coton non acide.

En l'absence de numéro d'inventaire, les conditionnements sont marqués avec un code d'indentification afin d'aider à limiter la dissociation. Celui proposé ici est « Leroy » suivit du numéro de l'élément et du nombre total de pièces. S'il s'agit de la pièce numéro 1, cela donnera donc : « Leroy 1/6 ». Cette annotation est inscrite au crayon à mine de graphite. L'avantage du crayon est qu'il peut être gommé en cas de changement de numérotation. L'inscription se fait directement sur le conditionnement et non sur une étiquette qui pourrait se décoller avec le temps[65].

3.2. Choix des matériaux pour la fabrication des conditionnements

3.2.1. Matériaux de structure et de matelassage

Les plateaux, couvercles et boîtes des conditionnements pour la mise en réserve sont faits de carton ondulé non acide et non de polypropylène. Le carton ondulé fut privilégié, car il est plus rigide et se déforme moins. Cependant sa structure lui permet d'avoir une bonne capacité antichoc[66]. De plus, lors du test d'Oddy[67] il s'est révélé qu'un constituant du PP doit favoriser la corrosion de l'acier. Donc par précaution, l'emploi de ce matériau a été évité. De plus, le carton étant un matériau tampon absorbant l'humidité, il aidera à éviter la variation de l'humidité relative dans le conditionnement, ainsi que la formation de condensation en cas de variation extrême de température[68]. Le film Escal® a été choisit car c'est un film barrière épais, résistant à la déchirure et donc pouvant être cousu. De plus il est très transparent et imperméable[69].

Pour le matelassage, deux types de mousses de PE ont été employés : de l'Ethafoam® blanche[70], ainsi que de la mousse de PE lisse de 0,2 cm d'épaisseur. Celle-ci sert à recouvrir l'Ethafoam® dont les bords coupés sont abrasifs et peuvent laisser des marques sur les objets[71]. Si l'objet est de poids important la mousse s'écrasera[72]. Son épaisseur doit donc être prévue en conséquence. La mousse de PE permet d'amortir les vibrations et chocs qui pourraient subvenir lors de la mise en réserve[73]. Par

[65] Préserv'Art, 2004 [en ligne].
[66] Illes, 2004, p.99.
[67] Voir Annexe 6, Chapitre II, p.88.
[68] Préserv'art, 2004 [en ligne].
[69] Shiner, 2009 [en ligne].
[70] Voir Annexe 3, chapitre III, p.76.
[71] Barclay *et al.*, 1998, p.11.
[72] Barclay *et al.*, 1998, p.11.
[73] Illes, 2004, p.80.

exemple lorsque des objets rangés à proximité sur la structure de rangement sont manipulés. Cela est nécessaire pour les objets comprenant des matériaux fragiles ainsi que pour le mécanisme du mouvement.

3.2.2. Matériaux et techniques d'assemblage

Les types d'assemblages pour les conditionnements à long terme sont restreints. Les adhésifs sont proscrits, car en fonction de leur composition ils émettent des composés tels que des sulfures, des acides ou des composés chlorés[74]. Toutes les attaches métalliques sont également à proscrire, surtout si elles sont proches de l'objet. Elles peuvent être la source de rayures, d'empreinte et causer des taches de rouille[75]. De ce fait, les seuls moyens d'assemblage adaptés sont la couture au moyen d'un fil de coton non acide, le thermocollage de la mousse à la chaleur, les rivets de PP et les attaches Velcro®. Bien que pour celles-ci le résultat au test d'Oddy est moyen. Donc un contact rapproché avec l'objet doit être évité.

3.3. Conditionnements pour la conservation à long terme

Elément	Matériaux	Type de conditionnement
Mouvement	Carton ondulé non acide. Film Escal® Mousse de PE de 5 cm d'épaisseur et mousse fine de PE de 2 mm. Ruban de coton non acide Velcro®	Plateau et boîte de carton ondulé. Film de PE recouvrant les ouvertures. Objet posé dans la mousse PE creusée et tenu avec du ruban de coton.
Cloche	Carton ondulé non acide. Film Escal® Mousse de PE de 5 cm d'épaisseur et mousse fine de PE de 2 mm. Velcro®	Plateau et boîte de carton ondulé. Film de PE recouvrant les ouvertures. Objet posé et maintenu dans la mousse PE creusée.
Baromètre	Bouteille de PE Carton ondulé non acide Film Escal® Mousse de PE de 5 cm d'épaisseur et mousse fine de PE de 2 mm. Ruban de coton non acide Velcro®	Plateau et couvercle de carton ondulé. Film de PE recouvrant les ouvertures. Objet posé et maintenu avec de la mousse de PE creusée. Le tout maintenu par du ruban de coton.
Pendule	Carton non acide Film Film Escal® Mousse de PE de 5 cm d'épaisseur et mousse fine de PE de 2 mm.	Plateau et couvercle de carton ondulé. Film de PE recouvrant les ouvertures. Objet posé et maintenu dans de la mousse creusée.
Colonne	Palette de PP ou PE Mousse de PE de 5 cm d'épaisseur et mousse fine de PE de 2 mm. Ruban de coton non acide	Objet posé sur une palette de PP ou PE. Fils électriques et tube immobilisés dans de la mousse fine de PE nouée avec du ruban de coton.
Anneau	Palette de PP ou PE	Objet posé sur une palette de PP ou PE.

Tableau 1 : Récapitulatif par élément de l'horloge des matériaux utilisés par conditionnement et descriptifs sommaire de ceux-ci.

A. Vecten © HECR-Arc, 2013

[74] Tétreault, 1992, p.173.

[75] Illes, 2004, p.21.

3.2.3. Mouvement

Pour sa protection, sa mise en réserve et son déplacement, le mouvement de l'horloge Leroy est posé dans un plateau composé de mousse de PE Ethafoam® de 5 cm d'épaisseur et de carton cannelé non acide[76]. Le fond du plateau est renforcé afin de ne pas plier et supporter le poids du mouvement. Pour cela sont superposées trois couches de carton ondulé non acide, dont les cannelures sont orientées perpendiculairement, ce qui lui confère une meilleure rigidité[77]. Pour éviter une déformation du plateau et le renforcer, les côtés sont faits de deux épaisseurs de carton ondulé. L'aire du fond plateau et de la base de la boîte sont les mêmes et la hauteur du plateau l'empêche de basculer à l'intérieur du conditionnement. La boîte est fermée par un rabat sur lequel sont cousues deux attaches Velcro®.

Figure 18 : Mouvement de l'horloge Leroy fixé dans son plateau et placé dans le conditionnement pour la mise en réserve ouvert.

A. Vecten © HECR-Arc, 2013

La mousse de PE est creusée afin d'y insérer la base du mouvement. La mousse fine est cousue dans la contre forme. Un bloc d'Ethafoam® servant à soutenir la lunette est thermosoudé à la mousse du fond du plateau. Afin de maintenir cet élément et lui éviter de tourner, son autre extrémité est calée par plusieurs épaisseurs de mousse fine, cousues afin de former un demi-cercle.

Même si le mouvement est stable, pour éviter tout risque de basculement lors d'un déplacement avec le plateau, la base du mouvement est attachée par quatre rubans de coton non acide. Ces rubans sont insérés dans la mousse et le renfort du plateau. Cela est aussi d'utilité pour le transport véhiculé du mouvement.

Figure 19 : Lunette calée par les différentes mousses de PE.

A. Vecten © HECR-Arc, 2013

[76] Voir Annexe 4, Chapitre I, Figure 60, p.79.

[77] Préserv'art, 2004 [en ligne].

3.2.4. Cloche

La cloche est conditionnée à la verticale, dans la position dans laquelle elle est conçue pour être utilisée. C'est dans cette position qu'elle est la plus résistante aux chocs. De plus, si elle était couchée elle risquerait de rouler. Le cristal est sensible aux vibrations et secousses[78], il est donc nécessaire que la cloche soit posée sur une mousse de PE qui les amortira. Il est aussi essentiel d'empêcher que le verre puisse s'entrechoquer avec un autre élément.

A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 20 : Cloche calée dans le conditionnement pour la mise en réserve.

Le conditionnement de cloche de verre, consiste en la création d'un plateau fait de carton cannelé non acide et de mousse de PE Ethafoam® de 5 cm d'épaisseur[79]. Le fond du plateau est doublé avec deux épaisseurs de carton ondulé pour le rendre plus résistant à la pliure. Les côtés du plateau sont aussi rabattus afin de les doubler et d'augmenter leur résistance.

Il n'était pas envisageable de creuser la mousse à la base de la cloche pour la caler. Le produit de graissage se trouvant à la base de la cloche s'enlève lorsqu'il est touché. Or, cet élément fait parti de l'objet et ne doit pas être ôté.

Pour maintenir la cloche en place, deux blocs de mousse de PE de 4 cm d'épaisseur ont été taillés en forme d'anneaux. La partie coupée est recouverte d'une mousse fine de PE. Ces deux anneaux sont glissés sur la cloche par le haut de l'objet. Des blocs de mousses de PE sont thermo soudés dans les angles, à la base et à l'anneau supérieur afin que les éléments de mousse gardent toujours le même espacement. Les éléments de calage de la cloche ont des dimensions plus grandes que celle du plateau afin de prendre appui sur les faces internes de la boîte. Ainsi maintenue, la cloche ne peut pas basculer.

Cependant, la cloche doit obligatoirement être déplacée dans la boîte entière et non uniquement sur le plateau. Mais le plateau peut être glissé sans risque pour sortir l'élément de son conditionnement, la cloche est assez stable pour ce genre de manipulation.

[78] Note de l'ICC 5/1, 2007, p.3.

[79] Voir Annexe 4, Chapitre I, Figure 62, p.80.

3.2.5. Pendule

Le pendule est placé dans un plateau faisant office de base pour une boîte, un couvercle s'emboîte dessus. Le pendule doit être posé sur une surface rigide pour éviter qu'il ne plie lorsqu'il est manipulé avec son conditionnement. Un matériau offrant une grande rigidité est le bois. Or comme constaté lors du test d'Oddy[80] il émet des composés organiques volatils comme le formaldéhyde[81]. Ceux-ci accélèrent la corrosion des métaux. L'alternative afin d'obtenir une surface rigide est d'empiler quatre épaisseurs de carton cannelé non acide, dont les cannelures sont placées perpendiculairement les unes des autres[82]. Dans ce cas, quatre plaques de carton ondulées sont empilées, ce qui donne une épaisseur de 1,2 cm de carton au fond du conditionnement. En ajoutant le carton du fond du plateau se déformant peu grâce aux côtés doublés du plateau, le pendule est protégé de risque de pliure de la tige.

A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 21 : Conditionnement du pendule sans et avec le couvercle.

Le pendule doit être posé sur des mousses de PE Ethafoam® creusées afin d'épouser sa forme et être parfaitement soutenu à l'horizontale. Cela évitera que la tige ne se plie. Ce qui engendrerait une altération de l'angle d'oscillation et la précision de l'horloge serait changé si l'horloge était remise en fonction. Cependant, le poids doit peser à lui seul dans les 7 kg environ, sur les 8 kg que fait le pendule. Vu que l'aire en contact avec le mousse est faible pour ce poids, la mousse s'écraser avec le temps et ne le soutiendrait plus correctement. Afin de limiter cet écrasement, l'épaisseur de la mousse est réduite à cet emplacement. La mousse de PE sert surtout à maintenir l'objet en place, les vibrations seront moins réduites mais cet élément est moins sensible à ce facteur de dégradation. Le

[80] Voir Annexe 6, Chapitre II, p.89.
[81] Tétreault, 1999, p.7.
[82] Voir Annexe 4, Chapitre I, Figure 61, p.79.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

soutien principal du poids est le carton ondulé se trouvant sous la mousse, il va peu s'écraser avec le temps et offrira le soutien nécessaire.

Le pendule est stable dans le conditionnement et roule difficilement sur lui-même, surtout qu'il comporte un élément ayant une section carrée. Mais par sécurité, le pendule est immobilisé par des blocs de mousse de PE qui l'encapsulent à deux emplacements. La mousse creusée à la forme du pendule, permet aussi de maintenir le poids en place. Celui-ci n'étant pas fixe, il glisse sur la tige lorsque le pendule est manipulé. L'immobiliser permet d'éviter des dégradations de la tige comme des griffures, mais aussi d'être déstabilisé lors du transport engendrant un risque de chute de l'objet.

3.2.6. Baromètre

Le baromètre ne peut être couché à cause du mercure qu'il contient. Le tube n'est pas fermé hermétiquement. De plus, posé à l'horizontal des bulles d'air se formeraient dans le tube, faussant ainsi les mesures[83]. Le baromètre doit soit être stocké à la verticale, soit être conditionné à l'horizontal s'il est vide. Le conditionnement pour la mise en réserve doit être fonctionnel pour les deux possibilités.

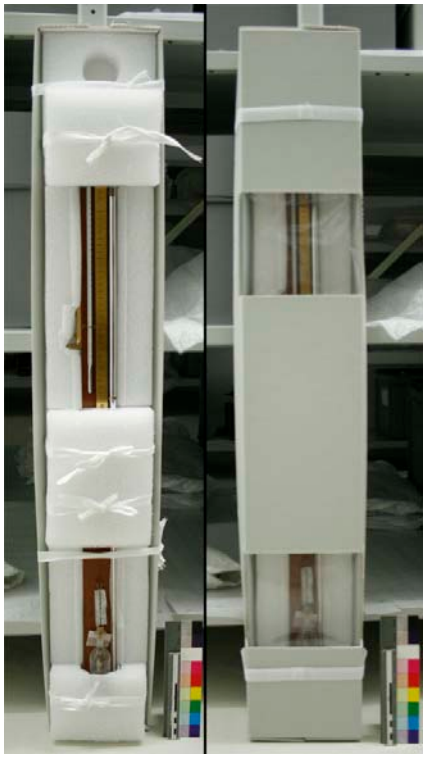

A. Vecten © HECR-Arc, 2013

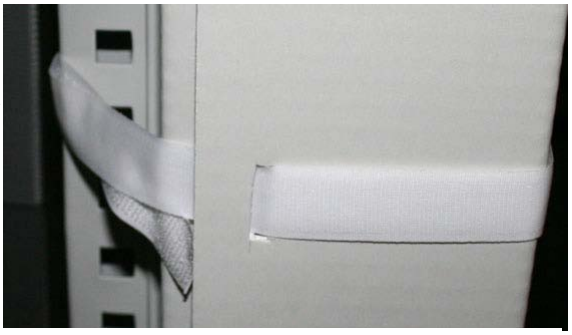
Figure 22 : Conditionnement du baromètre sans et avec le couvercle.

Dans les deux cas le baromètre est placé dans une contre forme de mousse de PE d'Ethafoam®, insérée dans un plateau fait de carton ondulé non acide, dont les bords sont doublés[84]. Un couvercle vient fermer l'ensemble. Le baromètre est calé dans une mousse de PE de 5 cm d'épaisseur, creusée à la forme de l'objet. Le baromètre est tenu dans le conditionnement avec trois blocs de mousse de PE creusés à la forme de la sur face de l'objet. Ceux-ci encapsulent les deux extrémités du baromètre, ainsi que son centre. Afin d'être toujours correctement positionnés, les blocs de mousses s'emboîtent dans la mousse de PE située sous l'objet, au niveau des points de préhension. Ceci évite aussi que ces blocs ne glissent en position verticale. En plus de maintenir le baromètre plaqué dans son conditionnement, ils servent aussi en cas de chute à éviter que ce soit les tubes de verres qui tapent le sol. En position verticale, les mousses d'Ethafoam® se courbent et ce même si le baromètre est inséré à l'intérieur. Cela s'est passé avec le conditionnement temporaire, en l'espace d'un mois la mousse s'est courbée. Ce problème est évité par l'usage de rubans de coton non acide qui maintiennent le baromètre au plateau. Ces liens passent à l'extérieur du plateau de carton ondulé, entourent la mousse et sont noués sur le devant de l'objet, pour pouvoir les défaire sans avoir à

[83] Information donnée par Jean-Michel Piguet, (Conservateur, Musée international d'horlogerie de La Chaux-de-Fonds), lors d'un entretient daté du 30 avril 2013.

[84] Voir Annexe 4, Chapitre I, Figure 63, p.81.

manipuler le baromètre. Afin de rigidifier l'ensemble, le fond du plateau est doublé avec deux plaques de carton ondulé, dont les cannelures sont croisées.



A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 23 : Attache Velcro® du conditionnement attaché à un montant d'étagère. Le couvercle est perforé pour permettre son passage.

Dans la solution où le baromètre doit être conditionné à la verticale, il est nécessaire que le conditionnement le maintienne dans cette position tout en lui évitant le risque de chute. L'aire de la base du conditionnement est trop faible pour que le tout puisse être posé à la verticale. Il est donc nécessaire de le fixer à un montant vertical d'étagère. Pour cela sont utilisées deux attaches Velcro® qui entourent le conditionnement. La base du conditionnement doit toutefois être posée pour éviter que le poids de l'objet et du conditionnement repose uniquement sur ces attaches. Le poids total de l'objet et de son conditionnement est d'environ 3 kg, la surface de contact entre les attaches Velcro®, est d'environ 15 cm. De ce fait il est nécessaire de forcer pour les séparer et le risque qu'elles se décrochent toutes seules est faible. Toutefois, il sera indispensable de les contrôler régulièrement pour une sécurité optimum. Ces attaches devaient être insérées dans le conditionnement et passer sur les blocs de mousse pour assurer un bon maintient du baromètre. Mais lors du test d'Oddy le résultat obtenu avec le Velcro® était moyen. Ces attaches sont donc placées à l'extérieur sur le couvercle. Pour éviter que les attaches ne glissent, des perforations ont été pratiquées dans le couvercle afin d'y insérer les Velcro®.

Lorsque le baromètre doit être stocké à l'horizontal, il doit être vidé du mercure qu'il contient. Le mercure est placé dans un récipient fermé hermétiquement qui ne peut pas être cassé[85]. Il est possible d'employer une bouteille de PP ou de PE dont le bouchon se visse. La bouteille est ensuite étiquetée et placée à côté du baromètre dans un trou creusé dans la mousse. La capacité de la bouteille est de 125 ml, celle-ci a été décidée après estimation et calculs du volume de mercure présent dans le baromètre. Le fait de coucher le baromètre a aussi des avantages. Cela permet d'éviter le risque de chute lié à la position verticale, qui même faible reste présent en cas de mauvaises manipulations. La position horizontale doit être utilisée lorsqu'aucun montant d'étagère n'est assez haut pour attacher le conditionnement.

Dans tous les cas doit figurer sur le conditionnement que le baromètre contient du mercure et que l'objet ne doit pas être changé de position[86]. Ceci prévient les risques de déversement du mercure.

[85] Martin et Winsor, 2006 [en ligne].

[86] Note de l'ICC 1/7, 2002, p.2. Paine (éd.), 1994, p.53.

3.2.7. Colonne

La colonne est posée sur sa base en position verticale. Celle-ci est assez large pour que cet élément soit stable. De part son poids, 50 kg, il est difficile de la déplacer et donc de la faire tomber accidentellement en la bousculant. Cependant, cet élément ne doit pas être posé à même le sol. La colonne doit être posée sur une palette, ce qui la surélève d'une dizaine de centimètres. Ceci est une protection en cas de fuite d'eau ou lors du nettoyage du sol de la réserve[87]. Il est aussi moins risqué de la cogner accidentellement, la palette évitant de s'approcher proche de l'objet.

Cependant, il est nécessaire d'éviter le contact direct entre le bois de la palette et l'acier de la colonne, qui de plus n'est pas peint sur sa base. En fonction de leur ancienneté et de leur essence, les bois relâchent des taux variables de composés organiques volatils et de substances acides telles que l'acide acétique[88]. De plus le bois composant les palettes subit un traitement ayant pour but d'éliminer les insectes xylophages qu'il pourrait contenir. Ceci afin d'éviter leur diffusion d'un pays à l'autre lors de transport internationaux[89]. Lors du test d'Oddy, il a pu être constaté que le phénomène de corrosion est fortement accéléré sur les métaux en contact ou en environnement fermé[90] avec du bois provenant de deux palettes.

Afin d'éviter la dégradation de l'acier de la colonne, la meilleure solution consiste à utiliser une palette en PP ou en PE. Toutefois, toutes ne conviennent pas et il est préférable de la choisir de couleur blanche exemptes de colorant, grise ou noire. Dans ce cas la couleur est obtenue par de la poudre de carbone. Les PE ou PP d'autres couleurs renferment un additif instable, ils ne doivent donc pas être utilisés en conservation[91].

Dans le cas où il n'est pas possible d'utiliser durant une période une palette de bois, des moyens existent afin de palier le risque d'accélération de la corrosion. Déjà il est préférable de choisir une palette ayant été traitée à chaud et non fumigé au bromure de Méthyle. Pour cela il faut choisir une palette ayant un marquage ne comportant pas les initiales MB[92]. Pour bloquer les composés émis par le bois, un film barrière plastique doit être intercalé entre la palette et l'objet[93]. D'ailleurs lors du test d'Oddy, le fait d'intercaler un film Escal®, composé de PE et de PP, entre la plaque d'acier et le bois a eu pour effet ralentir le transfert des composés. Plus le film est imperméable plus le transfert des composés que le bois émet sera lent. Mais il ne sera jamais entièrement bloqué[94]. Un type de film qui est adapté à cet usage est le Marveseal® composé de PE et d'aluminium[95]. Mais même avec une

[87] Paine (éd.), 1994, p.53.
[88] Tétreault, 1999, p.7.
[89] Norme Ispm 15, p.7.
[90] Voir Annexe 6, chapitre II p.88.
[91] Schlichting, 1994, p.1.
[92] Norme Ispm 15, p.17.
[93] Paine (éd.), 1994, p.57.
[94] Tétreault, [en ligne], 1994.
[95] Paine (éd.), 1994, p. 129.

Rapport-Gratuit.com

protection, il serait dans tous les cas préférable d'éviter d'utiliser dans une réserve un matériau qui nécessite l'emploi d'un pare vapeur[96].

A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 24 : Tube et fils de PVC emballés dans une mousse de PE fine de 2 mm d'épaisseur, non hermétique.

Le tube et les fils à l'intérieur de la colonne sont emballés dans une mousse fine de PE de 2 mm d'épaisseur, attachée par deux rubans de coton noués. Le conditionnement n'est pas hermétique et comporte une ouverte pour ne pas emprisonner les composés émis par le PVC des gaines de fils électriques. Le tube est placé de telle sorte que les deux extrémités de celui-ci, recouvertes de deux épaisseurs de mousse fine, touches les parois intérieures. Le tube est ainsi calé et ne peut pas cogner contre la paroi interne. Cela pourrait engendrer des dommages mécaniques au tube et à la paroi de la colonne.

3.2.8. Anneau

L'anneau doit être posé sur la partie le fixant au mur. C'est sa seule surface plate et stable. L'anneau a un poids important, 20 kg et est de taille réduite. De ce fait, son centre de gravité est bas et même volontairement, il est difficile de le faire basculer. L'anneau n'est pas un objet fragile qui nécessite un support pour son maintien structurel. Il ne comporte pas non plus de mécanismes ou d'éléments fragiles.

Il n'est pas envisageable d'intercaler entre l'anneau et la palette une mousse de PE de 5 mm d'épaisseur afin d'atténuer les vibrations et chocs. Celle-ci s'écraserait rapidement et n'aurait plus aucune utilité. Elle devrait être changée presque tous les mois, engendrant ainsi des risques de dégradation à cause des manipulations. Cet élément n'a donc pas besoin d'un conditionnement spécifique. Il doit seulement être posé sur le même type de palette que la colonne.

3.4. Discussion sur les conditionnements

Différents types de conditionnements et de possibilités sont envisageables afin de réaliser les conditionnements. Certaines étant un risque pour l'intégrité de l'objet, il est nécessaire choisir la solution semblant être la meilleure.

Afin d'éviter totalement le risque de dissociation, l'horloge pourrait être mise en réserve montée. Or cette possibilité n'est pas réalisable. L'anneau de fixation ne pourrait être stocké monté, car il n'est pas fixé à la colonne. En position de marche, elle est seulement posée sur celui-ci. Il serait donc obligatoire de séparer cet élément. La colonne a été conçue pour être fixée à un mur et non pour être posée sur sa base. Même si cela est peu probable de part sa grande stabilité, si la colonne venait à chuter cela engendrerait d'importantes dégradations des éléments qui la constituent.

[96] Tétreault, 1993 [en ligne].

Monté, le mouvement ne serait pas protégé des vibrations. Lorsqu'elle était en utilisation, le lieu où elle était située préservait l'horloge des vibrations. Fixée à un mur construit à même la roche, l'horloge ne subissait pas les vibrations venant du sol. De plus, de par la proximité des éléments à cause de leur taille et de leur ajustement précis, il ne serait pas possible d'intercaler des calages entre ceux-ci.

Si l'horloge ne peut être conditionnée montée, l'idée de ranger des éléments ensemble a été envisagée mais pour la protection des objets, aucun agencement n'était satisfaisant. La première solution est de conditionner ensemble le mouvement, la cloche, le pendule et le baromètre dans une même boîte. Or ces éléments sont de dimensions et de poids différents. Il serait donc difficile de concevoir un conditionnement pouvant parfaitement les caler. Son design serait compliqué. De plus le conditionnement ne pourrait pas être manipulé. Si un élément doit être étudié, il serait nécessaire de le sortir du conditionnement. Son aide à la manipulation des objets serait nulle. De plus, dans le cas du pendule un support temporaire pour le poser devrait être à chaque fois réalisé. Le fait de régulièrement manipuler la cloche et de la poser sur plusieurs surfaces entrainerait un enlèvement du produit de graissage. Concernant le baromètre, son conditionnement devrait obligatoirement se faire à plat. De ce fait il serait obligatoire d'en ôter définitivement le mercure, aucune autre possibilité ne serait envisageable.

Pour des raisons de dimension, la cloche et le mouvement pourraient être conditionné ensemble. Ces éléments seraient assemblés dans la même position que lors du fonctionnement de l'horloge Leroy. Ce que la littérature déconseille, les objets en verre conditionnés seuls ayant un risque plus faible de casse[97]. D'ailleurs cette solution comporte plusieurs désavantages. Si le mouvement doit être sorti du conditionnement afin d'être parfaitement visible, il est obligatoire de déplacer la cloche de verre. Lors de cette manipulation, elle risque d'être cognée contre le mouvement, ce qui pourrait engendrer des dégradations mécaniques du verre. De plus, en cas de contact le produit de graissage situé à la base de la cloche se déposera sur le mouvement. En plus d'une perte de matière, cela provoquera des salissures qu'il sera nécessaire de nettoyer.

En plus des problèmes de manipulation, il sera indispensable de reconditionner ces deux éléments pour le transport. Or, les conditionnements proposés pour la mise en réserve sont conçus pour être aussi utilisés lors du transport. Ceci pour un gain de place de stockage, de temps et d'argent. Les deux éléments ont un diamètre proche et la lunette fixée à la base du mouvement réduit l'espace entre eux à 1 cm de l'extrémité du microscope à la cloche. En décalant la cloche afin d'égaliser les espaces, l'interstice serait en moyenne de 2 cm. La mousse devant être intercalée entre les deux éléments serait donc fine et risquerait de ne pas correctement amortir les chocs si l'un des éléments se déplace. De plus, il serait difficile de thermo-souder ou coudre une mousse sur une aire aussi petite et donc elle s'arracherait facilement lors de la manipulation des deux éléments.

Deux autres éléments qui pourraient être conditionnés ensemble sont la colonne et l'anneau de fonte. La colonne en position couché est insérée dans l'anneau posé sur sa surface plate et fixée par les vis

[97] Alcouffe, 2001, p.97.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

prévues à cet effet. Cette position permet d'offrir une meilleure stabilité si la palette sur laquelle sont posés les éléments vient à être manipulée. La colonne est soutenue au niveau de sa base afin qu'elle soit parfaitement horizontale et qu'aucune tension ne se produise sur les éléments d'assemblage. Ceux-ci n'étant pas conçus pour supporter le poids de la colonne dans cette position, ils pourraient se tordre. La colonne pèse dans les 50 kg, donc le matériau de soutien devrait être très résistant à l'écrasement. De simples blocs de mousse de PE Ethafoam® s'écraseraient sous le poids de la colonne et il serait nécessaire les changer très régulièrement car ils n'offriraient plus le soutien désiré. Une mousse du ce type ayant été utilisée afin de caler provisoirement l'anneau de fonte s'est enfoncée d'environ 1,5 cm en l'espace de deux mois. Or l'anneau ne fait que 20 kg. Il est possible de déduire qu'il faudrait changer la mousse tous les mois, ce qui engendre trop de temps de main d'œuvre. Une alternative est d'utiliser des cales de bois recouvertes d'une mousse fine de PE[98]. Cependant le bois émettant des composés favorisant la corrosion des métaux, même si les blocs sont emballés, le risque qu'ils atteignent la colonne reste présent. L'emballage des cales doit être hermétique. Pour cela, un film plastique coupe vapeur est scellé à la chaleur sur le bois[99]. Cependant il reste préférable d'éviter d'utiliser pour la mise en réserve des matériaux nocifs pour ceux constituants les objets[100]. Lorsqu'une alternative est possible, il vaut mieux privilégier celle-ci.

La colonne seule pourrait être mise en réserve posée horizontalement sur trois blocs d'Ethafoam® de 11 cm de hauteur et 15 cm de longueur, aussi employés pour le transport[101]. Le tout est posé sur une palette de PP ou PE. Cela permettant la manipulation de la palette avec l'objet dessus. Cependant il n'existe aucun moyen de savoir si en s'écrasant les éléments de calage vont se déformer et ainsi compromettre la stabilité de la colonne.

Concernant d'autres alternatives de conditionnement individuel, celui de la cloche aurait pu être différent. Il avait été envisagé de fabriquer une contre forme de mousse de PE s'insérant dans celle-ci. Le sommet de la cloche, à l'intérieur, se poserait sur la mousse. Cette contre forme de mousse doit être d'un diamètre inférieur à l'objet pour ne pas risquer de toucher ses parois. La cloche ne touchant pas le plateau serait calée aux moyens de deux anneaux d'Ethafoam®, comme c'est le cas actuellement, pour ne pas basculer. Ce design de la mousse permettrait de totalement empêcher le contact de la surface graissée avec le conditionnement et donc de la préserver. Cependant, le risque de basculement de la cloche si elle doit être sortie du conditionnement est important. Surtout que sous le poids de la cloche, la mousse va se tasser avec le temps et risque de pencher. De plus, la cloche n'est pas conçue pour être maintenue à son sommet. Il est possible que cela n'engendre aucune dégradation mais ce n'est pas une certitude.

[98] Rémillard, 1995 [en ligne].
[99] Tétreault, 1999, p.10.
[100] Tétreault, 1993 [en ligne].
[101] Voir Annexe 4, Chapitre II, Figure 68, p.82.

Pour la mise en réserve, le poids du pendule et le poulet* de réglage pourraient être séparés de la tige. Cela éviterait que le poids glisse sur la tige lorsque le pendule est sorti de son conditionnement, ainsi que le risque que la tige ne plie si les matériaux de soutien se tassent. Mais le mandat est de limiter le risque de dissociation, démonter le poids créerait un élément de plus. L'opération de démontage nécessiterait de dévisser le poulet de réglage, or cet élément est fortement corrodé et n'a pas été dévissé depuis des années. Il est fort probable qu'il reste grippé, il serait donc nécessaire d'aider le dévissage en le lubrifiant avec un produit dont on ne connait pas l'impact sur les métaux. Ses résidus pourraient, s'ils sont mal nettoyés, accélérer le phénomène de corrosion. De plus le fait de forcer sur le poulet entrainerait sûrement des dégradations de cet élément, comme des griffures et des marques d'enfoncement dans le métal.

Il était aussi envisagé de coucher la colonne pour sa mise en réserve, afin d'éviter totalement le risque de chute. Cela permet aussi de déplacer la palette avec la colonne dessus, ce qui n'est pas envisageable de faire si la colonne est debout. Le risque de chute est trop grand. Vu que la colonne a une section circulaire, il faut qu'elle soit stabilisée par des cales de mousse de PE de grande épaisseur[102]. Celles-ci doivent être fixées à l'élément pour ne pas risquer de glisser et rouler. Le problème dû au fait de poser la colonne à l'horizontale est qu'avec les cales, cet élément prend plus de la moitié de la surface d'une palette. Cela empêcherait le stockage ensemble de la colonne et de l'anneau, ce qui engendrerait une perte de place et augmenterai le risque de dissociation de ces éléments en risquant de les ranger à des emplacements différents dans la réserve.

4. Transport

Les transports sont source de nombreux dommages pour les collections muséales. Les transports de l'horloge Leroy vont s'effectuer sur de courtes distances, la plus longue étant entre Neuchâtel et La Chaux-de-Fonds, soit environ 20 Km. Le déplacement s'effectuera par la route avec un camion. De tous les modes de transport existant ce sont justement les véhicules routiers qui sont la plus grande source de vibrations[103]. Elles sont dues au moteur, à la qualité des amortisseurs et à celle de la route. Se produisent aussi des chocs courts et de faible intensité, comme vu lors d'un test[104], mais de façon répétée. Comme les vibrations, ils peuvent être source d'abrasion[105]. Des chocs de plus forte intensité peuvent subvenir en cas d'accident, de décélération brusque ou si les éléments ne sont pas correctement arrimés.

Cependant le fait d'utiliser uniquement un camion pour le transport a l'avantage de limiter le nombre de personnes intermédiaires devant manipuler les objets[106]. Or, les moments les plus critiques du

[102] Paine (éd.), 1994, p.57.
[103] Marcon, 2011b [en ligne].
[104] Voir Annexe 7, Figure 77, p.94.
[105] Marcon, 2011c [en ligne].
[106] Marcon, 1992, p. 214.

transport sont surtout périodes où les objets sont manipulés. Le choc produit par la chute est le plus important qui puisse subvenir[107].

A cause de tous ces risques de dommage mécanique, il est nécessaire de concevoir un conditionnement adapté, avec des matériaux de calage maintenant correctement les objets, tout en atténuant au maximum l'intensité des chocs et l'amplitude des vibrations. Cela est très important dans le cas de l'horloge Leroy qui comporte des parties mobiles et des matériaux fragiles.

Un autre problème de cet objet reste le risque de dissociation des éléments s'ils sont transportés séparément. Surtout dans le cadre du déménagement des réserves du MIH. Le risque est que séparés lors du transport, les éléments ne soient pas par la suite rangés ensemble lors de la mise en réserve.

4.1. Dommages liés au transport

Risque	Dégât	Phase du transport	Moyen d'y remédier
Exposition à l'eau	Déformations des matériaux organiques, corrosion des métaux	Transport dans le véhicule Chargement et déchargement.	Recouvrir les objets. Utiliser des matériaux imperméables à l'extérieur des conditionnements et les fermer. Réduire au maximum la distance en extérieur.
Choc	Casse, fissure, déformation, abrasion, désolidarisation des peintures.	Transport dans le véhicule. Chargement et déchargement.	Manutention correcte. Eléments de calage adaptés (taille/matériau). Arrimage correct dans le véhicule.
Chute	Casse, fissure, déformation, abrasion, désolidarisation des peintures.	Chargement et déchargement.	Manutention correcte. Eléments de calage adaptés (taille/matériau).
Variations thermiques	Déformations des matériaux organiques. Formation de condensations d'eau.	Transport dans le véhicule.	Utilisation de matériaux tampon. Ne pas choisir de jours trop chauds ou froids pour le déplacement.
Vibration	Casse, déplacement des éléments mobiles, dommages mécaniques à cause des chocs à répétition, désolidarisation des peintures.	Transport dans le véhicule.	Eléments de calage adaptés (taille/matériau).

A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Tableau 2 : Liste par ordre alphabétique des sources des dommages, leur impact, le moment où ils surviennent et le moyen d'y remédier.

L'horloge Leroy ne subira que des transports de faible distance, le niveau du danger est donc faible[108] en comparaison avec un long parcours. De plus, l'objet ne devant pas être changé de mode de

[107] Marcon, 1992, p. 212.

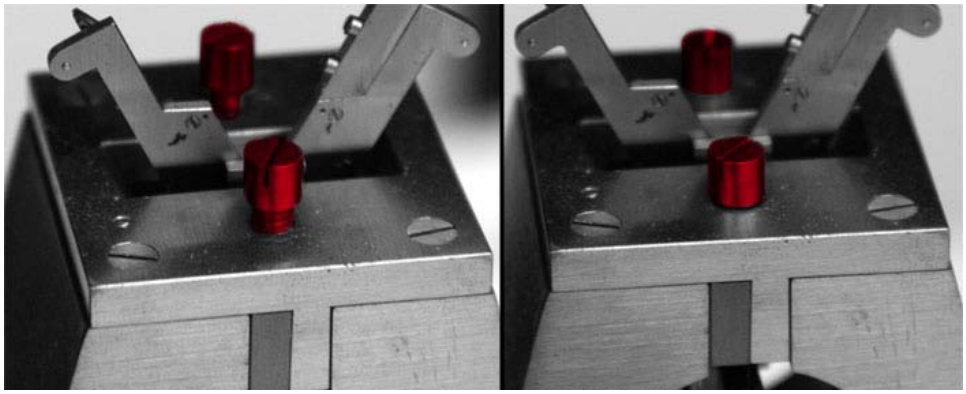
[108] Marcon, 2011c [en ligne].

transport, il sera moins manipulé. Cependant il restera soumis à une liste de risques potentiels de détérioration engendrés par les étapes du parcours. Ils doivent être pris en compte pour la conception des conditionnements.

4.2. Préparation de l'objet au transport

En amont d'un transport doit être fait un constat d'état détaillé[109]. C'est une preuve de l'état de l'objet avant son transport, pouvant être utilisé afin de constater si des dégâts sont apparus.

Dans le cas présent l'horloge Leroy est déjà démontée. Dans le cas contraire, il aurait été nécessaire de désassembler les éléments qui la composent, en particulier le pendule[110]. La cloche est seulement posée sur la colonne, donc elle se retire facilement. Le baromètre ainsi que le mouvement doivent être dévissés. Afin de démonter le pendule, il est nécessaire d'ôter le mouvement de sa base pour libérer l'accès à la lame* de suspension ainsi qu'à l'extrémité du pendule. Pour ce faire, il faut dévisser les deux grandes vis situées sous le mouvement, sur la partie centrale de la base. Ensuite, des leviers à aiguilles préalablement recouverts de ruban adhésif, sont glissés entre la base et le mouvement pour soulever ce dernier. Ce démontage donne aussi accès à l'échappement. Il est ainsi possible de l'immobiliser. Pour cela il suffit de visser les deux vis placées de chaque côté de celui-ci et qui permettent de le régler l'échappement. L'échappement est ainsi immobilisé pour le transport. L'échappement est une représentation caractéristique de la consigne d'utiliser préférablement le verrouillage prévu par le constructeur, plutôt que d'essayer de caler des éléments avec des calages compliqués[111].



A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 25 : les deux vis situées chaque côté de l'ancre de l'échappement. A gauche elles sont dévissées, l'ancre peut bouger et à gauche elles sont vissée, l'ancre est immobilisée.

Le démontage du mouvement doit être réalisé par des horlogers. Les éléments sont ajustés et s'emboîtent très précisément. Il est aisé de produire des déformations lors du démontage ainsi que de griffures et des enfoncements à cause l'usage d'outils inadaptés. En l'absence de l'outillage et des connaissances nécessaires pour le démontage il faut renoncer à celui-ci, car il pourrait entraîner de

[109] Voir Annexe 2, p.58

[110] Fahey, 2013 [en ligne].

[111] Illes, 2004, p.77.

graves dégâts[112]. Aucune autre partie du mouvement ne pourrait être immobilisée au moyen d'un mécanisme. Le mouvement doit être remonté sur sa base. Celui-ci n'a pas été conçu pour être posé sur ses platines. De plus, l'ancre de l'échappement restée sur la base se retrouve complètement à découvert. Cet élément est fragile et pourrait facilement être tordu, voir cassé.

Un autre élément mobile est la lunette à la base du mouvement, elle est immobilisée par le conditionnement pour la conservation à long terme. Pour la maintenir en position, la mousse de PE est creusée et ajustée à la forme de son extrémité basse. Le tube placé dans la colonne afin de rassembler les fils est aussi immobilisé par son conditionnement pour la mise en réserve.

Si l'immobilisation de pièces mobiles engendre un risque d'endommager le mécanisme si les cales ne sont pas facilement atteignables, il est préférable de compenser en utilisant un matériau de calage adapté qui isolera l'objet des vibrations et chocs[113]. Un exemple est le cas de la fine aiguille, non mobile mais pouvant être tordue. A cause du cadrant creux, il est impossible de caler un morceau de mousse derrière l'aiguille sans toucher un interrupteur. Les bascules et le levier ne bougent pas aisément et les roues sont immobilisées par l'échappement verrouillé. De ce fait l'usage d'un matériau de calage adapté semble suffisant.

Concernant le baromètre, des mousses fines de PE ou des morceaux d'Etafoam® coupés ont été intercalés dans les espaces entre le tube, le réservoir, la tige d'acier et le bois.

Le mouvement, la cloche, le pendule et le baromètre sont correctement calés dans leur conditionnement pour la mise en réserve, avant d'être rassemblé dans une même caisse. La colonne est insérée dans l'anneau lors de la mise en place des éléments de calage.

4.3. Choix des types de conditionnement

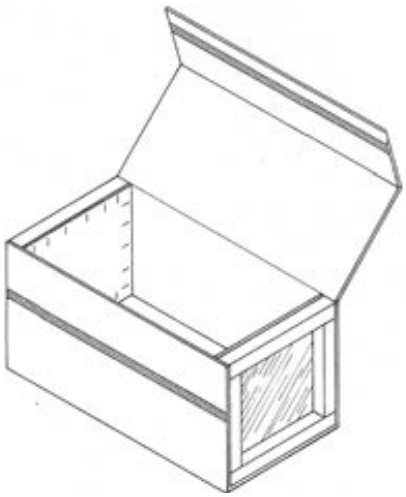
Pour des raisons de dimensions et de manutention les éléments de l'horloge Leroy sont répartis sur deux palettes. La première rassemble dans une même caisse le mouvement, la cloche, le pendule et le baromètre. Sur la seconde sont fixées à la colonne et l'anneau.

Tout conditionnement pour le transport nécessite un emballage primaire et des produits de calage atténuant les chocs et vibrations. L'emballage primaire protège l'objet de l'abrasion, de petits impacts, des projections d'eau et sert d'intermédiaire entre l'objet et les produits de calage[114]. Dans le cas d'objets fragiles, il est toutefois nécessaire de fabriquer un conditionnement secondaire dans lequel sont placés les emballages primaires.

Les trajets courts comprenant un seul véhicule entrainent peu de manipulations[115]. Il est toutefois nécessaire de réaliser une caisse permettant de protéger les plus petits éléments contre toutes les formes d'abrasion, de perforation et de déformations qui pourraient survenir durant le transport[116].

[112] Illes, 2004, p.77.
[113] Marcon, 2011c [en ligne].
[114] Marcon, 2011b [en ligne].
[115] Marcon, 2011c [en ligne].
[116] Marcon, 2011c [en ligne].

C'est aussi un moyen de caler les mousses de calage pour qu'elles ne bougent pas, ainsi que d'immobiliser les objets. Une caisse protège les objets des éraflures, de l'enfoncement ou encore de l'eau. Elle évite le risque de dissociation des éléments s'ils étaient placés dans des conditionnements individuels, comme des caisses de type Rako®. Toutefois, il n'est pas nécessaire de réaliser une caisse de transport lourde en bois. Utiliser une seule caisse de transport pour plusieurs objets permet aussi de réduire les coûts et le temps de mise en œuvre[117].



A. McGrew © Institut Canadien de conservation

Figure 26 : caisse de transport légère avec une structure en bois et des panneaux de carton brun, triple cannelures. (Note de l'ICC 1/4, 1997, p.1.)

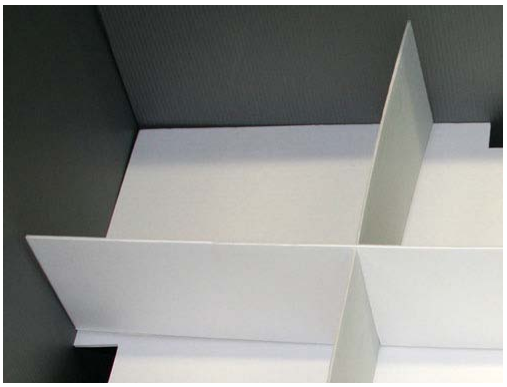
Le modèle de caisse proposé dans ce travail, s'inspire de la caisse de transport légère conçue par l'institut canadien de conservation[118], de part son concept et de celle fabriquée par Ashley McGrew[119] de par sa forme. Elles sont toutes les deux faites d'une armature de bois, sur laquelle sont fixés des panneaux de carton ondulé, une ou trois cannelures, au moyen de vis, d'agrafes ou de colle à bois[120]. C'est une caisse de transport solide, ne nécessitant pas l'intervention d'un menuisier. Or ces caisses de transport légères prennent donc une grande place de stockage. Or, l'horloge Leroy sera déplacée plusieurs fois et il n'est pas envisageable de devoir construire une caisse pour chaque transport. Le conditionnement doit être démontable afin que son stockage prenne le moins de place possible. Pour cela, la structure de bois a été remplacée par une structure en acier zingué perforée, pouvant être boulonnée. Cette structure est solide, et peut être sanglée sans dommages à une palette par 3 ou 4 Spansets®. Ceux-ci maintiennent le rabat de la caisse complètement fermé. Le carton est remplacé par du polypropylène[121]. La structure démontable permet aussi de pouvoir remplacer les panneaux si l'un d'eux venait à être endommagé.

Les conditionnements pour la mise en réserve et le transport ont été pensés comme un tout. Les objets sont placés dans la caisse de transport sans être sortis de leur conditionnement pour la mise en réserve. Ils font office d'emballage primaire et permettent la manipulation sans risque des éléments qu'ils contiennent[122], surtout s'ils sont fragiles ou devant être correctement soutenus. L'utilisation des conditionnements pour la mise en réserve permet la conception d'éléments de calages de formes simples, facilement positionnables et n'entrainant de ce fait moins des risque pour les objets de

[117] Marcon, 2011c [en ligne].
[118] Note de l'ICC 1/4, 1997, p.1.
[119] McGrew, 2010 [en ligne].
[120] Note de l'ICC 1/4, 1997, p.2.
[121] Voir Chapitre 4.4 Choix des matériaux pour les conditionnements, p.38.
[122] Marcon, 2011c [en ligne].

mauvaise manipulation[123]. Le principe de la double caisse est aussi un moyen de réduire l'impact du climat extérieur. Les matériaux de calages et les parois ralentissent la mise à niveau de la température externe et interne[124]. Dans le cas de trajets courts, ici au maximum 1 heure en incluant le temps de chargement, la température à l'intérieur des conditionnements diminuera donc peu.

Le conditionnement à l'intérieur de la caisse de transport n'a pas le besoin d'être très résistant aux impacts, surtout si l'objet est calé à l'intérieur de celle-ci[125]. Des mousses ayant une bonne résilience, des mousses de PE ou de PU selon la fragilité de l'objet, sont placées sur toutes les faces des boîtes afin d'absorber les chocs et vibration. Le type de mousse et ses dimensions sont calculés à l'aide d'outils d'aide à la décision, la règle de l'ICC et le logiciel PadCAD. Lors d'un impact les mousses maintiennent les boîtes en place mais n'empêchent pas leur mouvement. La boîte déplacée par le choc heurtera la mousse qui se comprimera et amortira l'impact. Le matériau absorbeur de choc reprend sa forme originelle après impact[126]. Par ailleurs, si le produit de calage n'est pas adapté, la boîte intérieure est trop violemment stoppée et l'objet qu'elle contient peut subir de graves dommages[127].



A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 27 : Assemblage de carton en croisillon et cloison horizontale.

Une mousse de calage n'est pas efficace si l'objet qu'elle protège peut se déplacer librement et se heurter entre eux[128]. Les mousses et les conditionnements doivent être calés. Entre les mousses sont donc placées des parois de carton ondulé non acide, servant à maintenir les éléments de calage en place, ainsi que les boîtes contenant les objets. Des assemblages en croisillon du même carton servent à remplir les espaces vides dans la caisse. Entre celles-ci et la mousse sont intercalées des parois de carton ondulé.

Le fond de la caisse n'est pas renforcé et le conditionnement n'est pas prévu pour être transporté à la main. Il ne comporte pas de points de préhension. La manipulation de la caisse se fait exclusivement par transpalette et de part leur poids, il en est de même pour la colonne et l'anneau fixés sur une palette. La manipulation par transpalette évite d'éloigner les objets du sol. Or, moins la hauteur probable de chute est élevée, moins le risque de casse est grand.

Dans la caisse le mouvement est placé à côté de la cloche. Le baromètre, obligatoirement vidé du mercure qu'il contient, est posé horizontalement sur le pendule, le long des deux autres éléments. La façon dont sont répartis les éléments semble être la meilleure solution concernant leur taille et leur

[123] Carlsen, 2012, p.86.
[124] Carlsen, 2012, p.82.
[125] Marcon, 2011a [en ligne].
[126] Caple, 2011, p.72.
[127] Marcon et Strang, 1994, p.5.
[128] Marcon, 2011b [en ligne].

poids. Le poids du pendule doit être posé du côté de la cloche et non du mouvement afin de mieux répartir le poids. Il est possible de poser la boîte contenant le baromètre sur le pendule car le baromètre est un élément léger. Avec son conditionnement, il fait environ 3 kg. De plus, le conditionnement du baromètre est conçu de telle sorte qu'il ne s'affaisse pas, la surface restera donc plate. Le pendule n'est pas un élément fragile sensible à la compression et le couvercle de sa boîte est soutenu par les blocs de mousse de polyéthylène qui le calent.

L'anneau de fixation ainsi que la colonne sont déplacés montés, mais posé couchés, sur une seconde palette. Cela offre un gain de place non négligeable qui permet de transporter ces deux éléments sur une seule palette, ce qui ne serait pas le cas autrement. Les deux éléments sont calés par des mousses de PE. Une mousse fine de 0,2 cm de PE recouvre les parties en dehors des calages et fait office d'emballage primaire.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

4.4. Choix des matériaux pour les conditionnements

Il existe un risque que l'horloge reste stockée dans sa caisse de transport plus longtemps que la durée du transport. Par exemple entre deux déménagements de réserve. Par précaution a été conçue une caisse de transport exempte de matériaux émettant des composés néfastes pour la conservation. De plus, la caisse faite de barres d'acier et de polypropylène cannelé reste légère.

C'est dans ce but que les matériaux composant les modèles de caisse existants furent changés. Le bois est remplacé par de l'acier zingué, la colle vinylique par des vis et le carton ondulé brun par des panneaux de PP cannelé. Ce dernier aurait peut être remplacé par du carton non acide, mais le PP à l'avantage d'être imperméable. Le carton qui doit être enduit de verni[129], ce qui rajoute de la mise en œuvre. Même si la caisse doit être transportée sur la plus courte distance extérieure, il est probable qu'il pleuve le jour du transport et qu'elle soir donc exposée à l'eau.

Pour amortir correctement les chocs, la mousse choisie ne doit pas être trop dure, ni trop molle et adaptée au poids de l'objet[130]. Afin de calculer les dimensions des éléments de calage ainsi que du choix du type de mousse, PadCAD et la règle de l'ICC ont été utilisés[131]. Pour cela, la hauteur probable de chute de l'objet lors du transport[132] a été surestimée au cas où la caisse tomberait d'une hauteur plus élevée que celle d'un transpalette, comme lors du chargement. Les mousses de calage ont été choisies pour leurs propriétés mécaniques et non pas pour leur stabilité sur le long terme. Sont donc employés de la mousse de PE 33 kg/cm^3 et de PU 33 kg/cm^3 qui ont une bonne résilience[133]. L'emploi d'un nombre réduit de type de mousse permet de réduire les coûts.

L'Ethafoam® est stable dans le temps mais ce n'est pas le cas de la mousse d'éther ou d'ester de polyuréthane. Cependant, la mousse de PE ne peut pas correctement amortir les chocs du transport

[129] Note de l'ICC 1/4, 1997, p.3.
[130] Marcon et Strang, 1994, p.5.
[131] Voir Annexe 8, p.95.
[132] Marcon et Strang, 1994, p.4.
[133] Caple, 2011, p.73.

pour les éléments les plus fragiles, d'où la nécessité d'employer aussi une mousse PU. Lors du test d'Oddy, il s'est révélé que la mousse de PU n'a pas eu d'impact sur l'accélération du phénomène de corrosion des alliages cuivreux et ferreux[134]. Toutefois les éléments de calage en PU ne doivent pas être laissés à proximité des objets après un transport. Supportant en continu le poids des objets, la mousse de PU va perdre peu à peu ses capacités à absorber les chocs et se tasser. Surtout dans le cas de l'éther qui est souple[135]. De ce fait, il elle ne remplira pas correctement son rôle lors d'un autre déplacement. La mousse d'éther de PU 33 kg/cm^3 est utilisée car il s'agissait du seul type de matelassage que donnaient communément les deux outils d'aide à la décision pour le matelassage du mouvement. De plus, les valeurs d'épaisseur de mousse étaient moins disparates[136]. La mousse de PU est un matériau instable et se dégradant rapidement[137], il faut donc veiller à n'utiliser que de la mousse neuve afin d'avoir toutes les propriétés que l'on recherche[138]. Pour réutiliser la mousse d'éther lors d'un autre transport rapproché en temps et éviter sa détérioration, il faut la conserver à l'abri de la lumière. Le mieux est d'utiliser des sacs de PE noirs comme des sacs poubelles[139]. Un avantage de l'éther de PU est qu'il est moins onéreux que l'ester de PU[140].

L'usage de carton ondulé non acide a été privilégié afin de fabriquer les cloisons à l'intérieur de la caisse. C'est un matériau tampon aidant à éviter la condensation d'eau[141] et il est plus rigide que le PP cannelé.

4.5. Conditionnements pour le transport

Conditionnement dans la boîte de transport sur palette		
Elément	**Matériaux**	**Type de conditionnement**
Mouvement	Feuille de carton ondulé. Feuille de PP cannelé. Mousse d'éther de PU 33 kg/cm^3. Profil d'acier zingué perforées.	L'objet est laissé dans son conditionnement pour sa mise en réserve. Boîte calée par de la mousse d'éther de PU de 10 cm d'épaisseur dessus, dessous et la longueur. 5 cm sur les deux côtés de la profondeur de la boîte.
Cloche	Feuille de carton ondulé. Feuille de PP cannelé. Mousse d'éther de PU 33 kg/cm^3. Profil d'acier zingué perforées.	L'objet est dans son conditionnement pour sa mise en réserve Boîte calée par de la mousse d'éther de PU de 5 cm d'épaisseur de tous les côtés.
Baromètre	Feuille de carton ondulé. Feuille de PP cannelé. Mousse d'éther de PU 33 kg/cm^3. Profil d'acier zingué perforées.	L'objet est dans son conditionnement pour sa mise en réserve Boîte calée par de la mousse d'éther de PU de 10 cm d'épaisseur de tous les côtés.

[134] Voir Annexe 6, Chapitre II, p.88.
[135] The foam factory, 2012 [en ligne].
[136] Voir Annexe 8, Chapitre I, p.95.
[137] Illes, 2004, p.99.
[138] Préserv'art, 2004 [en ligne].
[139] Marcon, 2011a [en ligne].
[140] The foam factory, 2012 [en ligne].
[141] Préserv'art, [en ligne], 2004.

Conditionnement dans la boîte de transport sur palette		
Elément	**Matériaux**	**Type de conditionnement**
Pendule	Feuille de carton ondulé. Feuille de PP cannelé. Mousse de PE Ethafoam®. Profil d'acier zingué perforées.	L'objet dans son conditionnement pour la mise en réserve placé dans une caisse en PP et structure acier. Boîte calée par avec de la mousse de PE de 7,5 cm d'épaisseur dessus, dessous et sur ses longueurs. 1,5 cm sur la profondeur.

A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Tableau 3 : Récapitulatif par élément de l'horloge des matériaux utilisés pour le conditionnement dans la caisse de transport.

Palette		
Elément	**Matériaux**	**Type de conditionnement**
Colonne	Mousse de PE Ethafoam®. Mousse fine de PE de 2 mm. Palette de PP. Spanset®	Colonne fixée sur une palette de PP par des Spanset®. Calé avec de la mousse de PE de 11 cm d'épaisseur.
Anneau	Palette de PP. Mousse de PE Ethafoam® et mousse fine de PE de 2 mm. Spansets®	Anneau fixé sur une palette de PP par des Spanset®. Calé avec de la mousse de PE de 5 cm d'épaisseur.

Tableau 4 : Récapitulatif par élément de l'horloge des matériaux utilisés pour le conditionnement sur palette.

4.5.1. Caisse de transport

Les dimensions d'une palette, soit 120 x 80 cm ont été déterminantes pour la construction de la caisse de transport. Or, le pendule avec les mousse de calage mesure 130 cm, la caisse doit donc dépasser en longueur de 5 cm de chaque côté de la palette. Ce qui est une marge tolérable, ne posant pas de problème de stabilité. La hauteur a été déterminée par celle de l'élément le plus haut, soit la cloche avec les capuchons de mousse de PU, mesurant 80 cm.

Figure 28 : Caisse de transport à ouverture latérale, en panneaux de PP cannelé fixés sur une structure acier.

A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Les barres d'acier étant déjà perforées, les mesures ont toutes été augmentées de 2 cm afin de ne pas les scier. Malgré ces ajouts, de par la largeur des barres, la structure repose toujours sur une palette. Les barres d'acier sont boulonnées entre elles aux angles, des équerres plates d'acier zingué sont ajoutées aux angles afin de les renforcer et qu'ils soient à angle droit. Quatre charnières permettent l'ouverture de la caisse, en soulevant le panneau supérieur et la moitié d'un panneau latéral. Cela sert aussi à manipuler plus aisément les objets en les atteignant facilement.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

A. Vecten © HECR-Arc, 2013

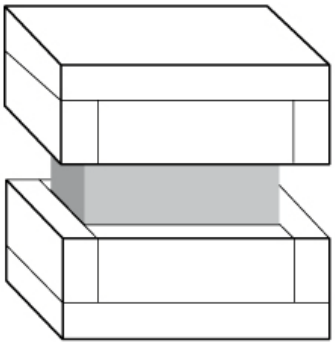
Figure 29 : Indiqué par la flèche, panneau intérieur de PP.

Les panneaux des côtés sont composés de deux plaques de PP cannelé superposées et dont les cannelures sont placées perpendiculairement d'un panneau à l'autre afin d'augmenter la rigidité du matériau. Sur le panneau supérieur la plaque interne est moins longue pour s'emboîter avec la plaque interne des côtés dépassant de la barre d'acier et ainsi supporter le panneau sur sa profondeur. Ceci évite qu'il ne plie en son centre. La longueur du panneau est vissé sur une barre d'acier non fixé à la structure, mais s'emboîtant sur celle-ci afin de fermer la caisse. Sur l'extrémité du panneau d'ouverture est vissée une plaque de PP cannelé pliée, car ce matériau est coupant.

Une notice accompagne la caisse de transport afin de positionner correctement les éléments dans celle-ci[142].

4.5.2. Mouvement

Lors du transport une mousse de PE plate doit être placée au-dessus du mouvement afin de remplir l'espace entre le haut du mouvement et de sa boîte. La mousse toucherait uniquement le haut des platines. Le mouvement ne peut basculer, mais en cas de choc vertical, il risquerait d'être soulevé, le calage de PU supérieur ne serait donc pas d'une grande utilité.



A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 30 : Eléments de calage en forme de capuchon autour d'une boîte.

D'après les calculs pour une bonne protection en cas de chute de 75 cm, il serait nécessaire de poser la boîte du mouvement sur 10 cm de mousse d'éther de PU 33 kg/cm^3 de 10 cm d'épaisseur. La mousse est placée sur toute la surface de la base de la boîte, ainsi que du haut de celle-ci afin de former des capuchons. Sur les côtés, la mousse a une hauteur de 15 cm[143]. Pour des raisons de place dans la caisse de transport, sur la profondeur de la boîte l'épaisseur de la mousse de PU est de 6 cm d'épaisseur. Néanmoins la protection de l'objet n'est pas compromise. Sous l'objet la mousse doit supporter en permanence le poids du mouvement. De ce fait elle s'écrase et est donc de taille réduite, ce qui n'est pas le cas des mousses latérales. De plus, ces dernières servent surtout à amortir en cas de mouvements latéraux brusques qui pourraient subvenir lors du trajet. Pour les calculs, la hauteur de chute probable a été surestimée. Sur la longueur, où la place est disponible, la mousse est d'une épaisseur de 10 cm.

[142] Voir Annexe 4, Chapitre III, Figure 71, p.84.

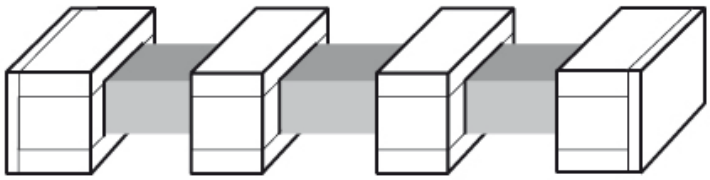
[143] Voir Annexe 4, Chapitre II, Figure 64, p.81.

4.5.3. Cloche

La cloche est placée dans la caisse de transport à côté de la boîte contenant le mouvement car la profondeur de ces deux conditionnements est la même. Comme dans le cas du mouvement, une plaque de mousse de PE doit être insérée entre le haut de la cloche et celui de la boîte. Le conditionnement de la cloche est calé avec des capuchons faits de mousse d'éther de PU 33 kg/cm^3. Les cales de la longueur, du haut et du bas mesurent 5 cm d'épaisseur[144]. Sur la profondeur elles sont de 6 cm afin que le conditionnement soit de la même longueur que celui du mouvement. Sur les côtés de la boîte, la mousse remonte de 20 cm.

4.5.4. Pendule

Le pendule étant moins fragile que les éléments précédent, il peut être calé d'après calcul par de la mousse de PE. L'emploi de ce type de mousse permet de poser le baromètre sur celui-ci sans risque d'affaissement des éléments de calage. De plus le tout est stable. Les éléments de calage sont quatre capuchons dont la longueur est de 15 cm. Ils mesurent 5 cm sur les côtés, sauf aux extrémités où les cales sont de 2 cm d'épaisseur[145]. Cela est compensé par le fait que dans le conditionnement pour la mise en réserve, le pendule est calé aux extrémités par 4,5 cm d'épaisseur d'Ethafoam®.



A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 31 : Eléments de calage en forme de capuchon sur les extrémités, avec deux soutient au centre.

4.5.5. Baromètre

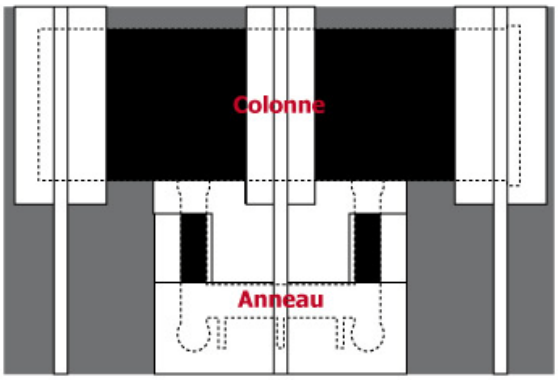
Le baromètre étant couché dans la caisse de transport, il doit être préalablement vidé du mercure qu'il contient[146], qui est placé dans une bouteille hermétique non cassable[147], donc en PE ou PP. Le baromètre est encapsulé de la même sorte que le pendule. Une cloison de carton ondulé sépare les deux éléments afin que les cales du baromètre soient correctement positionnées. Le produit de calage employé est de la mousse d'éther de PU 33 kg/cm^3. Elle mesure 10 cm de chaque côté, sauf sur la profondeur où elle est de 6 cm[148].

4.5.6. Colonne et anneau de fixation

La colonne et l'anneau sont calés séparément, mais de manière à s'emboiter afin qu'ils puissent tout deux tenir sur une palette sans dépasser. Les éléments sont stabilisés par de la mousse de PE 33 kg/m^3 ayant une épaisseur minimale de 5 cm[149]. Ce type de mousse est plus adapté pour le calage

[144] Voir Annexe 4, Chapitre II, Figure 65, p.81.
[145] Voir Annexe 4, Chapitre II, Figure 66, p.82.
[146] Voir Annexe 5, p.85.
[147] Martin et Winsor, 2006 [en ligne].
[148] Voir Annexe 4, Chapitre II, Figure 67, p.82.
[149] Voir Annexe 4, Chapitre II, Figure 68, p.82.

d'objets lourds que du PU[150] qui pourtant était aussi donné en résultat lors des calculs. La hauteur de la mousse soutenant la colonne a été revue à la hausse, 11 cm, afin que la cale soit de la même hauteur que celle de l'anneau et ainsi que l'attache Spanset® exerce la même pression sur les deux éléments. Ils seront ainsi correctement fixés. Deux autres attaches du même type fixent les extrémités de la colonne qui sont encapsulées dans la mousse de PE. Il faut faire attention à ce que les attaches métallique des Spanset® soient positionnées de sorte à ce qu'ils ne puissent pas entrer en contact avec la surface de l'objet, donc au niveau de l'Ethafoam®. Le design des mousses d'Ethafoam® permet d'éviter que les deux éléments puissent entrer en contact. D'ailleurs, entre les deux objets se trouve au minium 5 cm d'épaisseur de PE. Il est de même sur les parties extérieures.



A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 32 : Positionnement de la colonne et de l'anneau sur une palette. Les éléments sont dans leurs mousses de calage et attachés par des Spansets®.

Les parties de la colonne et de l'anneau qui ne sont pas recouvertes de mousse de PE sont exposées à l'abrasion et à l'eau. Afin de les protéger, elles doivent être recouvertes de la mousse de PE fine de 2 mm à 5 mm d'épaisseur[151]. La mousse peut être fermée sur sa partie extérieure par du ruban adhésif. Il doit être exclusivement collé sur la mousse et en aucun cas sur l'objet. Pour la maintenir en place aux extrémités, elle doit être placée entre les blocs d'Ethafoam® et les deux éléments. Avant d'être recouverte il faut veiller à ce que la surface de l'objet emballé soit propre. Car des particules intercalées entre celui-ci et l'emballage pourraient abraser la surface[152].

4.6. Recommandations pour le transport

La manipulation des objets de musée dans le cadre de déménagements nécessite certaines précautions, car même les conditionnements désignés pour être les plus protecteurs possibles ne peuvent garantir la protection absolue des objets, s'ils ne sont pas employés et manipulés correctement[153].

Avant le transport, si les objets doivent être déplacés sur de longues distances avant d'être rangés dans la caisse de transport, il est nécessaire d'utiliser un chariot[154]. Du fait de leur poids, la colonne et l'anneau ne doivent pas être transportée à la main sur de longues distances[155]. Cela occasionnerait

[150] Marcon, 2011c [en ligne].
[151] Illes, 2004, p.37.
[152] Marcon, 2011b [en ligne].
[153] Cassar, 1995, p.133.
[154] Caple (ed.), 2012, p.60.
[155] Illes, 2004, p.24.

des risques de blessure pour les porteurs. Il faut donc rapprocher au maximum la palette du lieu de stockage.Il faut organiser la manière dont les palettes vont être déplacées avant de procéder à la manœuvre. Aucun obstacle ne doit empêcher le passage[156]. Il est nécessaire de ne pas précipiter les manœuvres afin de réduire le risque d'accident et employer du personnel qualifié pour le transport ainsi que pour la manutention des objets muséaux. Le personnel doit être correctement équipé[157]. Dans tous les cas, il ne faut laisser aucun objet sans surveillance ou posé à même le sol[158].

La caisse de transport doit être marquée afin de signaler qu'elle contient des éléments fragiles. Il est aussi nécessaire de signaler que le contenu craint l'eau, que la caisse ne peut être portée sans palette et que rien ne doit être posé sur celle-ci. Si ces informations sont manquantes, le risque de détérioration est grand[159]. La présence de mercure doit aussi être mentionnée par écrit[160]. Toutefois, pour des raisons de sécurité contre le vol, ne doit pas être mentionné le contenu de la caisse. Il est aussi nécessaire de signaler dans le conditionnement qu'après le transport, les cales de polyuréthanes doivent être immédiatement ôtées. Dans le véhicule de transport, les palettes et caisse doivent être correctement arrimées afin de ne pas se déplacer[161]. Par ailleurs aucun objet à proximité ne doit risquer de tomber sur ceux-ci.

Figure 33 : Pictogrammes des étiquettes à placer sur le côté pour la mention « Haut » et sur le dessus de la caisse.

4.7. Discussion

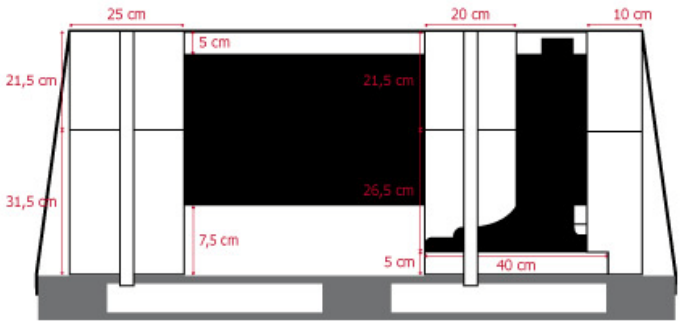
La structure de la caisse de transport a été conçue au moyen de matériaux stables, ne posant pas de problème pour la conservation à long terme. Au lieu de la démonter, il est donc envisageable de garder cette structure pour le stockage sur une palette : du mouvement, de la cloche, du pendule et du baromètre. Une fois fixée sur la palette, la caisse permet de réduire le risque de chute des éléments posés dessus. Il est toutefois nécessaire de démonter le panneau supérieur servant à la fermeture afin de rendre visible les conditionnements et donc les objets qu'ils contiennent. Cependant, si le baromètre est stocké à l'horizontal, pour des raisons de place il doit être posé sur le pendule. Les

[156] Icom, 1995, p.261.
[157] Caple (ed.), 2012, p.61.
[158] Icom, 1995, p.261.
[159] Carlsen, 2012, p.85.
[160] Note de l'ICC 1/7, 2002, p.2.
[161] Marcon, 1992, p.213.

deux éléments n'ayant pas la même longueur, le pendule reste visible et les « fenêtres » percées dans le conditionnement gardent leur utilité.

Lors de la conception des conditionnements, la question s'est rapidement posée si l'horloge Leroy pouvait être déplacée entièrement montée afin de palier au risque de dissociation. Tous ses différents éléments seraient calés et immobilisés dans une caisse de transport en bois, posée sur une palette, comme il est fait pour le transport des horloges dans le milieu de l'horlogerie. En résolvant le problème de dissociation, cette solution risquerait d'être très dommageable pour certains éléments de l'objet. Il est probable que l'utilisation d'un type de mousse adapté permette de protéger l'ensemble bien que celle-ci doive pouvoir supporter un poids d'environ 100 kg tout en étant assez épaisse pour amortir chocs et vibrations.

Seulement, les assemblages maintenant les éléments de l'horloge n'ont pas été conçus pour le transport. Il serait donc nécessaire de prévoir des éléments de calage compliqués. Un exemple concret est l'anneau de fonte. Il est conçu pour soutenir l'anneau et pas l'inverse. Il devrait donc soit être posé à la base de celle-ci, soit sur des éléments de soutient faits de bois matelassé et de mousse de PE. Mais dans ce cas le risque de chute serait grand et l'anneau pesant 20 kg, cela engendrerait des dommages matériel et corporel. De plus, il serait difficile d'immobiliser correctement le pendule car il est difficilement accessible. En se balançant il pourrait heurter la paroi de la colonne et l'endommager. D'ailleurs, il est recommandé de toujours enlever cet élément[162], car il entraîne aussi une partie du mouvement. Celui-ci serait mis en fonction de manière inappropriée ou, dans le cas où l'ancre est verrouillée, risquer la casse d'éléments de l'échappement. Le pendule est fabriqué pour osciller selon une seule direction. Les chocs l'obligeraient à suivre des trajectoires que la lame de suspension n'est pas conçue pour supporter. Le baromètre n'ayant qu'un point d'accroche avec la colonne devrait être sécurisé. Mais comme le pendule, il est difficilement atteignable. Pour des raisons citées lors d'un chapitre précédent[163], il est aussi difficile de caler la cloche de verre sur le mouvement.



A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 34 : Alternative au transport de l'anneau et de la colonne. La colonne est insérée dans l'anneau.

Dans un premier temps avait été envisagée une autre alternative au positionnement de la colonne et de l'anneau sur la palette. La colonne était insérée dans l'anneau, comme lors de l'utilisation de l'horloge. Les deux éléments était assemblés au moyen des fixations prévues à cet effet. La colonne était ainsi correctement positionnée par rapport à l'anneau. Des mousses de calages de PE permettaient à la colonne d'être parfaitement

[162] Illes, 2004, p.77.

[163] Voir Chapitre 3.4. Discussion sur les conditionnements, p.29.

horizontale. Or dans cette solution, les éléments de calage étaient de forme complexe et difficilement positionnables.

Concernant les quatre éléments de taille modeste, peu de solutions étaient envisageables. L'une d'entre elles consistait à trouver un moyen de transporter le baromètre à la verticale ou penché au maximum selon un angle de 30°[164] et ainsi éviter de le vider. En incluant ce paramètre, n'a été trouvé aucun assemblage satisfaisant des éléments dans une caisse. Le baromètre aurait dû être transporté séparé des autres éléments dans un conditionnement individuel, la place nécessaire n'étant pas disponible à côté ceux-ci. Afin de libérer de la place sur la palette, le pendule devait être conditionné séparément du mouvement et de la cloche. De ce fait, le baromètre pouvait être attaché à la caisse de ces deux éléments. Mais de part sa hauteur, il n'existait aucune façon satisfaisante de le fixer. De plus, cette solution augmente le risque de dissociation.

Une alternative à la mousse de PU a été recherchée. Vu qu'elle se dégrade rapidement, il n'est pas sûr de pouvoir la réutiliser d'un transport à l'autre. Dans la vente, la mousse de PU est souvent remplacée par des coussins d'airs. Ceux-ci sont faits d'un film de PE thermosoudé afin de créer des coussins d'air indépendants[165]. Cependant, le test d'Oddy fait à partir d'un morceau de ces coussins d'air s'est révélé moyen[166]. Comme la mousse de PU, ils devraient être retirés du conditionnement juste après le transport. Un test de vibration a été effectué afin de comparer les matériaux de calage[167]. Son résultat n'a pas été concluant de par le protocole de test qui est à revoir. Mais apparemment pour une épaisseur égale, la mousse de PU réduit mieux l'intensité des chocs que les coussins d'air. Toutefois, des tests plus approfondis devraient être effectués, car il existe une multitude de type de coussins d'air.

Conclusion générale

L'horloge Leroy était un objet difficile à conditionner de par ses sensibilités. De plus, très peu de documents existent en conservation concernant la conception de conditionnement pour la mise en réserve d'horloge et encore moins pour le transport. Sur ce point, il donc été nécessaire de combiner les pratiques du milieu horloger et de la conservation-restauration.

Les conditionnements pour la conservation à long terme et le transport sont conçus en tenant compte de nombreux paramètres. Il est complexe de tous en tenir compte et parfois, il est nécessaire d'en privilégier certains par rapport à d'autre. C'est la raison pour laquelle il n'existe jamais de solution unique.

[164] Information donnée par Marc-André Perret, (antiquaire spécialiste dans les antiquités scientifiques, Perret antiques), par e-mail daté du 2 juillet 2013.

[165] Voir Annexe 3, Chapitre II, p.75.

[166] Voir Annexe 6, Chapitre II, p.88.

[167] Voir Annexe 7, p.93.

Liste des références bibliographiques

Air-Paq, 2012 : « Ideal packaging ». In *Air-Paq®* [En ligne]. 2012 [Consulté le 21 mai 2013]. http://www.air-paq.com/ideal_packaging.html

Alcouffe, 2001 : Alcouffe, Daniel. « Le verre ». In SFIIC. *Préserver les objets de son patrimoine, précis de conservation préventive.* Spritmont, Mardaga, 2001, p.95-100.

Barclay *et al.*, 1998 : Barclay, Robert *et al. Support pour objets de musées : de la conception à la fabrication*. Institut canadien de conservation, Quebec, 1998.

Barclay et Hett : Barclay, Bob et Hett, Charles. *Note de l'ICC. 9/3, Nettoyage, polissage et cirage du laiton et du cuivre.* Institut canadien de conservation, Ottawa, 2007.

Babey, 2003 : Babey, Virginie. *Observatoire de Neuchâtel. Espace muséal du Pavillon Hirsch*. Inventaire et étude sur l'historique de la collection de l'observatoire, Neuchâtel, 2003, *non publié*.

Caple, 2012 : Caple, Chris (ed.). *Preventive conservation in museums*. Routledge, Abingdon, 2012.

Carlsen, 2012 : Carlsen, Mette. « Casing of sculptures and installations ». In. Tank, Bronken *et al.* (eds.). *Moving collections. Processes and consequences*. Archetype books, Londres, 2012, p.81-90.

Cassar, 1995: Cassar, May. *Environmental management. Guideline for museums and galleries*. Routledge, Londres, 1995.

Castagna, 2011 [en ligne] : Castagna, Thierry : « La Saga L. Leroy ». In *La Cote des montres* [En ligne]. 2011 [Consulté le 21 mai 2013]. http://www.lacotedesmontres.com/actu/Les-Grandes-Heures-Scientifiques-de-L-Leroy-Les-Sept-Regulateurs-a-Tourbillon-de-la-ligne-Osmior-No_8422.htm

Chayette et Calmels, 1986 : Chayette, Hervé et Calmels, Laurence. *Catalogue de ventes aux enchères à l'hôtel Drouot le 10 juin 1986.* Drouot Richelieu, Paris, 1986.

Comment prendre soin des horloges, 2002 [en ligne] : « Comment prendre soin des horloges ». In *Institut canadien de conservation* [En ligne]. 2002 [Consulté le 10 juillet 2013]. http://www.cci-icc.gc.ca/caringfor-prendresoindes/articles/438-fra.aspx

Conserve O Gram 2/10, 1998 : *Conserve O Gram. 2/10, Hazardous materials in your collection*. National Park Service, Washington DC, 1998.

Defossez, 1952 : Defossez, Léopold. *Théorie générale de l'horlogerie. Tome II*. Chambre Suisse de l'horlogerie, La Chaux-de-Fonds, 1952.

Fahey, 2013 [en ligne] : Fahey, Mary M. « The care and preservation of clocks ». In *Benson Ford research center* [En ligne]. 2013 [Consulté le 12 juin 2013]. http://www.thehenryford.org/research/caring/clocks.aspx#3

Fievez, 2013 : Fievez, Eloi. « Les pendules Leroy 1400 à pression constante ». *Bulletin de l'Association nationale des collectionneurs et amateurs d'horlogerie ancienne*, n° 125, 2013, p.58-66.

FROMM, 2011 [en ligne] : « Coussin d'air Airpad® ». In *FROMM packaging systems* [En ligne]. 2011 [Consulté le 12 juin 2013]. http://www.fromm-pack.fr/cms/coussins-dair-airpad

Green et Thickett, 1995 : Green, L.R. et Thickett, D. « Testing materials for use in the storage and display of antiquities – A revised methodology ». *Studies in conservation*, volume 40, numéro 3, août 1995, p.145-152.

Goffard, 2009 [en ligne] : Goffard, Carole. « Eviter l'erreur : le choix de matériaux stables pour le stockage et l'exposition des collections muséales ». In *CeROArt* [En ligne]. 2009 [Consulté le 12 juin 2013]. http://ceroart.revues.org/1150

Guild et MacDonald, 2004 : Guild, Sherry et MacDonald, Maureen. *Bulletin technique. N°26, Prévention des moisissures et récupération des collections : lignes directives visant les collections du patrimoine.* Institut canadien de conservation, Ottawa, 2004.

Hatchfield, 2002 : Hatchfield, Pamela. *Polluants in the museum environment. Pratical strategies for problem solving in design, exhibition and storage*. Archetype publication, Londres, 2002.

Illes, 2004 : Illes, Véronique. *Guide de manipulation des collections*. Somology, Paris, 2004.

Icom, 1995 : Icom. « Protection, security and conservation of collections ». In Fahy, Anne (ed.). *Collection management*. Routledge, Londres, 1995.

Life Science Outsourcing, 2012 [en ligne] : « Accelerated aging ». In *Life Science Outsourcing* [En ligne]. 2010 [Consulté le 25 juin 2013]. http://lso-inc.com/medical-package-testing/accelerated-aging.html

Logan, 2007a : Logan, Judy. *Note de l'ICC. 9/2, la mise en réserve des métaux.* Institut canadien de conservation, Ottawa, 2007.

Logan, 2007b : Logan, Judy. *Note de l'ICC. 9/6, le soin et le nettoyage du fer.* Institut canadien de conservation, Ottawa, 2007.

Marcon, 1992 : Marcon, Paul. « The packing and transport of cultural property ». In *la conservation préventive. Actes du 3e colloque de l'ARAAFU, Paris 8-10 octobre 1992*. ARAAFU, Paris, 1992, p.211-222.

Marcon, 2011a [en ligne] : Marcon, Paul. « Cornières pour emballages à double caisse ». In *Institut canadien de conservation* [En ligne]. 2011 [Consulté le 12 juin 2013]. http://www.cci-icc.gc.ca/caringfor-prendresoindes/articles/cp/index-fra.aspx

Marcon, 2011b [en ligne] : Marcon, Paul. « Forces physiques ». In *Institut canadien de conservation* [En ligne]. 2011 [Consulté le 12 juin 2013].

Marcon, 2011c [en ligne] : Marcon, Paul. « Six Steps to Safe Shipment ». In *Institut canadien de conservation* [En ligne]. 2011 [Consulté le 12 juin 2013]. http://www.cci-icc.gc.ca/caringfor-prendresoindes/articles/sixsteps-sixetapes/index-eng.aspx

Marcon et Strang, 1994 : Marcon, Paul J. et Strang, Thomas J.K. *La sélection des produits de calage à l'aide de la règle à calcul de l'ICC et Logiciel PadCAD pour les produits de calage.* Institut canadien de conservation, Ottawa, 1994.

Rapport-Gratuit.com

Martin et Winsor, 2006 [en ligne] : Martin, David et Winsor, Peter. « Mercury in collection » In *Icon. Don't Panic : Dealing with hazardous materials in collection* [En ligne]. 2006 [Consulté le 12 juin 2013]. http://www.icon.org.uk/images/stories/dont_panic_notes_140809.pdf

McGrew, 2010 [en ligne] : McGew, Ashley. Lightweight recyclable hybrid container. In *Paccin. Preparation, art handling, and collections care information network* [En ligne]. 2010 [Consulté le 12 juin 2013]. http://www.paccin.org/content.php?129-Light-weight-recyclable-hybrid-crate

Norme Ispm 15, 2009: *ISPM 15, Regulation of wood packaging material in international trade*. Secretariat of the international plant protection convention, Rome, 2009.

Note de l'ICC 1/4, 1997 : *Note de l'ICC. 1/4, la fabrication d'une caisse de carton ondulé triple cannelure.* Institut canadien de conservation, Ottawa, 1997.

Note de l'ICC 1/7, 2002 : *Note de l'ICC. 1/7, le mercure dans les collections de musée*. Institut canadien de conservation, Ottawa, 2002.

Note de l'ICC 5/1, 2007 : *Note de l'ICC. 1/7, le soin de la céramique et du verre*. Institut canadien de conservation, Ottawa, 2007.

Note de l'ICC 15/5, 2002 : *Note de l'ICC. 15/5, la lubrification des objets industriels*. Institut canadien de conservation, Ottawa, 2002.

Oudry, 2001 : Oudry, Sylvain. « Le Bois ». In SFIIC. *Préserver les objets de son patrimoine, précis de conservation préventive.* Spritmont, Mardaga, 2001, p.156-167.

Préserv'art, 2007 : *Préserv'art* [En ligne]. Centre de conservation du Québec, 2007 [Consulté le 12 juin 2013]. http://preservart.ccq.mcccf.gouv.qc.ca/index.aspx

Quye et Williamson (eds.), 1999 : Quye, Anita et Williamson, Colin (eds.). *Plastics. Collecting and conserving*. NMS Publishing Limited, Edinbourg, 1999.

Rawlings, 1993 : Rawling, Arthur Lionel. *The Science of Clocks & Watches*. British Horological Institute, Upton Hall, 1993.

Rémillard, 1995 [en ligne] : Rémillard, France. « L'emballage et le transport des objets ». In *Centre de conservation du Québec* [En ligne]. 1995 [Consulté le 12 juin 2013]. http://www.ccq.gouv.qc.ca/index.php?id=199#c586

Reymondin *et al.*, 1998 : Reymondin, Charles-André et al. Théorie d'horlogerie. Fédération des écoles techniques, Le Sentier, 1998.

Roberts, 2003 : Roberts, Derek. *Precision pendulum clocks. The quest for accurate time keeping*. Schiffer Books, Atglen, 2003.

Selwyn, 2004 : Selwyn, Lyndsie. *Métaux et corrosion. Un manuel pour le professionnel de la conservation*. Institut canadien de conservation, Ottawa, 2004.

Shiner, 2009 [en ligne] : Shiner, Jerry. « Escal film ». In *Keepsafe microclimate systems*. [En ligne]. 2009 [Consulté le 14 juin 2013].

Schlichting, 1994 : Schlichting, Carl. *Bulletin technique. N°14, Travail de la mousse de polyéthylène et des feuilles de plastique cannelées.* Institut canadien de conservation, Ottawa, 1994.

Shashoua, 2008 : Shashoua, Yvonne. *Conservation of plastics. Materials science, degradation and preservation.* Butterworth-Heinemann, Oxford, 2008.

Paine (éd.), 1994 : Paine, Crispin (éd.). *Standards in the museums. 4, Care of larger & Working objects*. Museums, Libraries & Archives Council, Londres, 1994.

Takayama, 2010 [en ligne]: Takayama, Sora. « Accelogger ». In *Daikiko* [En ligne]. 2010 [Consulté le 30 juin 2013]. http://www.daikiko.com/programs/Accelogger/?lg=en

Tétreault, 1992 : Trétreault, Jean. « Matériaux de construction, matériaux de destruction ». In *la conservation préventive. Actes du 3e colloque de l'ARAAFU, Paris 8-10 octobre 1992*. ARAAFU, Paris, 1992, p.163-175.

Tétreault, 1993 [en ligne] : Tétreault, Jean. « Guide de sélection des matériaux pour l'exposition, la mise en réserve et le transport ». In *Institut canadien de conservation* [En ligne]. 1993 [Consulté le 12 juin 2013]. http://www.cci-icc.gc.ca/cci-icc/about-apropos/action/82-fra.aspx

Tétreault, 1994 [en ligne]: Tétreault, Jean. « Matériaux d'expositions : les bons, les mauvais et les autres… ». In *Institut canadien de conservation* [En ligne]. 1994 [Consulté le 21 mai 2013]. http://www.cci-icc.gc.ca/cci-icc/about-apropos/action/83-fra.aspx

Tétreault, 1999 : Trétreault, Jean. *Bulletin technique. N°21, Revêtement pour l'exposition et la mise en réserve dans les musées.* Institut canadien de conservation, Ottawa, 1999.

The foam factory, 2012 [en ligne] : « Ether and Ester based polyuréthane foam : characteristics, differences and uses ». In *The foam factory* [En ligne]. 2012 [Consulté le 21 mai 2013]. http://www.thefoamfactory.com/blog/index.php/ether-and-ester-based-polyurethane-foam-characteristics-differences-and-uses

Trethewey et Chamberlain, 1988 : Trethewey, Kenneth R et Chamberlain, John. *Corrosion for science and engineering.* Longman, Harlow, 1988.

Trueb, 2012 : Trueb, Lucien. *L'observatoire de Neuchâtel. Son histoire de 1858 à 2007*. Editions Institut l'Homme et le temps, 2012, La Chaux-de-Fonds.

Turner *et al.*, 2011 [en ligne] : Turner, Anthony *et al.* « Horloges à pression constante (régulateurs astronomiques Leroy) ». In *Inventaire général du patrimoine culturel*. [En ligne]. 2011 [Consulté le 12 juin 2013]. http://www.culture.gouv.fr/public/mistral/palissy_fr?ACTION=CHERCHER&FIELD_98=REF&VALUE_98=IM25001803

Viredaz, 2005 : Viredaz, Michel. « Les horloges électriques ». In *Electricité et horlogerie, une (r)évolution de société ? Actes du colloque du 10 - 11 septembre 2004, Musée international d'horlogerie, La Chaux-de-Fonds*. Editions Institut l'homme et le temps, La Chaux-de-Fonds, 2005, p.11-37.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Liste des figures

Figure 1 : Régulateur à pression constante Leroy. (Chayette et Calmels, 1986 , p.98.) 8
Figure 2 : Observatoire de Neuchâtel, Le pavillon Hirsch. 9
Figure 3 : Salle des horloges fondamentales située au sous-sol du Pavillon Hirsch. 9
Figure 4 : Electroaimant situé à l'arrière de l'horloge. Deux bobines en série, reliées à leur base par un condensateur et leur sommet par un aimant pouvant basculer. 10
Figure 6 : Vue de dessus du mouvement. En rouge, aimant et éléments du mécanisme qu'il entraine afin de remonter le ressort. 11
Figure 7 : Fonctionnement de l'électroaimant lorsque les bobines sont alimentées. 11
Figure 5 : Schéma électrique de l'horloge Leroy. 11
Figure 8 : Principe de basculement de l'aimant et des leviers. 12
Figure 9 : Emplacement des interrupteurs sur le mouvement. En Cyan, interrupteur de l'échappement. En rouge interrupteur du mouvement marquant la seconde et en bleu celui marquant la minute. 13
Figure 10 : Correspondance des plaquettes avec des interrupteurs du mouvement ou des emplacements du circuit électrique. Comme la base de la bobine de gauche et l'extrémité de la tige faisant basculer le levier. 13
Figure 11 : Mouvement de l'horloge Leroy N° 1756. 14
Figure 12 : Cloche de cristal. 15
Figure 13 : Pendule de l'horloge Leroy. 16
Figure 14 : Le thermomètre et le baromètre. 16
Figure 15 : Colonne servant de base à l'horloge. 17
Figure 16 : Anneau de fixation. 17
Figure 17 : Corrosion du laiton provoquée par le contact avec la peau. 18
Figure 18 : Mouvement de l'horloge Leroy fixé dans son plateau et placé dans le conditionnement pour la mise en réserve ouvert. 23
Figure 19 : Lunette calée par les différentes mousses de PE. 23
Figure 20 : Cloche calée dans le conditionnement pour la mise en réserve. 24
Figure 21 : Conditionnement du pendule sans et avec le couvercle. 25
Figure 22 : Conditionnement du baromètre sans et avec le couvercle. 26
Figure 23 : Attache Velcro® du conditionnement attaché à un montant d'étagère. Le couvercle est perforé pour permettre son passage. 27
Figure 24 : Tube et fils de PVC emballés dans une mousse de PE fine de 2 mm d'épaisseur, non hermétique. 29
Figure 25 : les deux vis situées chaque côté de l'ancre de l'échappement. A gauche elles sont dévissées, l'ancre peut bouger et à gauche elles sont vissée, l'ancre est immobilisée. 34

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Figure 26 : caisse de transport légère avec une structure en bois et des panneaux de carton brun, triple cannelures. (Note de l'ICC 1/4, 1997, p.1.) 36
Figure 27 : Assemblage de carton en croisillon et cloison horizontale. 37
Figure 28 : Caisse de transport à ouverture latérale, en panneaux de PP cannelé fixés sur une structure acier. 40
Figure 29 : Indiqué par la flèche, panneau intérieur de PP. 41
Figure 30 : Eléments de calage en forme de capuchon autour d'une boîte. 41
Figure 31 : Eléments de calage en forme de capuchon sur les extrémités, avec deux soutient au centre. 42
Figure 32 : Positionnement de la colonne et de l'anneau sur une palette. Les éléments sont dans leurs mousses de calage et attachés par des Spansets®. 43
Figure 33 : Pictogrammes des étiquettes à placer sur le côté pour la mention « Haut » et sur le dessus de la caisse. 44
Figure 34 : Alternative au transport de l'anneau et de la colonne. La colonne est insérée dans l'anneau. 45
Figure 35 : Vue de face du mouvement. 59
Figure 36 : Vue de dos du mouvement. 59
Figure 37: Mouvement vu de dessus. 60
Figure 38 : Vues des deux côtés du mouvement. 60
Figure 39 : Corrosion du haut des platines, du cadrant, de la vis de réglage, du ressort et de l'aimant. 62
Figure 40 : Dégradation de la Bakélite®, contact manquant, corrosion de l'axe et poussière à la base de la roue, strie grise sur la base. 62
Figure 41 : cloche de l'horloge Leroy. 64
Figure 42 : Poussière à la surface du cristal, produit de graissage à la base, dépôt du produit de graissage sur une face de la cloche et bulle dans le verre. 65
Figure 43 : Pendule de l'horloge Leroy. 66
Figure 44 : Poulet de réglage corrodé, griffures noires sur le poids, griffures sur la bague et piqure de corrosion bleu verte, produit de corrosion brun sur la plaquette graduée. 67
Figure 45 : Baromètre de l'horloge Leroy 69
Figure 46 : Lamelle en alliage corrodée sous le réservoir ; deux lamelles corrodées en haut du baromètre ; trou dans le bois, tige corrodée et filament sur le bouchon ; probable moisissures au dos. 69
Figure 47 : Hyphes formant du mycélium, prélèvement effectué au dos du baromètre. Binoculaire, fond noir, agrandissement 50 X. 70
Figure 48 : Colonne de l'horloge Leroy et fils à l'intérieur de celle-ci. 71

Figure 49 : Surface du haut de la colonne recouverte avec des taches de graissage ; plaque de fixation des fils électriques enduite de graisse ; tube en laiton terni, vis recouverte d'un produit de corrosion bleu vert ; bas de la colonne, taches brunes et noires. 72
Figure 51 : Peinture écaillée et produit de corrosion brun ; tige de fixation recouverte de piqures de corrosion brune ; tige enduite de graisse. 73
Figure 50 : Anneau de fixation posé sur la partie se fixant au mur..... 73
Figure 52 : Carton ondulé non acide gris et blanc. 75
Figure 53 : Coussins d'air de dimensions variables, faits de film de polyéthylène différents..... 75
Figure 54 : Mousse d'Ethafoam®. 76
Figure 55 : Mousse de polyuréthane. 76
Figure 56 : Polypropylène cannelé gris..... 77
Figure 57 : Profilé d'acier zingué. 77
Figure 58 : Ruban de coton. 78
Figure 59 : Attache Velcro® 78
Figure 60 : Schéma et mesures du plateau du conditionnement du mouvement. 79
Figure 61 : Schéma et mesures du conditionnement du plateau du pendule..... 79
Figure 62 : Schéma et mesures du conditionnement du plateau du pendule..... 80
Figure 64 : Mesures des éléments de calage du mouvement..... 81
Figure 65 : Mesures des éléments de calage de la cloche. 81
Figure 63 : Schéma et mesures du conditionnement du plateau du baromètre. 81
Figure 66 : Mesures des éléments de calage du pendule. 82
Figure 67 : Mesures des éléments de calage du baromètre..... 82
Figure 68 : Éléments de calage de la colonne..... 82
Figure 69 : Éléments de calage de l'anneau..... 83
Figure 70 : Dimensions des croisillons et cloisons de séparation dans la caisse de transport 83
Figure 71 : Positionnement des éléments dans la caisse de transport selon la hauteur, la profondeur et la largeur..... 84
Figure 72 : Positionnement des plaquettes dans les bocaux..... 87
Figure 73 : Résultats du test d'Oddy des plaquettes suspendues. Bocaux N° 1 à 8 90
Figure 74 : Résultats du test d'Oddy des plaquettes suspendues. Bocaux N° 1b (échantillon blanc) à 3b..... 90
Figure 75 : Résultats du test d'Oddy des plaquettes posées. Bocaux N° 9 à 14. A gauche la face du dessus et à droite la face en contact avec l'échantillon..... 92
Figure 76 : Smartphone sanglé dans une boîte remplie d'un matelassage ou vide..... 93
Figure 77 : Graphiques générés à partir des données obtenues. 94
Figure 78 : Règle à calcul de l'ICC. 95

Liste des tableaux

Tableau 1 : Récapitulatif par élément de l'horloge des matériaux utilisés par conditionnement et descriptifs sommaire de ceux-ci. 22
Tableau 2 : Liste par ordre alphabétique des sources des dommages, leur impact, le moment où ils surviennent et le moyen d'y remédier. 33
Tableau 3 : Récapitulatif par élément de l'horloge des matériaux utilisés pour le conditionnement dans la caisse de transport. 40
Tableau 4 : Récapitulatif par élément de l'horloge des matériaux utilisés pour le conditionnement sur palette. 40
Tableau 5 : Lieux de conservation des éléments de l'horloge au MIH et leur type de conditionnement. 58
Tableau 6 : Lieux de conservation des éléments de l'horloge à la haute école de conservation Arc et leur type de conditionnement. 59
Tableau 7 : Techniques de façonnage des éléments constitutifs du mouvement. 59
Tableau 8 : Techniques de façonnage de la cloche. 64
Tableau 9 : Techniques de façonnage des éléments constitutifs du pendule. 66
Tableau 10 : techniques de façonnage des éléments constitutifs du baromètre. 68
Tableau 11 : techniques de façonnage des éléments constitutifs de la colonne. 71
Tableau 12 : techniques de façonnage de l'anneau de fixation. 73
Tableau 13 : Résultats des plaquettes suspendues, description de leur état de surface. 89
Tableau 14 : Résultats des métaux posés sur les échantillons, description de l'état de surface du côté n'étant pas en contact avec ceux-ci. 91
Tableau 15 : Résultats des métaux posés sur les échantillons, description de l'état de surface du côté en contact avec ceux-ci 92
Tableau 16 : Récapitulatif des résultats obtenus sur un même parcours. 93
Tableau 17 : Résultats obtenus avec le logiciel PadCAD et la règle de l'ICC. Ces résultats ont servit de base de travail afin de déterminer les types de calage à utiliser. En jaune, le résultat choisi et servant de base de travail pour la conception des cales. 96

Glossaire

Ancre : Pièce du mouvement faisant la liaison entre la roue de l'échappement et le pendule.

Conidiophore : Lorsque le mycélium prolifère, des hyphes spécialisés forment des conidiophores afin de produire des spores pour la reproduction de la moisissure[168].

Echappement : « *L'échappement a pour but d'entretenir et de compter les oscillations du pendule d'une horloge* »[169]. Il sert à la transmission de l'énergie motrice à l'organe régulateur, qui est le pendule[170].

Electroaimant : Bobine faite d'un fil de cuivre enroulé autour d'un noyau de fer doux. Lorsque la bobine est alimentée en électricité, il se forme d'un champ magnétique.

Etuve : Appareil dans lequel est maintenu une température constante, prédéfinie par l'utilisateur.

Fondant : Oxyde qui est ajouté à la silice du verre afin d'abaisser son point de fusion et d'en faciliter le travail.

Fraisage : Procédé servant à enlever de la matière par la rotation d'une fraise, une tige d'un grand diamètre parcourue de stries coupantes.

Hyphes : Il s'agit d'un filament de la moisissure, composé de plusieurs cellules allongées, divisées en rameaux[171].

Hygroscopique : Se dit de matériaux ayant la propriété d'absorber ou adsorber facilement l'humidité de l'air.

Lame : Suspension à lame de ressort. « Elément composé d'une ou deux lames d'acier, maintenues aux extrémités par des plaquettes en laiton »[172]. Sur celui-ci s'accroche le pendule.

Laminage : Technique de fabrication d'une plaque de métal, lors de laquelle la matière est compressée entre deux rouleaux.

Moletage : Stries réalisée par un outil sur une surface afin de former des croisillons. Le moletage sert à augmenter l'adhérence d'une surface.

Mycélium : Réseau entrecroisé que forment les hyphes d'une moisissure en croissant[173].

Platine : Les platines sont deux plaques de laiton entre lesquelles sont placé la plupart des éléments formant le mécanisme du mouvement d'une horloge.

Poulet de réglage : Elément situé sous le poids du pendule et servant à régler sa position en le vissant sur la tige.

Réticule : Marque effectuée sur un verre en optique afin d'avoir un repère de visée.

---

[168] Guild et MacDonald, 2004, p.1.
[169] Dans Reymondin *et al.*, 1998, p.99.
[170] Reymondin *et al.*, 1998, p.99.
[171] Guild et MacDonald, 2004, p.1.
[172] Dans Reymondin *et al.*, 1998, p.99.
[173] Guild et MacDonald, 2004, p.1.

Vibration : « *Mouvement oscillatoire d'un objet par rapport à un point fixe* »[174]. Une vibration peut être régulière, mais aussi aléatoire. Dans ce cas son amplitude et sa fréquence varieront.

Liste des abréviations

COV : Composé organique volatil.

MIH : Musée international d'horlogerie de La Chaux-de-Fonds.

PE : Polyéthylène.

PP : Polypropylène.

PU : Polyuréthane.

PVC : Polychlorure de vinyle.

HR : Humidité relative.

Ra&D : Unité de recherche appliquée et développement de la Haute école ARC.

UV : Rayons ultraviolets.

[174] Dans Marcon, 2011a [en ligne].

Annexe 1. Liste des fournisseurs

Bosshart & Neupack Emballagen (BNE) AG

Gewerbestrasse 1
Tél. +41 (0)41 455 41 10
Fax +41 (0)41 455 41 15
E-mail info@bne.ch

- Ethafoam®

Oekopack Conservus AG

Lattigen
3700 Spiez
Tél. +41 (0)33 655 90 55
Fax +41 (0)33 655 90 51
E-mail info@oekopack.ch

- Carton ondulé non acide
- Plaque de polypropylène cannelée

COOP

Thiersteinerallee 12
Postfach 2550
4002 Basel
Tél. 061 336 66 66
Fax 061 336 60 40

- Fil de coton
- Ruban de coton
- Velcro ®

Long life for art

Hauptstrasse 47
D-79356 Eichstetten
Tél. +49 (0) 7663 608 99-0
Fax +49 (0) 7663 608 99-20
E-mail info@llfa.de

- Film Escal®

Directpack.ch SA

Haslistrasse 41
4600 Olten
Tél. 0842 83 83 83
Fax 0842 85 85 85
E-mail info@directpack.ch

- Mousse fine de PE

Semadeni

Tädetlistrasse 35-39
3072 Ostermundigen
Tél. 031 930 18 18
Fax 031 930 18 28
E-mail info@semadeni.com

- Bouteille PE-LD 125 ml

HORNBACH Baumarkt AG

Schellenrain 9
CH-6210 Sursee
Tél. +41 925 67 00
Fax +41 925 67 25

- Profil acier de 1 m et 1,5 m
- Vis, écrous, rondelles, équerres

Stouls conservation

Rue de l'Orme St-Germain 9
F-91165 Champlan
Fax +33 (0)1 69 10 10 79
E-mail conservation@stouls.fr

- Rivets de Polypropylène

Annexe 2. Constat d'état détaillé

I. Généralités

I.I. Lieux de conservation

L'horloge Leroy était déposée au Musée international d'horlogerie depuis 2010[175]. Les éléments constitutifs de l'horloge étaient répartis entre différents espaces des réserves du MIH. Le climat d'aucun de ces lieux n'était contrôlé. Depuis le 30 avril 2013, toutes les parties de l'horloge sont stockées provisoirement pour des besoins d'études à la Haute école Arc de conservation et restauration de Neuchâtel.

Elément	Lieu	Mode de stockage
Mouvement	Atelier de restauration, partie haute sous la verrière.	Posé dans un meuble en bois, fermé par une vitrine coulissante en verre.
Cloche	Réserve dans le musée, en sous sol.	Dans une caisse de type Rako®, calée avec de la mousse de polyuréthane.
Pendule	Réserve dans le musée, en sous sol.	Posé contre le mur de béton, base à même le sol.
Baromètre	Réserve dans le musée, en sous sol.	Posé contre le mur de béton, base à même le sol.
Colonne	Réserve externe au musée, entrepôt commun avec le musée d'art et d'histoire.	Posé à même le sol.
Anneau	Réserve externe au musée, entrepôt commun avec le musée d'art et d'histoire.	Posé sur une palette de bois.

A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Tableau 5 : Lieux de conservation des éléments de l'horloge au MIH et leur type de conditionnement.

Elément	Lieu	Mode de stockage
Mouvement	Atelier de restauration.	Rangé dans une armoire métallique, dans une caisse de type Rako®, posé et calé par se la mousse de PE. Température : 18-20 °C, HR : 30-50%.
Cloche	Réserve en sous-sol.	Rangée dans une étagère métallique, dans une caisse de type Rako®, posé et calé par se la mousse de PE. Température : ~17 °C, HR : 40-50%.
Pendule	Réserve en sous-sol.	Rangé dans une étagère métallique, posé sur de la mousse de PE. Température : ~17 °C, HR : 40-50%.
Baromètre	Réserve en sous-sol.	Rangé dans une étagère métallique et accroché à la structure portante, Posé dans de la mousse de PE creusée. Température : ~17 °C, HR : 40-50%.
Colonne	Réserve en sous-sol.	Posé sur du polyéthylène cannelé de 0,3 cm d'épaisseur. Température : ~17 °C, HR : 40-50%.
Anneau	Réserve en sous-sol.	Rangé dans une étagère métallique, posé sur de la mousse de PE.

A. Vecten © HECR-Arc, 2013

[175] Trueb, 2012, p.179.

Rapport-Gratuit.com

Elément	Lieu	Mode de stockage
		Température : ~17 °C, HR : 40-50%.

Tableau 6 : Lieux de conservation des éléments de l'horloge à la haute école de conservation Arc et leur type de conditionnement.

II. Mouvement

II.I. Dimensions

Hauteur : 28 cm Diamètre : 29 cm Poids : 10 kg

II.II. Matériaux constitutifs et techniques de fabrication

- Alliages cuivreux dont laiton
- Métal émaillé
- Gomme laque
- Polymères, dont Bakélite®
- Alliages ferreux dont acier
- Fibre textile
- Peinture noire
- Verre

Elément	Technique de façonnage
Roues et éléments du mouvement	Pièces moulées. Finissions à la main : limage, recuit, polissage,...
Platine	Pièces laminée*, martelage à la main.
Polymères	Polymères moulés à chaud.
Base	L'alliage cuivreux coulé dans un moule, la surface du métal a été fraisée* et limée.

© HECR-Arc, 2013

Tableau 7 : Techniques de façonnage des éléments constitutifs du mouvement.

II.III. Description

A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 35 : Vue de face du mouvement.

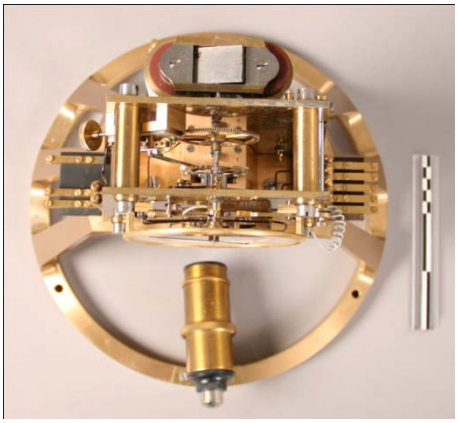
A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 36 : Vue de dos du mouvement.

Le mouvement de l'horloge Leroy est un assemblage de deux parties distinctes. Le mouvement et sa base. Ils sont maintenus ensemble par deux vis, situées sous le mouvement.

Les éléments du mouvement sont faits dans un laiton, qui est un alliage de cuivre, de zinc et probablement de plomb. De part son utilisation et sa couleur, il doit s'agir d'un alliage de laiton pour la

bijouterie. De ce fait il titre à 87,5 % massique de cuivre et 12,5 % massique de zinc[176]. Il n'est pas impossible que plusieurs types de laitons aient été employés. De plus, ces pourcentages peuvent être légèrement différents du fait de l'ajout de plomb dans alliage afin d'en faciliter le travail[177].



A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 37: Mouvement vu de dessus.

Les platines du mouvement ont une forme de trapèze. Elles sont maintenues ensemble par quatre vis en acier, fichées dans des tubes de laiton aux coins des platines. La surface du laiton des platines est décorée de formes géométriques formées par un ensemble de traits aléatoires. Ce décor a probablement été réalisé à la main par martelage. Le laiton des platines est recouvert de gomme laque, une résine organique qui donne au métal une couleur dorée foncée[178].

Le cadrant de l'horloge forme un anneau de dimension plus petite que la platine. Le cadrant est fait d'un émail appliqué sur une base de laiton. Le fond est blanc et les graduations des secondes ainsi que les chiffres sont en noir. Est aussi inscrit le numéro de série et le fabricant. L'aiguille est faite d'un acier trempé d'aspect métal noir avec des reflets bleus.

A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 38 : Vues des deux côtés du mouvement.

A l'arrière du mouvement sont situées deux bobines, surmontées d'un aimant pouvant pivoter. L'aimant est séparé des bobines par un anneau fait d'un polymère rouge placée en haut de celles-ci. Entre les bobines et la platine de laiton, est placée une plaque fait d'un acier et devant servir à isoler le mouvement du champ magnétique généré par l'aimant et les bobines. Vu que plusieurs éléments

[176] Selwyn, 2004, p.58.

[177] Selwyn, 2004, p.59.

[178] Information donnée par Dominique Mouret, gérant de Mouret pendulier Sàrl, par e-mail daté du 25 mai 2013.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

du mouvement sont faits en alliage ferreux, ils sont influençables par le champ magnétique généré par les bobines et l'aimant. En bas, les bobines sont reliées par ce qui est probablement un condensateur. Une plaque, probablement en bakélite® sert à isoler la base des bobines. C'est une résine phénol-formaldéhyde noire qui est thermodurcissable[179] qui était d'usage pour l'isolation électrique des objets de cette époque.

Une plaque de bakélite® se trouve aussi pour isolation sous les deux séries de plaquettes de laiton. Elles sont placées des deux côtés des platines, d'un côté elles sont au nombre de cinq et de l'autre trois. Ces plaquettes sont horizontales et de section carrée, percées à leur extrémité extérieur afin d'y ficher un fil électrique. Sur l'autre extrémité sont fixées des tiges verticales. Sur celles-ci sont fichés soit des tiges faites d'alliage cuivreux recouvertes d'un enduit noir, soit des fils souples isolés dans un maillage textile. La plupart des éléments du mouvement sont en laiton. Les axes, certaines vis, le ressort et des éléments des interrupteurs sont faits d'un acier. Sous chacun des trois interrupteurs est placée une plaque de verre dépoli. Elles servent probablement à l'isolation électrique.

La base sur laquelle est fixé le mouvement est faite d'un alliage cuivreux, il est probable que ce soit un laiton ou un bronze. La partie haute forme un rectangle dont les côtés les plus petits ont une arrête circulaire. Au centre de cette surface se trouve un bloc s'emboitant entre les deux platines dont le côté est en forme de trapèze. Cet élément est percé et au centre est fixé l'ancre de l'échappement en acier[180], ainsi que la lame de suspension du pendule.

Le bas de la base est circulaire afin de se poser sur la colonne. Sur celle-ci, face au cadrant, est fixée une lunette. Elle est constituée d'un tube en alliage cuivreux, d'une extrémité en acier, de Bakélite® et de lentilles de verre. La lunette sert à voir la graduation gravée sur une plaquette d'acier se trouvant en haut de la tige du pendule et avec l'aide du réticule* tracé sur l'une des lentilles, contrôler l'amplitude du pendule.

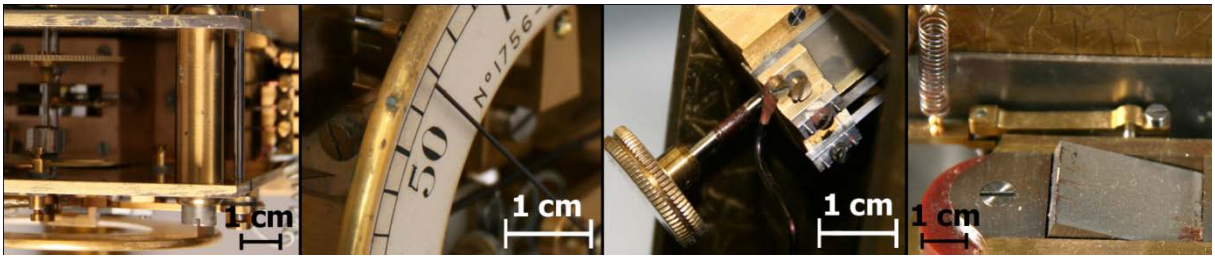
II.IV. Constat d'état

- Le haut des deux platines est corrodé sur un côté du mouvement et la gomme laque s'est enlevée. Le produit de corrosion est brun foncé et suit les rainures d'usinage des plaques de laiton. La corrosion est plus étendue sur la platine arrière, elle mesure la moitié de celle-ci.
- Le laiton sur le tour du cadrant est corrodé à plusieurs emplacements : ternissure du laiton, le produit de corrosion est légèrement plus clair que le métal. Sur le côté gauche du cadrant en haut, se trouve une piqûre de corrosion bleu-vert claire.
- Les têtes des deux vis en acier, se trouvant en haut sur la platine avant, sont corrodées.
- La surface du ressort en acier situé au dos du mouvement est recouverte à 50% d'un produit de corrosion brun.
- L'axe du ressort est corrodé en son centre.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

[179] Shashoua, 2008, p.240.
[180] Rawlings, 1993, p.119.

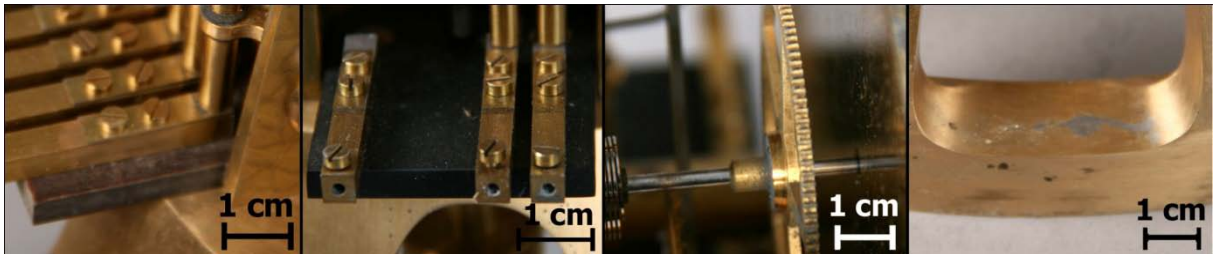
- La vis de réglage située dépassant des platines au niveau de l'interrupteur de l'ancre s'est corrodée sur sa tige.
- L'aimant est recouvert de taches d'un produit de corrosion brun rouge.



A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 39 : Corrosion du haut des platines, du cadrant, de la vis de réglage, du ressort et de l'aimant.

- La plaque de Bakélite® de droite a pris une teinte brun rouge avec des surfaces blanche poudreuse. La plaque à la base des bobines est aussi devenue brun rouge.
- A gauche, une des plaquettes de cuivre n'est pas reliée par un fil électrique, un élément est manquant.
- La roue située sur l'axe de l'aiguille, contre la platine du fond, est recouverte d'une poussière fine et grise. Il en est de même pour la roue de l'échappement. De la poussière s'est aussi déposée sur les rondelles de plastique situées en haut des bobines et sur les plaques de Bakélite® des côtés.
- L'alliage cuivreux de la base comporte des stries gris métallisées à l'intersection entre l'anneau et les parties verticales.
- Le crochet sur la base, situé à l'arrière du mouvement servait à accrocher l'hygromètre qui est manquant.



A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 40 : Dégradation de la Bakélite®, contact manquant, corrosion de l'axe et poussière à la base de la roue, strie grise sur la base.

II.V. Diagnostic

- La corrosion sur les pièces de laiton s'est essentiellement développée à l'emplacement où la gomme laque s'est enlevée.
- Sur les aciers, la corrosion s'est préférentiellement développée sur les emplacements comportant des rayures ou ayant été travaillé, comme les têtes de vis.
- Le ressort au dos du mouvement est fait d'un alliage d'acier moins résistant à la corrosion de par sa composition ou son façonnage.

- L'axe du ressort est corrodé uniquement sur la section située au-dessus de la roue d'échappement. Dans les horloges à pression constante, une petite quantité de lubrifiant est appliquée sur les plaques de l'échappement[181]. Il est probable que de ce produit de graissage ait été projeté sur l'axe et ait favorisé sa corrosion.
- Le produit de corrosion de l'aimant étant localisé sur la zone de contact en acier du haut des bobines, il est probable que cela soit dû à une corrosion galvanique provoquée par la composition différente des alliages ferreux.
- La Bakélite® de la plaque de droite et de celle des bobines est altérée dans sa structure. Le film blanc mat et poudreux sur la plaque de droite, est dû à la migration de stabilisants ou de plastifiants à la surface[182]. La plaque de gauche n'est pas dégradée, elle a probablement été changée lorsque l'horloge à été modifiée, la Bakélite® est peut-être aussi de qualité différente.
- La poussière s'est fortement déposée à la base des roues et moins sur d'autres éléments qui sont aussi horizontaux. Ces emplacements ont probablement été lubrifiés, ce qui a favorisé l'adhésion de la poussière au métal.
- La plaque en verre dépoli de l'échappement, est légèrement plus épaisse que celles placées sous le cadrant. Elle a dû être remplacée lorsqu'un interrupteur a été ôté.
- Les taches foncées situées sur le bas de la base de métal sont due à un défaut de l'alliage, il s'est séparé en deux phases. La cause des cavités sont des bulles d'air mal évacuées lorsque cet élément a été coulé.

II.VI. Pronostic

- La gomme laque protège les platines en laiton de la corrosion. Cependant, elle est sensible à l'humidité et vulnérable à l'eau[183]. Les conditions climatiques doivent donc être adaptées.
- Dans des conditions climatiques inadaptées les surfaces de laiton non recouvertes de gomme laque vont continuer de se corroder. Il en est de même pour tous les métaux non protégés.
- Dans des conditions climatiques inadaptées la Bakélite® va se dégrader et les produits émis lors de sa dégradation des plastiques sont acides et peuvent favoriser la corrosion des métaux en contact direct[184].
- De la corrosion pourrait se développer préférentiellement sur les éléments graissés surtout s'ils sont recouverts de poussière[185].
- La poussière retenant l'humidité à la surface du métal le phénomène de corrosion est favorisé[186].

[181] Rawlings, 1993, p.120.
[182] Shashoua, 2008, p.271.
[183] Tétreault, 1999, p.4.
[184] Shashoua, 2008, p.195.
[185] Comment prendre soin des horloges, 2002 [en ligne].
[186] Logan, 2007a, p.2.

- Si le mouvement n'est pas correctement protégé des chocs, les pièces qui le constituent peuvent être tordues ou cassées.
- En cas de fortes vibrations les éléments mobiles peuvent bouger et entrainer des dégradations mécaniques en se percutant.
- Les lentilles de la lunette pourraient venir à être cassées en cas de chocs.

III. Cloche de verre

III.I. Dimensions

Hauteur : 45 cm Diamètre : 33 cm Poids : 6 kg

III.II. Matériaux constitutifs et techniques de fabrication

- Enduit brun/orangé
- Cristal

Elément	Technique de façonnage
Cloche	Soufflée dans une contre forme.
Produit de graissage	Appliqué à la main, probablement au pinceau.

© HECR-Arc, 2013

Tableau 8 : Techniques de façonnage de la cloche.

III.III. Description

La cloche est faite de cristal. Il s'agit d'un verre contenant de l'oxyde de plomb, utilisé comme fondant*. La cloche sert fermer la colonne tout en permettant de voir le mouvement. La cloche est de forme cylindrique, dont le haut est bombé. Le cristal a une épaisseur de 0,5 cm afin de résister à la différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur de l'horloge.

La base de la cloche de verre est enduite à l'intérieur et à l'extérieur d'un produit de graissage brun orangé translucide. Cette substance semble avoir été appliquée à la main et sert à améliorer l'étanchéité. Il s'agit sûrement d'une graisse à base de produit pétrolier de type Vaseline®.

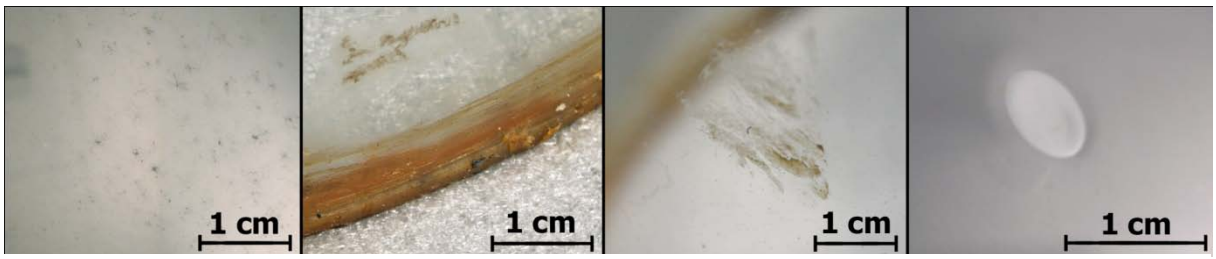
A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 41 : cloche de l'horloge Leroy.

III.IV. Constat d'état

- Le verre est localement griffé en surface.
- Le produit de graissage brun se détache du verre lorsqu'il est touché. D'ailleurs celle-ci fut déposée sur une paroi à l'extérieur de la cloche, à la moitié de sa hauteur.
- La cloche est recouverte d'une fine poussière et de la poussière s'est collée dans le produit de graissage.
- La partie bombée le verre a une zone fragilisée par une bulle qui le rend plus fin.

- Le produit de graissage est de couleur brune, il est probable que ce ne soit pas sa teinte d'origine et qu'il se soit oxydé.



A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 42 : Poussière à la surface du cristal, produit de graissage à la base, dépôt du produit de graissage sur une face de la cloche et bulle dans le verre.

III.V. Diagnostic

- Le cristal ne semble pas dégradé, mais il est fragilisé par ses défauts de fabrication.
- Le produit de graissage placé sur la bordure de la cloche devait permettre l'étanchéité de la cloche avec la base. Il fait donc partie intégrante de l'objet. La poussière à la surface de la cloche a dû se déposer lorsque l'horloge était encore à l'observatoire.
- Le produit de graissage fait partie intégrante de l'objet de par son utilisation. Il doit être conservé.

III.VI. Pronostic

- Incorrectement protégé des chocs, le cristal peut se casser ou se fêler. Il peut aussi être griffé.
- Si la cloche n'est pas dans un conditionnement fermé, la poussière va continuer de se déposer à sa surface. Le dépôt continuel de poussière entraîne le nettoyage régulier de l'objet, augmente les manipulations et le risque de casse.
- La poussière peut se coller sur le produit de graissage et sera donc difficile à enlever[187].
- Le produit de graissage ne doit pas frotter une surface ou être touché.
- Si la température est élevée cela accélère l'oxydation, de plus la graisse risque de couler[188].

IV. Pendule

IV.I. Dimensions

Hauteur : 113 cm Diamètre : 8 cm Poids : 8 kg

IV.II. Matériaux constitutifs et techniques de fabrication

- Alliage cuivreux, laiton.
- Alliage ferreux, aciers.
- Alliage de fer et de nickel, Invar®.

[187] Note de l'ICC 15/3, 2002, p.4.
[188] Note de l'ICC 15/3, 2002, p.4.

Elément	Technique de façonnage
Tige	Métal étiré à froid, tige filetée au tour automatique.
Plaquette	Métal laminé. Gravure à la main.
Poids	L'alliage cuivreux a été coulé dans un moule. La surface à été limée.
Poulet	Métal coulé, finition au tour et moletage*.
Bague	Tube étiré à froid, surface modifiée au tour automatique.

© HECR-Arc, 2013

Tableau 9 : Techniques de façonnage des éléments constitutifs du pendule.

IV.III. Description

A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 43 : Pendule de l'horloge Leroy.

Le pendule est constitué d'une longue tige d'invar® sur laquelle est fixé un poids cylindrique en alliage cuivreux. L'invar® de la tige est de couleur gris foncée avec un reflet rose c'est un alliage de fer à 36% de nickel[189]. Le nickel permet de rendre l'alliage résistant à la corrosion[190]. Cet alliage est utilisé dans les pendules car son coefficient de dilatation est très faible. Il est de $1{,}1.10^{-6}$ (coefficient α) K^{-1} contrairement à un acier par exemple, qui est de 12.10^{-6} [191]. Lors de changements de température la variation des dimensions de la tige est presque nulle. Or ce facteur influence la précision de l'horloge[192].

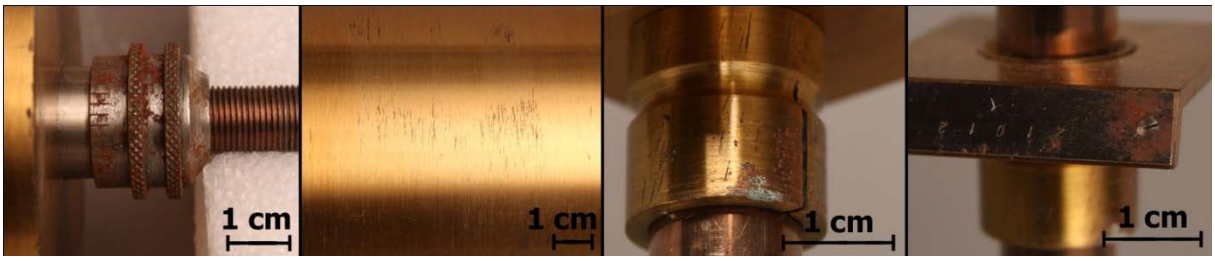
Le haut de la tige du pendule se termine par un crochet. Il sert à accrocher le pendule sur la goupille située au bas de la lame de la suspension[193]. La tige du pendule est filetée sur sa partie basse et à cet emplacement se visse le poulet de réglage. Il sert à régler la hauteur du poids sur la tige, ce qui influence la période d'oscillation du pendule[194]. Le poids est fait d'un alliage cuivreux, probablement du laiton. Une vis d'acier est vissée sur la partie haute du poids. Le poids peut glisser sur la tige.

Une plaquette, probablement en laiton se trouve en haut du pendule. Elle est montée sur une bague chassée sur la tige, faite aussi d'un alliage cuivreux. La bague est fendue sur deux côtés, sur les ¾ de sa hauteur. La plaque est carrée et pliée sur 1 cm. Sur cette partie deux vis fixent une plaquette d'acier gravée de graduations. Sous la plaquette, sur la tige est collé un ruban adhésif brun sur lequel « Leroy » est écrit au marqueur vert.

[189] Defossez, 1952, p.520.
[190] Selwyn, 2004, p.137.
[191] Reymondin *et al.*, 1998, p.319.
[192] Reymondin *et al.*, 1998, p.316.
[193] Reymondin *et al.*, 1998, p.315.
[194] Information donnée par Tobias Schenkel, (Conservateur-restaurateur et enseignant, Haute école Arc), lors d'un entretien daté du 17 mai 2013.

IV.IV. Constat d'état

- Le poulet de réglage présente un produit de corrosion brun. Il est surtout présent dans les graduations gravées à sa surface, ainsi que dans le moletage.
- Le poids du pendule présente des griffures noires.
- La bague de la plaquette comporte des griffures. Les moins profondes sont aussi présentes sur la tige d'invar® à proximité.
- Une piqure de corrosion bleu-vert claire s'est formée sur la bague.
- La plaquette d'acier gravé est corrodée sur une extrémité, au niveau de la vis. La corrosion est brun orangé et a un aspect de surface granuleux.
- Le ruban adhésif a été placé sur le pendule lors de se conservation au MIH.



A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 44 : Poulet de réglage corrodé, griffures noires sur le poids, griffures sur la bague et piqure de corrosion bleu verte, produit de corrosion brun sur la plaquette graduée.

IV.V. Diagnostic

- La corrosion du poulet de réglage est probablement due à une corrosion galvanique, surtout que le poids en alliage cuivreux et la tige d'invar® en contact avec cet élément ne sont pas corrodés. Or dans une corrosion galvanique, un des métaux se corrode plus vite que la normale et l'autre est protégé du phénomène. L'alliage de cuivre et celui de fer-nickel ayant un potentiel électrochimique plus élevé que celui de l'acier[195], celui-ci va se corroder. Plus cet écart est grand, plus le phénomène de corrosion galvanique sera important[196]. Cependant, les alliages de nickel comme l'Invar® sont très résistants à la corrosion, même si elle est influencée par des polluants[197]. La corrosion galvanique expliquerait aussi le fait que la plaquette en alliage ferreux vissée à la plaque en alliage cuivreux du haut du pendule, soit moins corrodée que le poulet de réglage en contact avec la tige d'invar®. La corrosion galvanique doit être aussi la cause de la corrosion de la plaque gravée d'acier, car le laiton qui est en contact direct n'est pas corrodé.
- La corrosion est essentiellement localisée dans les gravures. Se sont des zones anodiques où la surface du métal n'est pas régulière, où la corrosion va se développer préférentiellement[198]. Il en

[195] Selwyn, 2004, p.31.
[196] Selwyn, 2004, p.31.
[197] Trethewey et Chamberlain, 1988, p.361.
[198] Selwyn, 2004, p.24.

est de même de la bague sous la plaque. Le produit de corrosion bleu-vert s'est développé dans les griffures du métal.

- Les griffures de la bague et de la tige peuvent avoir été faites lors de l'assemblage du pendule, de son installation ou d'un transport.
- Le ruban adhésif n'est pas un élément constitutif du pendule.

IV.VI. Pronostic

- Afin d'empêcher la corrosion galvanique il faut séparer les métaux en contact. Si ceci n'est pas envisageable, elle sera ralentie par des conditions climatiques adaptées.
- Dans des conditions climatiques inadaptées tous les métaux vont se corroder.
- En cas de chocs et de frottements, il est possible que les métaux soient griffés. Il en est de même si le poids n'est pas immobilisé lors de déplacements. Il va glisser sur la tige en engendrant des dégradations mécaniques comme des griffures.
- Si le pendule est mal conditionné et manipulé sa tige va se tordre.
- L'adhésif du ruban va se déposer sur la tige et l'encre peut le transpercer, engendrant ainsi des salissures. L'adhésif du ruban peut s'acidifier avec le temps[199] et favoriser la corrosion du métal sous-jacent. Il doit être enlevé et un autre moyen de désignation doit être employé.

V. Baromètre

V.I. Dimensions

Hauteur : 87 cm Largeur : 5 cm Profondeur : 3 cm Poids : 1 kg

V.II. Matériaux constitutifs

- Alliages cuivreux, dont laiton
- Bois
- Peinture noire
- Vernis
- Alliage ferreux, dont acier
- Mercure
- Textile
- Verre

Elément	Technique de façonnage
Bois	Bois scié, poncé et enduit de verni.
Tubes de verre	Verre soufflé et étiré à chaud, sections soudées ensemble. Gravure à la main à froid.
Attaches de laiton	Métal laminé, découpe à la scie et mise en forme manuelle.
Plaque de laiton	Métal laminé, gravure et peinture à la main.
Fixation du baromètre	Laiton coulé, limage de la surface du métal.
Tige d'acier	Métal étiré à froid, puis tordu avec ou sans recuit. Fibres enroulées dessus.

Tableau 10 : techniques de façonnage des éléments constitutifs du baromètre.

[199] Hatchfield, 2002, p.100.

A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Rapport-Gratuit.com

V.III. Description

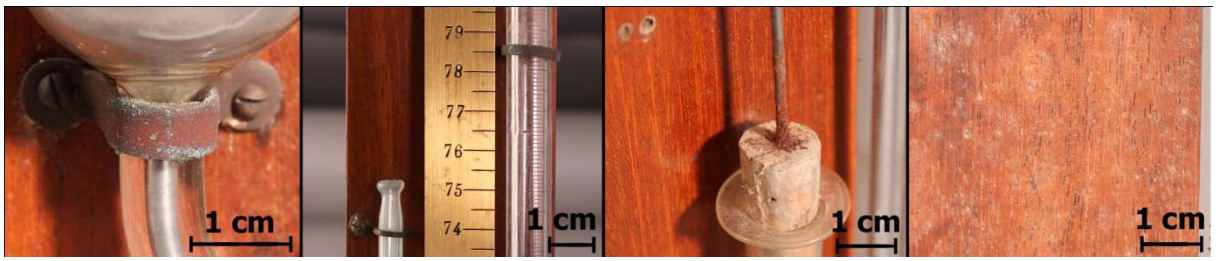
Le baromètre est constitué d'une planchette de bois de forme rectangulaire où sont vissés les éléments. Sur un côté est vissé un élément en alliage cuivreux permettant de fixer le baromètre dans la colonne. Les faces visibles du bois sont recouvertes d'un verni-laque et au dos il est laissé brut. En haut est fixé un thermomètre par deux lamelles en alliage cuivreux vissées au bois. C'est un tube de verre remplit de mercure et recouvert de graduations noires. En haut au centre du bois est fixée, une plaque probablement faite de laiton, où sont inscrites à l'encre noire les graduations du baromètre. Le tube du baromètre mesure toute la hauteur de la planchette de bois, il est maintenu par trois lamelles en alliage cuivreux vissées au bois. Sur le haut du tube, la surface du verre est gravée de graduations. En bas le tube est coudé et se termine par un réservoir. Il est de forme cylindrique avec des extrémités sphériques. Le goulot du réservoir a le même diamètre que le tube, il est fini par une lèvre. Le réservoir est fermé par un bouchon de liège, transpercé par une tige d'acier. Son extrémité extérieure forme une boucle. A l'intérieur du réservoir, des fibres de couleur écru sont enroulées sur la tige.

A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 45 : Baromètre de l'horloge Leroy

V.IV. Constat d'état

- La lamelle en alliage cuivreux située sous le réservoir est noire aux extrémités vissées au bois. Son centre est de couleur rouge et ses bordures sont recouvertes d'un produit de corrosion bleu-vert clair dont l'aspect de surface est granuleux. Les lamelles du haut des tubes de verre sont aussi de couleur noire.
- La partie de la tige en alliage ferreux est corrodée sur sa section proche du bouchon et des fibres. Le produit de corrosion est brun orangé et a un aspect de surface granuleux.
- Le bouchon de liège est recouvert de fins filaments blancs. Des filaments du même type se retrouvent sur la partie brute du bois.
- Le verre des tubes et du réservoir sont en bon état. Ils comportent des défauts comme des bulles.
- Le bois est percé de quatre trous situés au-dessus du réservoir et un en dessous. Quatre trous se trouvent aussi au dos du baromètre.
- Présence de poussière sur les parties horizontales.

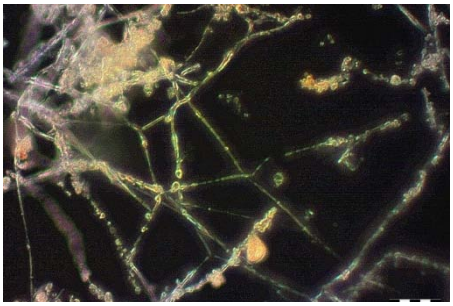


A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 46 : Lamelle en alliage corrodée sous le réservoir ; deux lamelles corrodées en haut du baromètre ; trou dans le bois, tige corrodée et filament sur le bouchon ; probable moisissures au dos.

V.V. Diagnostic

- Le bois émet des composés organiques volatils ayant pour effet de favoriser la corrosion des métaux[200], il est probable que cela ait joué un rôle dans la corrosion des éléments de cuivre. Cependant les produits de corrosion des attaches des tubes ne sont pas tous aussi importants, or elles sont toutes en contact avec le bois.
- La plaque graduée en laiton ne présente pas de produits de corrosion. Elle est peut-être recouverte d'un verni-laque protégeant le métal[201].
- Dans des conditions climatiques inadaptées les métaux vont se corroder.
- La corrosion de la tige en alliage ferreux a dû être favorisée par les COV émis par le liège et les fibres.
- Le verre des tubes et du réservoir est fin. Sa fragilité est augmentée par les défauts.
- Des filaments blancs situés sur le bouchon de liège, et au dos du bois ont été prélevés avec un ruban adhésif transparent qui est collé sur lamelle de verre Après observation à la binoculaire à un grossissement 50 x et 20 x en fond noir. Des hyphes* formant du mycélium* et des spores sont visibles. La moisissure n'est pas active car aucun conidiophore* n'est visible, ceux-ci étant un signe de reproduction et de développement[202].



A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 47 : Hyphes formant du mycélium, prélèvement effectué au dos du baromètre. Binoculaire, fond noir, agrandissement 50 X.

- La poussière étant hygroscopique elle favorise la corrosion des métaux et le développement des moisissures[203].
- Les trous dans le bois indiquent des modifications du baromètre.

V.VI. Pronostic

- Le bois étant ancien il ne doit plus émettre de COV, donc ce facteur influencera moins la corrosion.
- Dans des conditions climatiques adaptées, les moisissures dormantes ne sont pas un danger pour l'objet. Cependant si cela vient à changer, elles proliféreront.
- Dans des conditions climatiques inadaptées le bois pourrait se déformer et se fissurer, et faire éclater le verni-laque[204].
- Dans des conditions climatiques inadaptées tous les métaux vont se corroder.
- Le moisissures doivent être enlevées.

[200] Goffard, 2009 [en ligne].
[201] Barclay et Hett, 2007, p.2.
[202] Guild et MacDonald, 2006, p.1.
[203] Guild et MacDonald, 2006, p.5.
[204] Note de l'ICC 7/2, 2002, p.3.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

- En cas de mauvaises manipulations ou de conditionnement inadapté, les éléments en verre du baromètre pourraient être cassés et le mercure déversé.
- L'objet doit être protégé de la poussière.

VI. Colonne

VI.I. Dimensions

Hauteur : 115 cm Diamètre : 38 cm Poids : 50 kg

VI.II. Matériaux constitutifs et techniques de façonnage

- Acier
- Peinture blanche
- Produit de graissage
- Alliage cuivreux
- Polymère, Polychlorure de vinyle (PVC)

Elément	Technique de façonnage
Colonne	Plaque laminée tordue et soudée. Assemblages des parties par soudure. Col de la colonne façonné par fraisage* et limage.
Tube de laiton	Etiré à froid.

Tableau 11 : techniques de façonnage des éléments constitutifs de la colonne.

© HECR-Arc, 2013

VI.III. Description

La colonne est en acier, recouvert sur l'extérieur d'une peinture blanche. La colonne est trouée et une zone circulaire exempte de peinture comporte des vis et un produit de graissage. Le haut de la colonne est plus large pour pouvoir la poser sur l'anneau de fixation. Le haut de la colonne est plat avec une rainure du côté interne. A cet emplacement se trouvent deux vis permettant de fixer le mouvement de l'horloge.

Sept fils électriques devant se raccorder au mouvement sont boulonnés sur une plaque à l'intérieur de la colonne. Ils sont rassemblés dans un tube en alliage cuivreux sur lequel est vissée une vis faite d'un même alliage permettant la fixation du tube sur la base du mouvement. Le plastique utilisé dans les gaines des fils électriques pour leur isolation est un thermoplastique nommé polychlorure de vinyle.

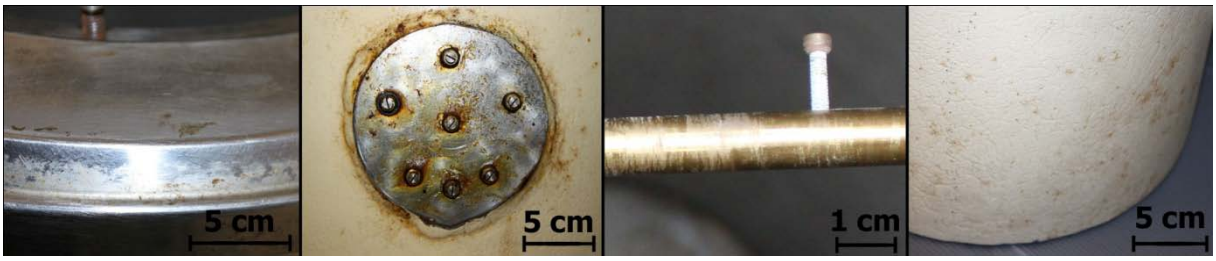
Figure 48 : Colonne de l'horloge Leroy et fils à l'intérieur de celle-ci.

A. Vecten © HECR-Arc, 2013

VI.IV. Constat d'état

- Le trou sur la colonne était l'emplacement du robinet permettant de réduire la pression dans l'horloge qui est manquant. Est aussi absente une des vis fixant le mouvement à la colonne.
- Un produit de graissage recouvre l'emplacement où sont vissés les fils électriques et le tour de l'emplacement du robinet manquant. Des traces de graissage sont aussi visibles sur le haut de la colonne.

- La vis située sur le tube des fils électriques est recouverte d'un produit de corrosion bleu-vert clair au niveau de son filetage. La surface du tube comporte des zones blanchâtres, ternissure du laiton.
- Sur la colonne, la peinture est griffée par endroits. De nombreuses marques foncées et brunes marquent la peinture, ainsi que des griffures.
- L'acier ne présente pas de traces de corrosion à l'intérieur de la colonne.



A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 49 : Surface du haut de la colonne recouverte avec des taches de graissage ; plaque de fixation des fils électriques enduite de graisse ; tube en laiton terni, vis recouverte d'un produit de corrosion bleu vert ; bas de la colonne, taches brunes et noires.

VI.V. Diagnostic

- Le produit de graissage se trouvant à plusieurs endroits devait servir à l'étanchéité.
- Les traces foncées sur la peinture sont dues à des taches.
- Les taches brunes sur la peinture sont probablement dues à la corrosion de l'acier sous-jacent.
- Les griffures peuvent être dues à des chocs ou des frottements.
- Le PVC des gaines des fils électriques émet du chlorure d'hydrogène favorisant la corrosion des métaux[205]. Cela a favorisé la corrosion du tube et de la vis.

VI.VI. Pronostic

- Dans des conditions climatiques inadaptées tous les métaux vont se corroder.
- Si la colonne subit des chocs et des frottements, la peinture de la colonne continuera d'être altérée et tachée.
- Le produit de graissage de la plaque des boulons peut favoriser la corrosion de l'acier de la colonne, cependant c'est un élément constitutif de l'objet.
- Si la température est élevée la graisse risque de couler et cela accélèrera son oxydation[206].
- Si la corrosion continue de se développer, la peinture va être soulevée et tomber en écailles[207].
- Il est probable que le PVC se dégrade s'il est exposé à la lumière car c'est un plastique instable[208]. Il émettra donc des polluants qui continueront de favoriser la corrosion des métaux en contact avec le polymère.

[205] Quye et Williamson, 1999, p.102.
[206] Note de l'ICC 15/3, 2002, p.4.
[207] Logan, 2007b, p.2.
[208] Quye et Williamson, 1999, p.127.

VII. Anneau

VII.I. Dimensions

Hauteur : 39 cm Largeur : 40 cm Profondeur : 39 cm Poids : 20 kg

VII.II. Matériaux constitutifs et technique de façonnage

- Alliages ferreux, fonte et acier
- Peinture noire

Elément	Technique de façonnage
Anneau	Métal coulé dans un moule.
Attaches	Tiges étirées à froid et façonnées au tour.

Tableau 12 : Techniques de façonnage de l'anneau de fixation.

© HECR-Arc, 2013

VII.III. Description

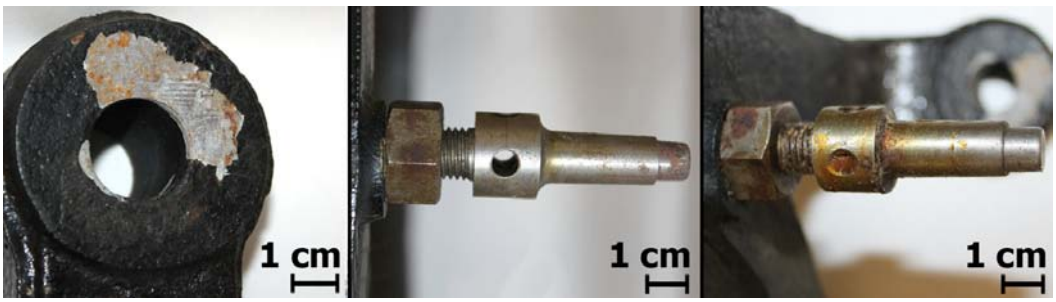
L'anneau de fixation est fait de fonte, dont la surface est peinte en noire. Il s'agit d'un anneau placé entre deux parties triangulaires. Celles-ci permettaient la fixation de l'horloge à un mur par le biais de 4 vis. Dans l'anneau s'insérait la colonne, les trois tiges d'acier vissées sur l'anneau assemblant les deux éléments.

Figure 50 : Anneau de fixation posé sur la partie se fixant au mur.

A. Vecten © HECR-Arc, 2013

VII.IV. Constat d'état

- La peinture est écaillée au niveau de l'emplacement des vis permettant de fixer l'anneau au mur ainsi que sur les arrêtes de l'objet.
- La fonte est recouverte dans les zones où le métal est à nu de taches de corrosion brune.
- Deux des tiges de fixation sont recouvertes de piqures de corrosion brune.
- Les tiges de fixation sont enduites de graisse. Sur deux se trouvent seulement quelques traces à la base et une en est recouverte presque dans son intégralité.



A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 51 : Peinture écaillée et produit de corrosion brun ; tige de fixation recouverte de piqures de corrosion brune ; tige enduite de graisse.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

VII.V. Diagnostic

- En cas de chocs et de griffures la peinture peu s'écailler. Cela est aussi provoqué par la corrosion du métal sous jacent[209].
- La corrosion de la fonte s'est développée à une époque où l'objet se trouvait dans des conditions climatiques non adaptées.

VII.VI. Pronostic

- Si l'anneau subit des chocs, la peinture peut s'écailler. La peinture peut aussi s'enlever lors de frottements.
- Dans des conditions climatiques inadaptées les métaux vont se corroder. Dans ce cas cela accélérera le soulèvement de la peinture.

[209] Logan, 2007b, p.2.

Annexe 3. Caractéristiques des matériaux utilisés pour la conception des conditionnements

I. Carton ondulé non acide, de 0,2 cm d'épaisseur.

A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 52 : Carton ondulé non acide gris et blanc.

C'est un carton non acide utilisé pour la fabrication des plateaux et boîtes. Les feuilles de carton cannelées de qualité dites archives, ce qui fait qu'elles sont non acides. Elles sont fabriquées à base d'une pâte chimique, de ce fait elles sont sans lignine.

Le carton ondulé a l'avantage d'être un matériau tampon. De ce fait, une boîte constituée de carton cannelé peut aider à stabiliser l'humidité relative dans l'environnement proche de l'objet[210].

Si le carton a une réserve alcaline, cela ne posera par de problème avec les matériaux constitutifs de l'horloge. Cependant, avec le temps ce type de carton s'acidifie et son pH devient environ 6[211]. Le carton doit donc être changé avec le temps. Cela ne pose pas de graves problèmes lors de la conception de boîtes car l'objet n'est pas en contact direct avec le carton. Le milieu n'est pas non plus hermétique.

II. Coussin d'air

A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 53 : Coussins d'air de dimensions variables, faits de film de polyéthylène différents.

Les coussins d'air sont un type de matelassage constitué deux films de polyéthylène thermosoudé ensemble afin de former des coussins de tailles différentes. Ceux-ci sont indépendants les uns des autres. Si un coussin vient à se percer, les autres resteront gonflés. Adaptés au poids de l'objet qu'ils calent, ils ne s'écraseront pas avec le temps[212]. De plus, les matelassages faits de coussins d'air nécessitent moins de matière que les mousses, vu qu'ils contiennent plus d'air. Ils offrent donc un gain de poids non négligeable[213].

Le film est fait d'une base de PE basse ou haute densité à laquelle est parfois ajouté du Polyamide[214] ou du Nylon®[215]. Il peut aussi contenir des additifs afin de le rendre antistatique ou accélérer sa biodégradation. Il n'est pas sûr qu'il existe du film pour coussin d'air exempt de tout additif. Tous les films comportent des impressions. Cependant certaines marques comme Air-Paq® proposent des films

[210] Préserv'art, 2004 [en ligne].
[211] Tétreault, 1992, p.171.
[212] Air-paq, 2012 [en ligne].
[213] FROMM, 2011 [en ligne].
[214] FROMM, 2011 [en ligne].
[215] Air-paq, 2012 [en ligne].

où l'encre est du côté du plastique se trouvant dans les alvéoles et donc ne pouvant pas entrer en contact avec la surface des objets.

III. Ethafoam®

A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 54 : Mousse d'Ethafoam®.

L'Ethafoam® est une mousse de polyéthylène pur, non réticulée et à cellules fermées[216]. Elle existe en différentes épaisseurs alvéolaires et densités. Celles utilisées dans les musées sont blanches ou grises car elles sont stables. Les mousses bleues ou roses contiennent des additifs instables, ce qui les rend mauvaises pour la conservation à long terme dans les musées[217]. La mousse de polyéthylène se trouve en plaques de différentes tailles et épaisseurs, ainsi que sous forme de baguettes ou de tubes. Ce matériau adhère difficilement avec un adhésif, par contre il peut être soudé à la chaleur avec un décapeur thermique. La surface des plaques d'Ethafoam® est lisse, mais la mousse devient abrasive une fois coupée. Ce type de mousse est facilement travaillé avec des outils coupants.

IV. Mousse de polyuréthane

A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 55 : Mousse de polyuréthane.

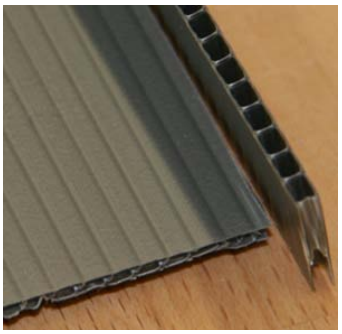
Il existe deux types de mousses de polyuréthane, l'éther et l'ester de polyuréthane. Il s'agit de mousses à alvéoles ouvertes. La mousse d'éther de polyuréthane est moins coûteuse que celle d'ester de polyuréthane. La mousse de d'éther est fabriquée à base d'un polymère uréthane et de polyéther triol, alors que celle d'ester est faite du même polymère avec du polyester[218]. Elle est aussi plus souple et ses alvéoles plus larges[219]. Visuellement il est difficile de différencier ces deux mousses, mais l'éther est la plus communément employée.

Ces mousses de PU sont souvent de couleur gris-noir. Elles ont une très bonne capacité antichoc, par contre elles sont instables chimiquement et se dégradent rapidement[220]. Elles deviennent alors cassantes et se désagrègent[221]. C'est pour cela qu'il faut utiliser des mousses neuve, une mousse qui se désagrège n'aura pas les propriétés mécaniques que l'on recherche[222]. De plus, lorsqu'elle est dégradée la mousse s'effrite et ses morceaux très électrostatiques vont se coller

[216] Préserv'art, 2004 [en ligne].
[217] Schlichting, 1994, p.1.
[218] The foam factory [en ligne] 2012.
[219] The foam factory [en ligne] 2012.
[220] Illes, 2004, p.99.
[221] Préserv'art, 2004 [en ligne].
[222] Préserv'art, 2004 [en ligne].

sur les surfaces. Toutefois ces mousses conviennent pour le matelassage d'une caisse en vue d'un transport de courte durée[223].

V. Panneaux de polypropylène cannelé



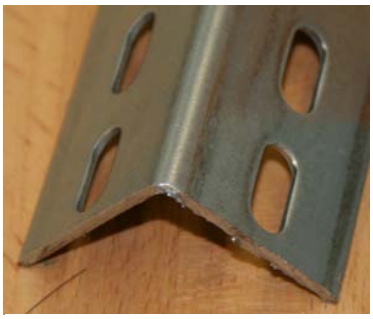
A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 56 : Polypropylène cannelé gris.

Les feuilles de plastiques cannelées sont composées à 90% de polypropylène et à 10% de polyéthylène. Ces feuilles sont fabriquées avec un procédé d'extrusion en continu, ce qui offre une large gamme de tailles disponibles[224]. Elles existent aussi en différentes épaisseurs, taille de cannelure et densité du copolymère. Les feuilles de plastique cannelé se coupent facilement à la main. Les feuilles de plastique cannelé sont blanches ou grises.

Les panneaux de PP cannelé sont légers et stables chimiquement. Ils permettent de faire des supports plats ou des boites car ils se travaillent facilement[225]. Grâce au système de cannelures, ces plaques ont une bonne capacité antichoc[226]. Par contre ce matériau est aussi très électrostatique[227]. Ce matériau n'absorbe pas l'humidité, donc dans un environnement complètement clos, si des variations de température importantes surviennent, de la condensation pourrait se former dans le conditionnement[228].

VI. Profilés d'acier zingué



A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 57 : Profilé d'acier zingué.

Les barres d'acier zingué sont profilées en forme de V. Elles sont perforées à un intervalle régulier sur leurs deux faces car elles peuvent être utilisées à la conception d'étagères fixes. Elles sont laminées et coupée de différentes longueurs.

L'acier galvanisé est un alliage ferreux recouvert d'une couche de zinc, selon des techniques qui peuvent varier[229]. Ce plaquage offre une protection de l'acier contre la corrosion, en faisant une barrière physique et en se corrodant préférentiellement[230]. Les barres d'acier sont aussi très résistantes à la déformation et la rupture de par leur forme et leur épaisseur.

[223] Préserv'art, 2004 [en ligne].
[224] Schlichting, 1994, p.1.
[225] Barclay *et al.*, 1998, p.8.
[226] Illes, 2004, p.99.
[227] Illes, 2004, p.99.
[228] Illes, 2004, p.101.
[229] Selwyn, 2004, p.197.
[230] Selwyn, 2004, p.32-33.

VII. Ruban de coton non acide.

A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 58 : Ruban de coton.

Ruban fait de 100% de fibres de coton tissées, de couleur blanches. Il permet de faire des attaches pour maintenir les objets en place. Vu qu'il est non acide, il peut être en contact direct avec l'objet. Toutefois, il ne faut pas que la surface de l'objet soit fragile ou pulvérulente. Si la surface de l'objet risque de se déformer à la pression, le ruban ne doit pas être trop serré. Le ruban de coton est aussi un matériau tampon[231]. Le ruban doit être choisi non coloré, de teinte écrue[232].

VIII. Velcro®

A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 59 : Attache Velcro®

Il s'agit d'attaches sous forme de ruban de nylon® qui s'accrochent par contact[233]. Les attaches Velcro® permettent d'attacher des éléments ensemble, elles nécessitent d'appliquer une certaine force pour les séparer. Celles utilisées dans les conditionnements doivent être sans surface autocollante[234]. Cependant ces attaches ne peuvent pas être utilisées en contact direct avec les objets[235] surtout que le Nylon rend leur surface abrasive.

Rapport-Gratuit.com

[231] Préserv'art, [en ligne], 2004.
[232] Tétreault, [en ligne], 1993.
[233] Préserv'art, [en ligne], 2004.
[234] Barclay et al., 1998, p.18.
[235] Préserv'art, [en ligne], 2004.

Annexe 4. Schémas des conditionnements

I. Schémas des conditionnements pour la mise en réserve

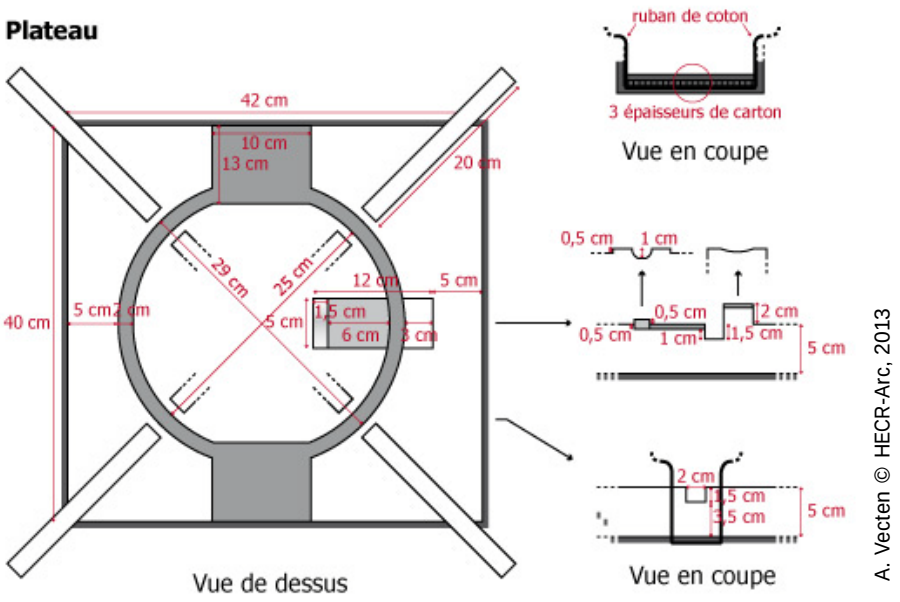


Figure 60 : Schéma et mesures du plateau du conditionnement du mouvement.

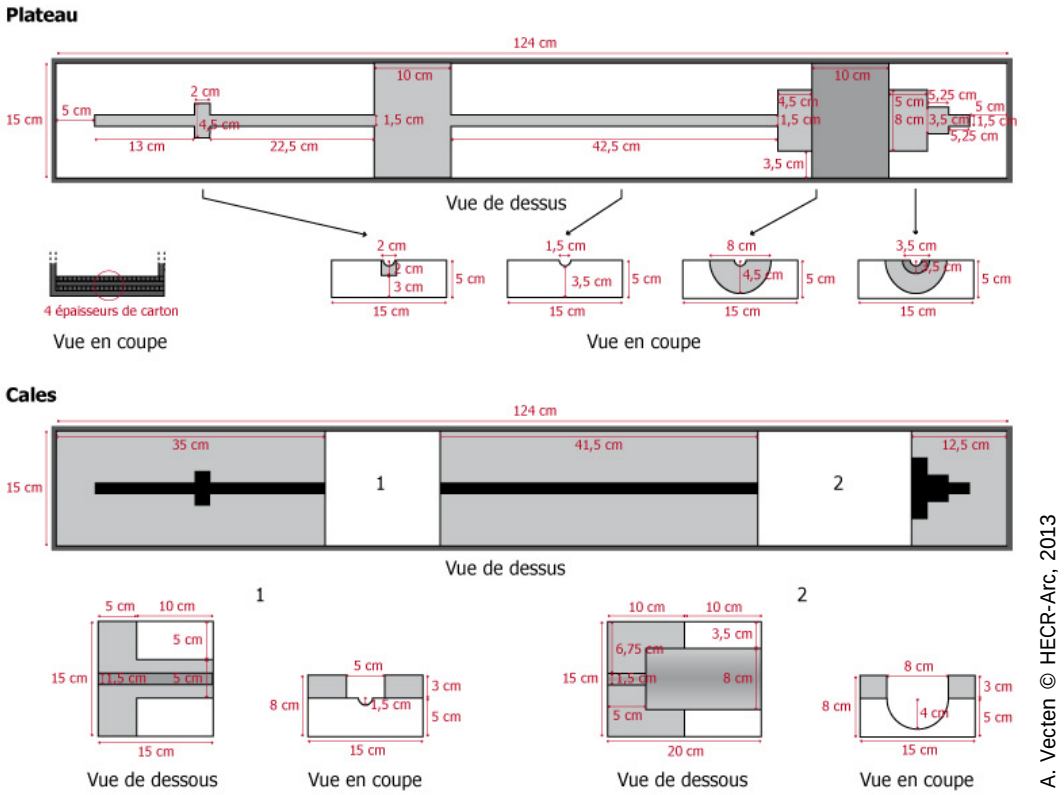


Figure 61 : Schéma et mesures du conditionnement du plateau du pendule.

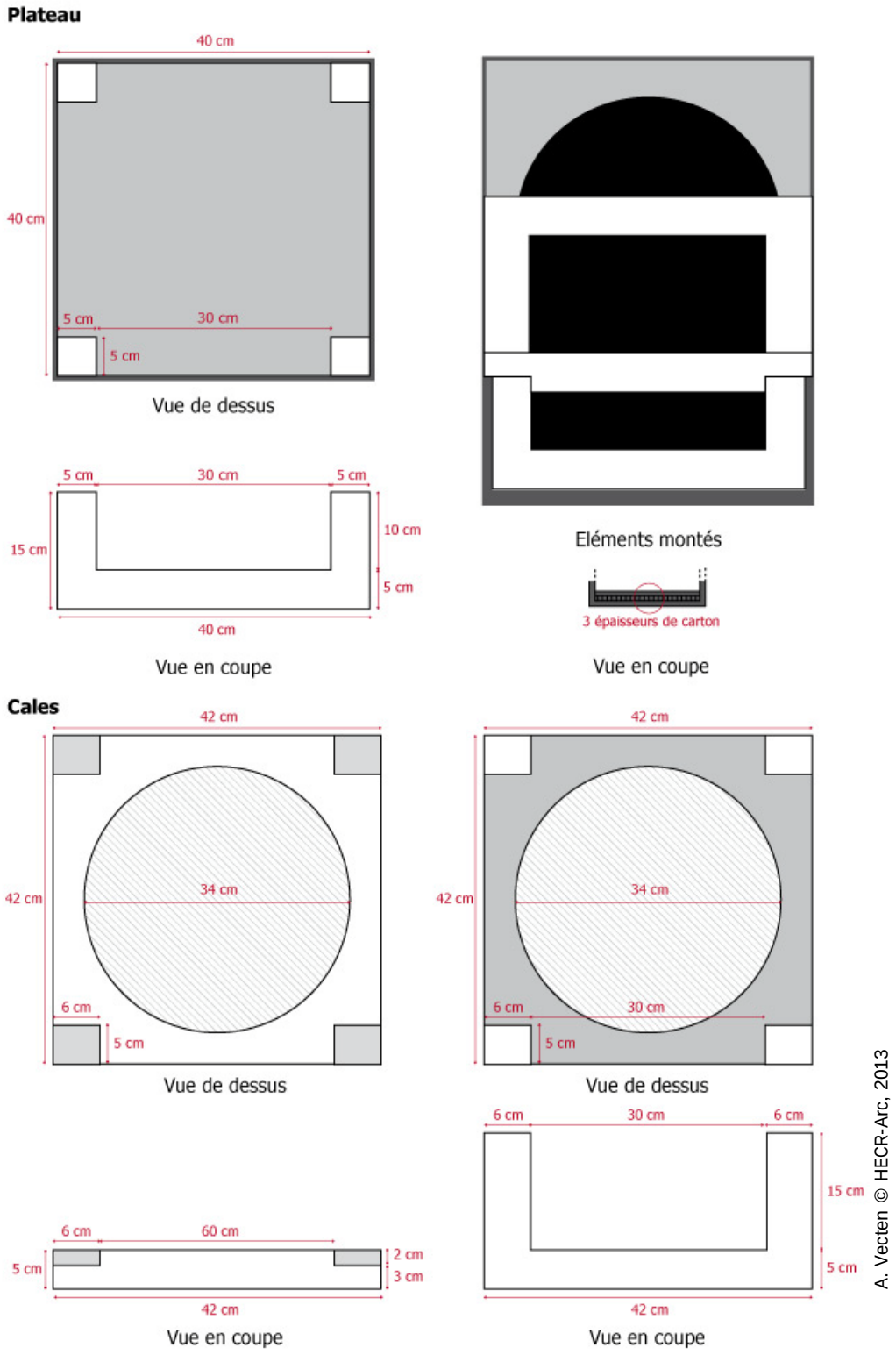


Figure 62 : Schéma et mesures du conditionnement du plateau du pendule.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

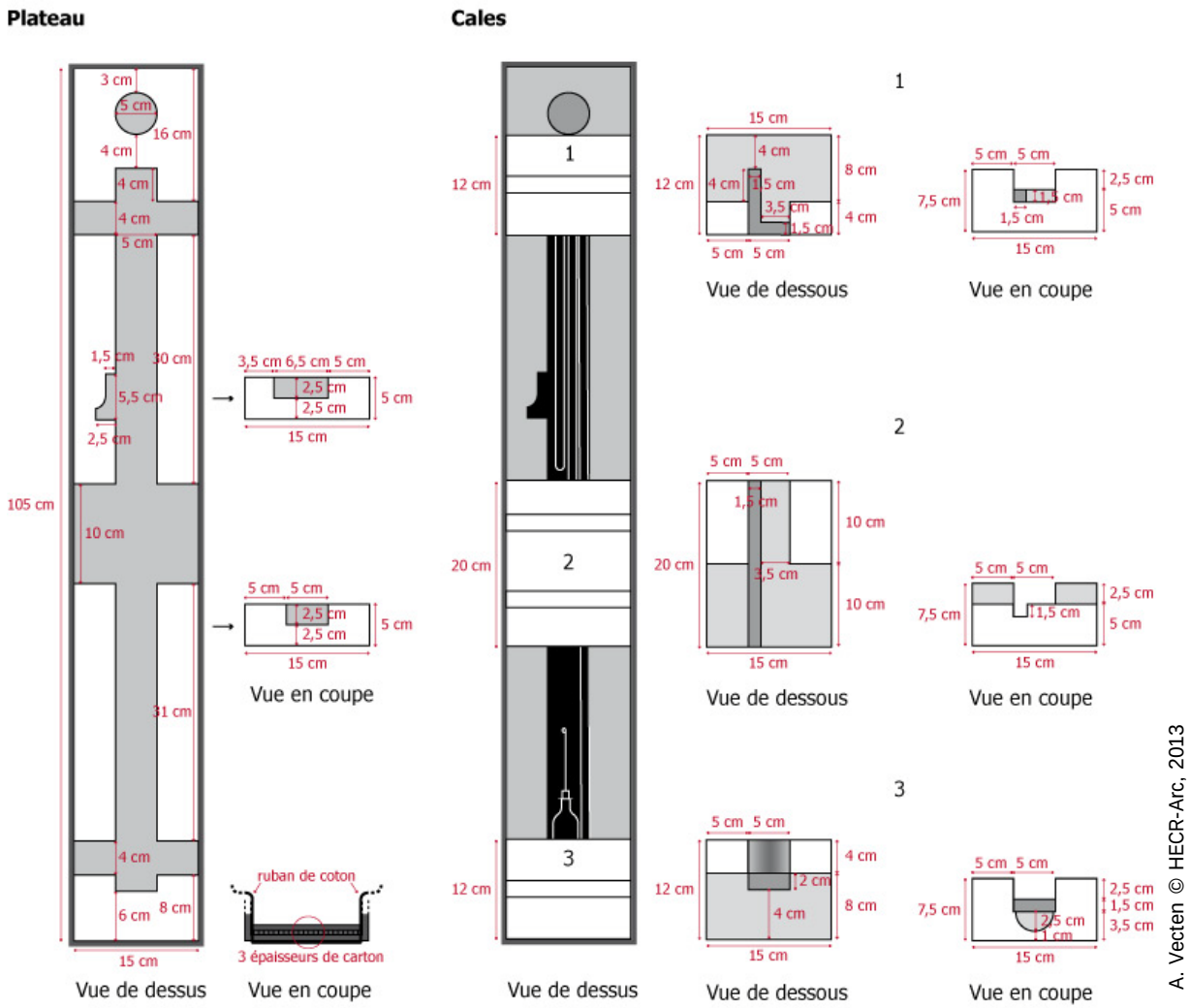


Figure 63 : Schéma et mesures du conditionnement du plateau du baromètre.

II. Schémas des conditionnements pour le transport

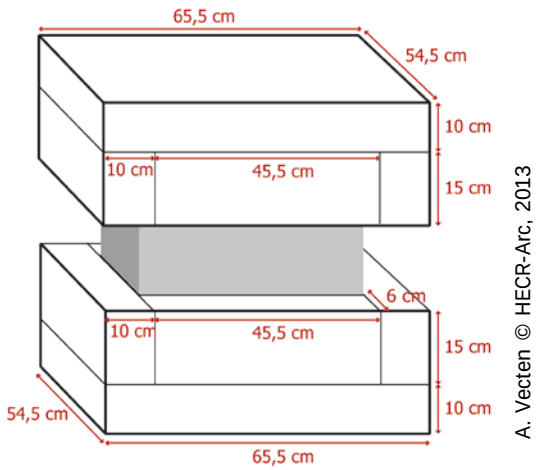


Figure 64 : Mesures des éléments de calage du mouvement.

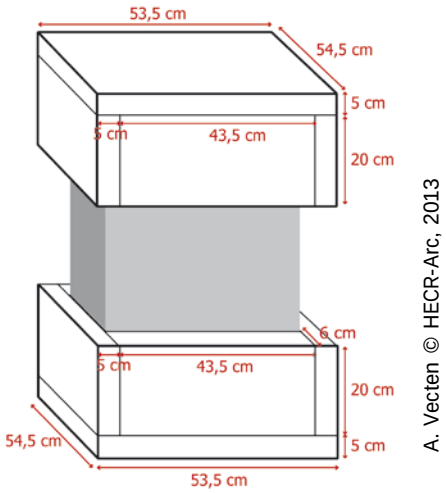
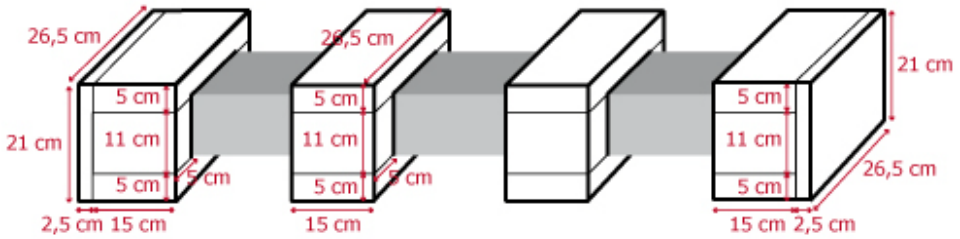
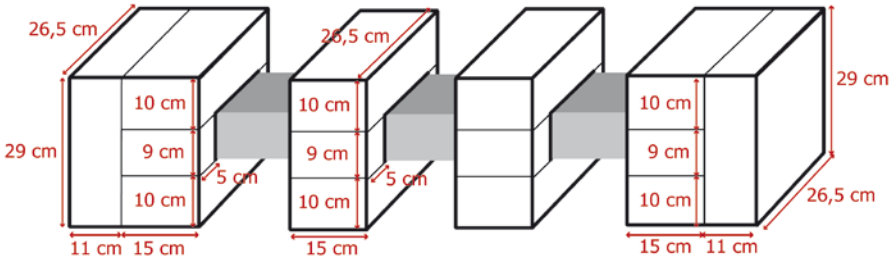


Figure 65 : Mesures des éléments de calage de la cloche.



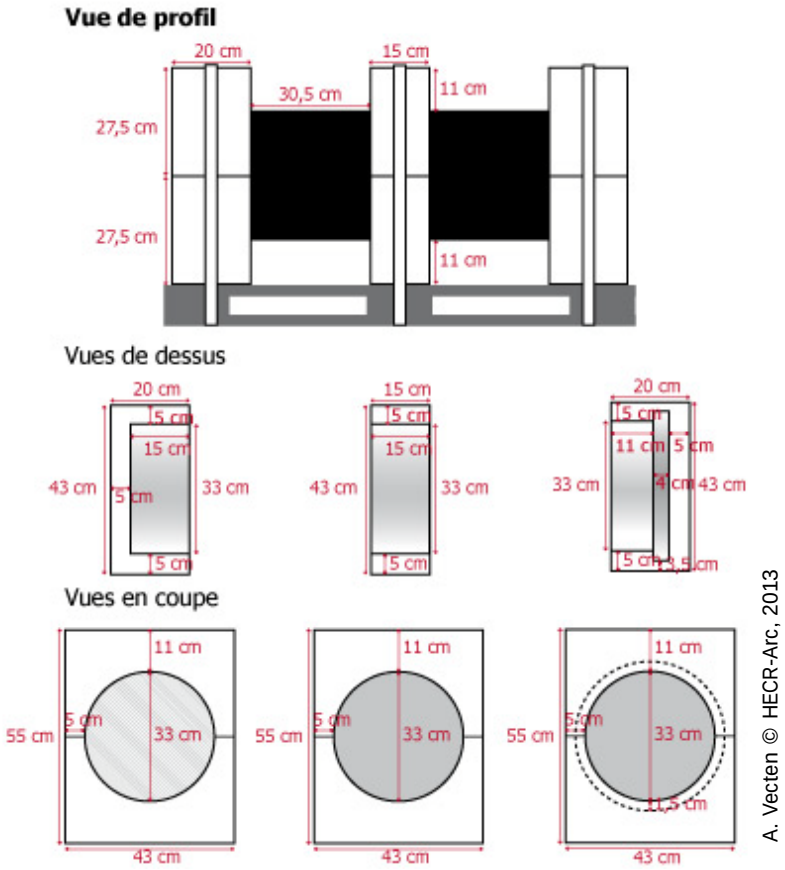
A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 66 : Mesures des éléments de calage du pendule.



A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 67 : Mesures des éléments de calage du baromètre.



A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 68 : Éléments de calage de la colonne.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

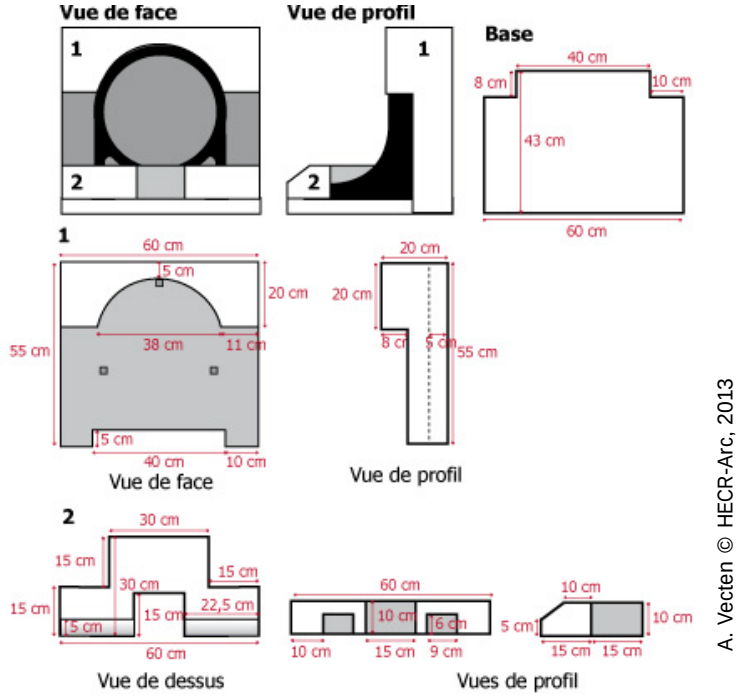


Figure 69 : Éléments de calage de l'anneau.

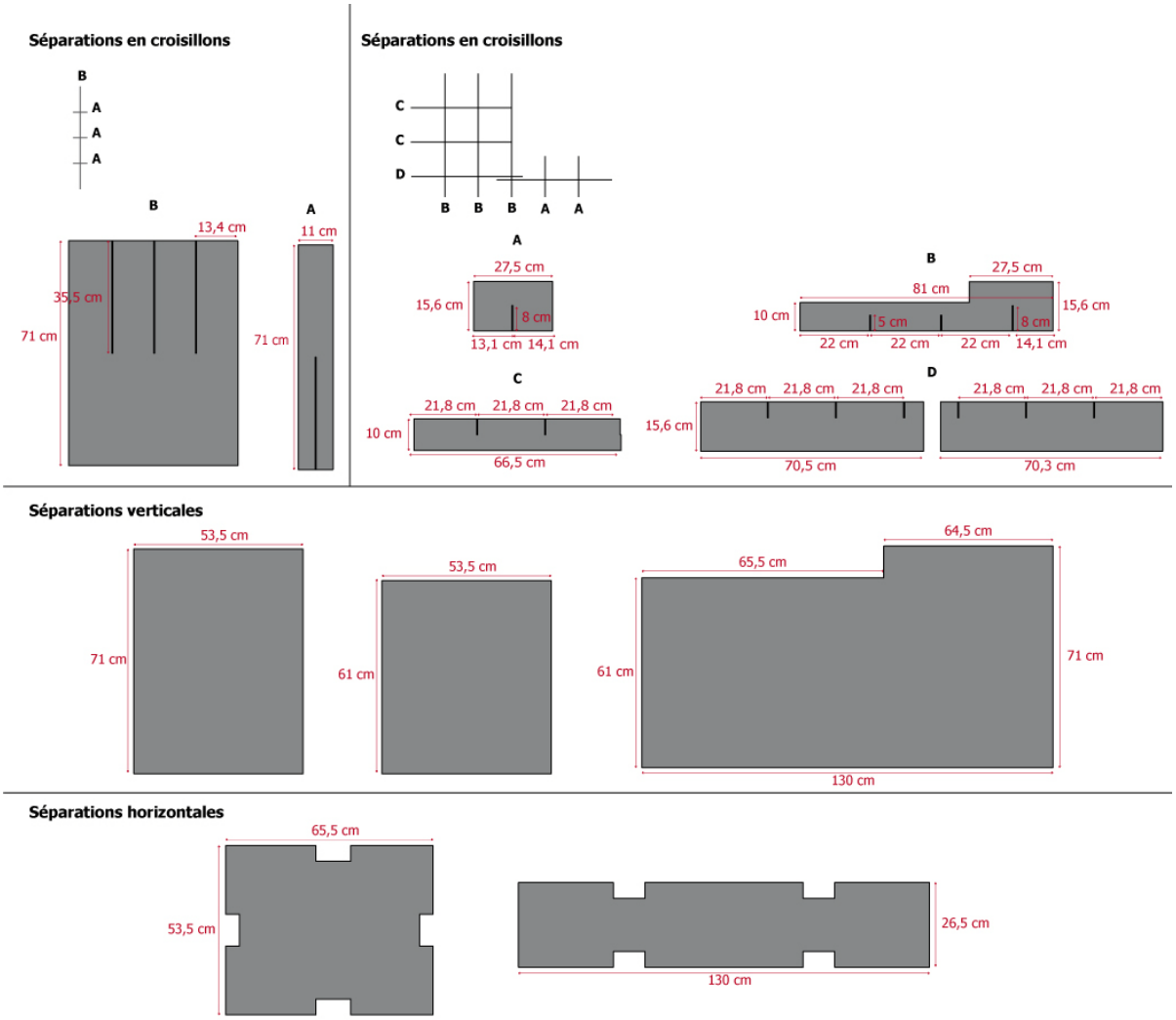
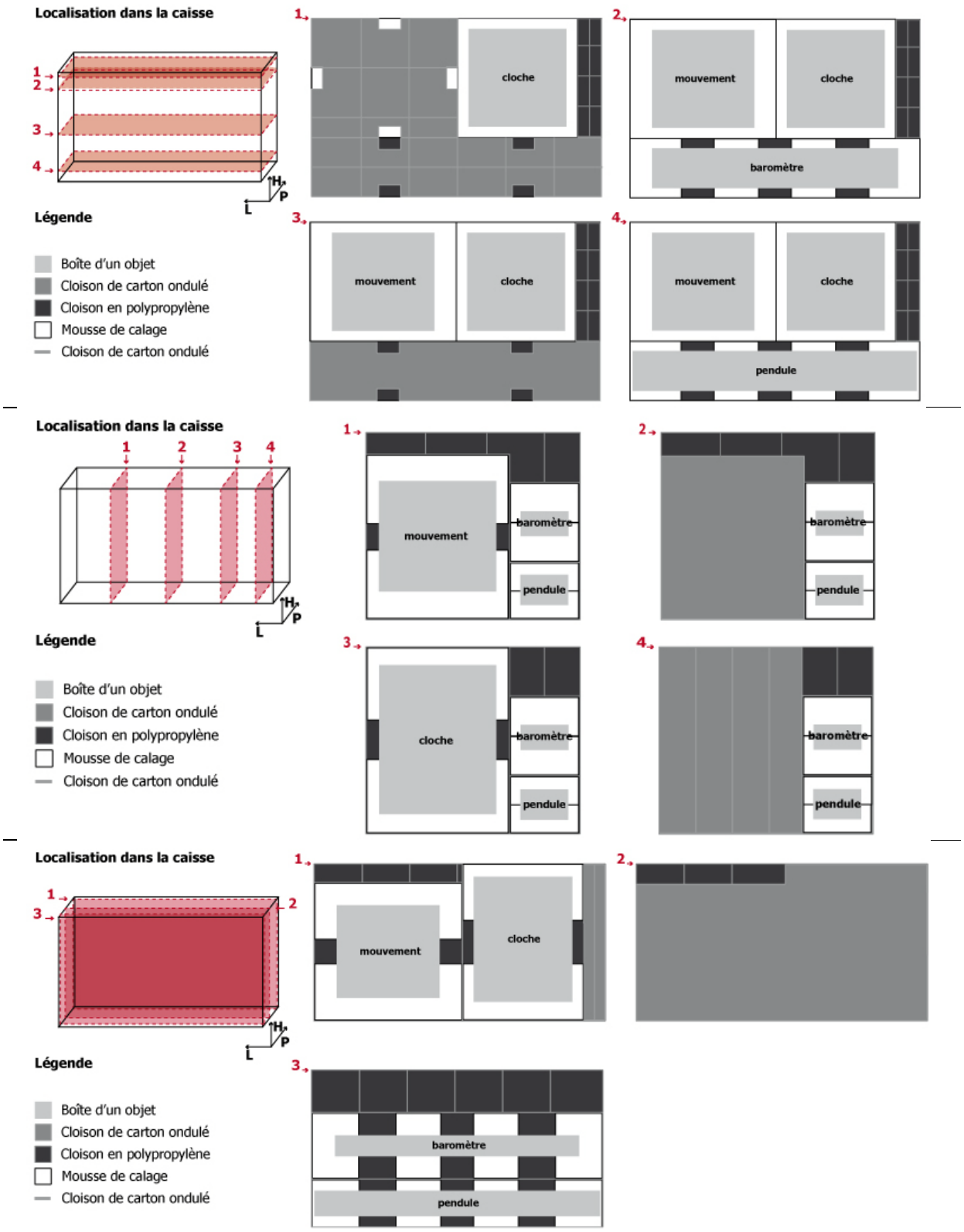


Figure 70 : Dimensions des croisillons et cloisons de séparation dans la caisse de transport

III. Notice pour le placement des éléments dans la caisse de transport



A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 71 : Positionnement des éléments dans la caisse de transport selon la hauteur, la profondeur et la largeur.

Annexe 5. Recommandation pour la manipulation du mercure

Le mercure est un métal lourd, nocif pour l'environnement et l'être humain. Il ne faut pas entreprendre des manipulations, consistant à vider les tubes par exemple, sans connaissances dans le domaine[236]. Le mercure dans le tube du baromètre est un mercure distillé et sans impuretés.

Toutefois si cela venait à se produire, en cas de projection de mercure il ne faut pas :

- Aspirer le mercure avec un aspirateur, cela le rend gazeux et plus nocif.
- Le brosser, car les poils vont casser les gouttes de mercure en de plus petites gouttes plus difficiles à récupérer.
- Le nettoyer avec des produits de nettoyage classique. L'ammoniaque et les chlorures réagissent avec le mercure, ce qui forme des gaz toxiques[237].

Il faut :

- Se munir d'un kit de récupération du mercure[238]
- Faire appel à une société spécialisée et à un hygiéniste industriel[239].

[236] Note de l'ICC 7/1, 2002, p.3.
[237] Martin et Winsor, 2006 [en ligne].
[238] Martin et Winsor, 2006 [en ligne].
[239] Note de l'ICC 7/1, 2002, p.3.

Annexe 6. Test d'Oddy

I. Matétiaux testés

I.I. Métaux

- Acier contenant peu de carbone
- Cuivre
- Plomb
- Laiton

Les métaux constitutifs de l'horloge Leroy sont des alliages cuivreux ou ferreux. Pour le sûr, l'horloge est faite d'acier et de laiton. Du cuivre est toutefois testé car la base du mouvement est peut-être faite de bronze. Un alliage d'étain et de cuivre, alors que le laiton est fait de zinc et de cuivre. Si le cuivre se corrode en présence d'un composé, il en sera de même de ses alliages. L'acier utilisé contient un faible pourcentage de carbone et est proche du fer. Comme dans le cas du cuivre, si de la corrosion se développe sur du fer, il en sera de même sur de l'acier ou de la fonte.

Le plomb n'entre pas dans la composition de l'horloge. Cependant, il réagit à certains polluants plus rapidement que d'autres métaux. Il sert d'indicateur que l'échantillon dégage un polluant pouvant altérer les autres métaux.

I.II. Echantillons de matériaux de stockage

- Mousse de polyéthylène
- Carton acide
- Carton non acide
- Bois aggloméré
- Bois de palette
- Film de polyéthylène pour coussin d'air
- Polypropylène cannelé
- Polyuréthane
- Velcro®

Sont testé les différents matériaux qui peuvent entrer dans la conception des conditionnements pour le transport et la mise en réserve. Certains qui sont utilisés pour le transport ne sont pas adaptés pour le conditionnement à long terme et peuvent engendrer des détériorations des métaux en relâchant des substances accélérant et favorisant la corrosion. Le test a aussi pour but d'expliquer pourquoi certains matériaux doivent être remplacés par d'autres matériaux qui ne relâchent pas de polluants.

Dans un premier temps les bocaux sont lavés et rincés à l'eau déminéralisée. La surface des plaques de métal est débarrassée de la corrosion. Vu qu'elles présentent une forte corrosion, les plaques d'acier sont poncées en surface avec du papier de verre. Les plaques sont toutes sablées à la bille de verre avec une micro sableuse afin d'égaliser la surface. Elles sont ensuite dégraissées à l'acétone.

L'échantillon de matériau à tester est placé au fond du bocal. Les plaquettes sont suspendues sur un portique fait d'un fil de cuivre tordu. Elles ne se touchent pas et ne touchent pas l'échantillon. Dans un des bocaux, aucun échantillon n'est placé, c'est le bocal témoin. Au fond du bocal est mis un peu d'eau déminéralisée, qui ne doit pas entrer en contact avec l'échantillon testé.

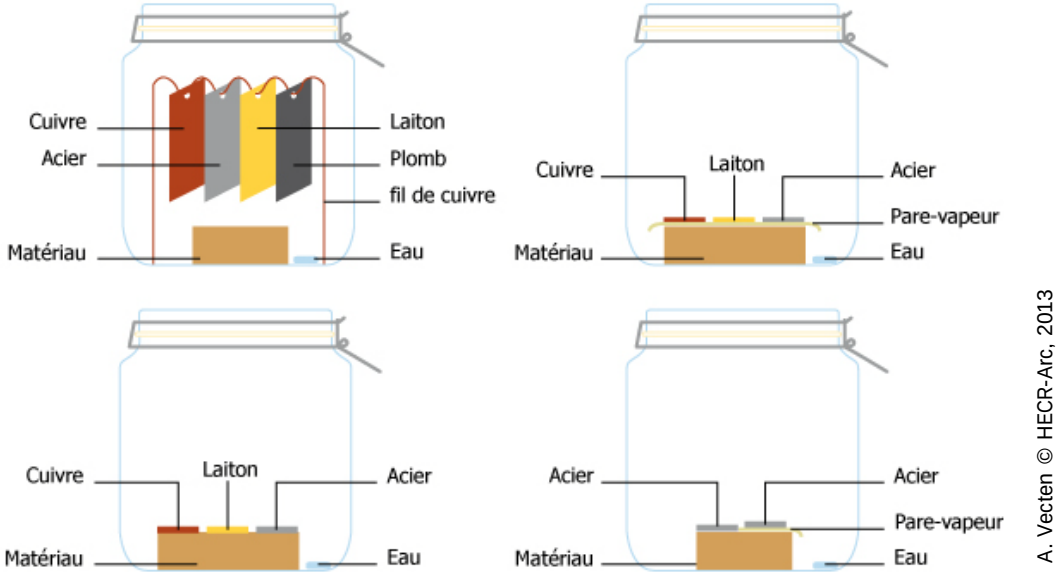


Figure 72 : Positionnement des plaquettes dans les bocaux.

Dans trois bocaux les deux plaquettes sont posées directement sur l'échantillon. Il s'agit d'un test afin de voir s'il existe une différence entre les plaquettes en contact avec l'échantillon ou celles suspendues au-dessus. Le métal testé est de l'acier, pour correspondre à la colonne de l'horloge faite du même métal. Dans chaque bocaux se trouvent deux plaquettes, une posée directement sur l'échantillon et l'autre où est intercalée entre l'échantillon et la plaque du film pare vapeur ESCAL®. Par manque de place disponible sur les échantillons, tous les métaux de ne sont pas testés dans l'épreuve de contact. C'est le cas du plomb qui n'entre pas dans la composition de l'horloge. Vu que les échantillons testés sont les mêmes dans les deux tests (contact et suspension), si le plomb doit réagir à un polluant émis par un matériau, il réagira lors du test des plaquettes en suspension. Pour le test du métal posé sur le bois provenant d'une palette seul l'acier a été testé. Ceci pour cause d'un problème de place et car seuls la colonne ou l'anneau de fixation pourraient être directement posés sur des palettes. Donc seule la réaction des alliages ferreux nous intéresse.

Pour ce test les bocaux sont placés dans une étuve* à 60 °C à une humidité relative de 100 %. Ceci afin d'accélérer l'émission de substances par les matériaux testés, ainsi que d'accélérer la corrosion des métaux[240]. Le test dure vingt-huit jours. D'après la loi d'Arrhenius, cela équivaudrait à environ une année[241]. A la fin du test, les plaquettes de métal sont photographiées pour garder un témoignage de l'état de celles-ci à la sortie des bocaux.

Au vu de l'étendue des corrosions, il est possible de déterminer si les échantillons testés sont utilisables pour un stockage temporaire, à moyen terme ou à long terme. Ce test n'est utile que pour les conditionnements à long terme. Concernant les conditionnements pour le déplacement, l'objet restera très peu de temps dedans. Toutefois, il ne faut pas le laisser stocké dans le conditionnement

[240] Lee et Thickett, 1995, p.147.

[241] Life Science Outsourcing, 2012 [en ligne].

qui n'est pas prévu pour ça. Certains matériaux qui le composent pourraient provoquer une altération des métaux.

II. Résultats

L'état des plaques de métal après le test est toujours différent de celui avant le test. En effet, même si le matériau testé n'est pas reconnu comme nocif, la plaque va se corroder à cause des conditions climatiques qui sont de 60 °C et 100 % d'humidité relative. De ce fait, les métaux qui se trouvaient dans le bocal témoins se sont également corrodés. Les paramètres qui vont donner des informations sur la nocivité des matériaux testés sont :

- Le type de produit de corrosion (piqure, pulvérulence,...).
- L'importance du produit de corrosion (profondeur, étendue)
- La couleur du produit de corrosion.

Dans les bocaux dont le joint de caoutchouc était neuf, les plaquettes en alliage cuivreux sont moins noircies que celles se trouvant dans des bocaux dont le joint avait déjà été utilisé pour un test d'Oddy. Les gaz sulfureux émis par le caoutchouc provoquent rapidement le développement d'un produit de corrosion à la surface des métaux contenant du cuivre[242]. Il faut tenir compte de ce paramètre lors de l'interprétation des résultats. Lors d'un futur test d'Oddy, il serait nécessaire de revoir ce paramètre et utiliser des bocaux dont le joint est inerte.

Les plaquettes de laiton en présence avec le carton acide et le bois de la palette, présentent des piqures de corrosion blanche. Ce type de corrosion est celle du zinc. Vu que c'est un alliage, il est normal que les produits de corrosion des différents métaux qui le constituent soient visibles.

II.I. Plaques suspendues

Certains matériaux jugés aptes pour la conservation, comme la mousse de polyéthylène, le polypropylène cannelé et le carton non acide, ont quand même eu un impact sur les métaux. Le résultat du test du film de polyéthylène entrant dans la composition des coussins d'air est moyen. Il peut être utilisé seulement pour une conservation temporaire. Cela doit être dû à un adjuvant du plastique ou à l'encre à la surface de celui-ci.

Les produits de bois aggloméré renferment plusieurs essences de bois et il est donc difficile d'estimer le pH de ce type de matériau. Sans compter le liant qui dégage aussi des composés volatils organiques, comme du formaldéhyde. Celui-ci favorise la corrosion des métaux[243]. De ce fait, le bois et les produits dérivés du bois ne doivent pas être mis en contact direct ou proche des métaux. Ce test valide toutefois le fait qu'il existe plusieurs types de bois agglomérés et qui favorisent plus ou moins le phénomène de corrosion des métaux. De plus, le bois aggloméré recouvert de mélamine ou

[242] Logan, 2007a, p.3.

[243] Tétreault, 1999, p.7.

Rapport-Gratuit.com

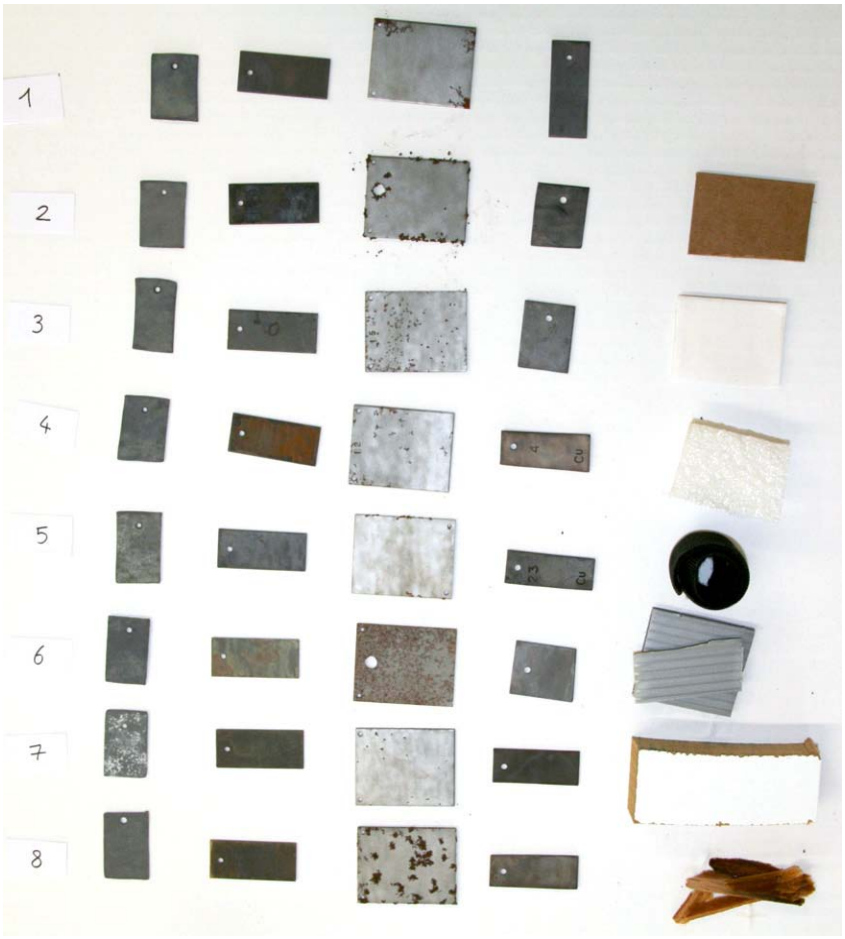
formica est moins nocif que celui sans. Cette surface bloque en partie l'émission de COV[244]. Cependant ce matériau reste inadapté pour la conservation à long terme des objets comportant des pièces métalliques. La différence entre le carton non acide et acide (brun) est claire. Ce dernier est jugé comme mauvais et ne doit pas être employé à proximité des objets patrimoniaux. Les attaches Velcro® faites de Nylon® et le polypropylène cannelés pourtant jugés bon pour la conservation ont eu des résultats jugés moyen. Il en est de même pour la mousse de polyuréthane.

Contenu	Plomb	Laiton	Acier/fer	Cuivre
1 Blanc	Aucun changement	Noirci en surface	Petites taches de corrosion brune	Noirci en surface
2 Carton acide	Surface légèrement claire	Noirci en surface, piqures de corrosion blanche	Petites taches de corrosion brune pulvérulente	Noirci en surface
3 Carton non acide	Aucun changement	Noirci en surface	Petites taches de corrosion brune	Noirci en surface
4 Mousse PE	Aucun changement	Noirci en surface, teinte cuivreuse	Petites taches de corrosion brune	Noirci en surface
5 Attache Velcro®	Petites taches de corrosion blanche	Noirci en surface, teinte cuivreuse, piqures blanches.	Petites taches de corrosion brune pulvérulente.	Noirci en surface, zones blanchâtres, piqures noires.
6 Polypropylène cannelé	Aucun changement	Noirci en surface	Petites taches (filaments) de corrosion brune sur toute la surface	Noirci en surface
7 MDF	Taches de corrosion blanche	Noirci en surface, piqures noires	Petites taches de corrosion brune	Noirci en surface
8 Palette bois	Petites taches de corrosion blanche	Noirci en surface, piqures de corrosion blanche	Petites taches de corrosion brune	Noirci en surface, zones blanchâtres, piqures noires
2b Coussin d'air, Film PE avec encre verte	Aucun changement	Zones noircies, piqures blanches	Petites piqures de corrosion brune	Zones noircies.
3b Mousse de polyuréthane grise	Taches de corrosion blanche sur les arrêtes	Zones noircies.	Petites taches de corrosion brune	Zones noircies

A. Vecten © HECR-Arc, 2013

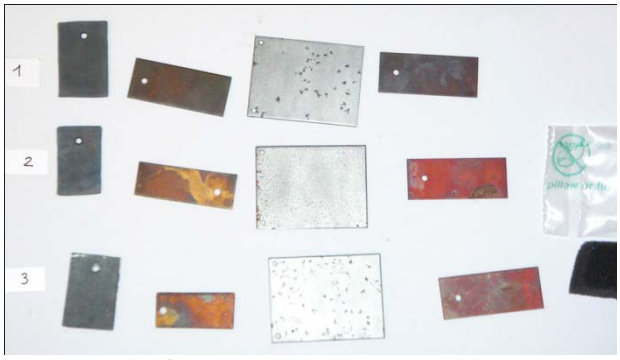
Tableau 13 : Résultats des plaquettes suspendues, description de leur état de surface.

[244] Tétreault, [en ligne], 1993.



A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 73 : Résultats du test d'Oddy des plaquettes suspendues. Bocaux N° 1 à 8



A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 74 : Résultats du test d'Oddy des plaquettes suspendues. Bocaux N° 1b (échantillon blanc) à 3b.

II.II. Plaques posées sur l'échantillon

Les plaquettes posées sur les échantillons se sont aussi corrodées sur la surface qui n'était pas en contact. Le résultat de cette face est comparable à celui des plaquettes suspendues. Vu que l'environnement était clot, les composés accélérant la corrosion ont aussi eu un impact. Cependant, vu que les métaux étaient plus proches de l'échantillon, il a été accentué. Il est aussi probable que le fait que les plaquettes étaient à l'horizontale ait put favoriser la stagnation de gouttes de condensation à la surface de celles-ci et ainsi accélérer le phénomène de corrosion

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Cette version du test d'Oddy a eu un résultat satisfaisant. Conformément à ce qui était attendu, la surface des plaquettes en contact avec l'échantillon est :

- Plus corrodée que celle extérieure, si le métal est en contact avec un échantillon reconnu comme mauvais pour la conservation.
- Moins corrodée que celle extérieure, si un film barrière est intercalé entre un échantillon reconnu comme mauvais pour la conservation et la plaquette.
- Moins corrodée que celle extérieure, si le métal est en contact avec un échantillon reconnu comme étant bon pour la conservation.

Seul le laiton posé sur le polypropylène cannelé n'a pas eu un résultat attendu. Il s'est même développé un produit de corrosion blanc. Mais apparemment, ces produits de corrosion sont moins importants sur la partie en contact avec le polypropylène.

Les tests de contact ont mis en évidence que conformément à ce qui est mentionné dans la littérature, l'emploi d'un film barrière a son importance dans le blocage des composés émis par le bois. Le film Escal® n'a pas bloqué tous les composés, il devrait être substitué au profil d'un film plus efficace.

Contenu		Côté pas en contact avec l'échantillon			
		Plomb	Laiton	Acier / fer	Cuivre
9	Mousse polyéthylène	Non testé	Légèrement noirci	Filaments de corrosion	Légèrement noirci
10	MDF	Non testé	Couleur cuivreuse, taches claires, piqures noires, sur l'ensemble de la surface.	Corrosion pulvérulente sur 70% de la surface.	Surface blanchâtre, sur surface noircie, piqures noires.
11	MDF pare vapeur	Non testé	Couleur cuivreuse, taches claires, piqures noires sur l'ensemble de la surface.	Corrosion pulvérulente sur toute la surface.	Taches blanchâtre, sur surface noircie, piqures noires.
12	Palette bois	Non testé	Non testé	Petites taches de corrosion brune.	Non testé
12	Palette bois par vapeur	Non testé	Non testé	Petites taches de corrosion brune.	Non testé
13 / 14	Polypropylène	Aucun changement	Surface noire, taches blanches, piqures.	Petites taches (filaments) de corrosion brune sur toute la surface	Surface noircie, taches noires.

Tableau 14 : Résultats des métaux posés sur les échantillons, description de l'état de surface du côté n'étant pas en contact avec ceux-ci.

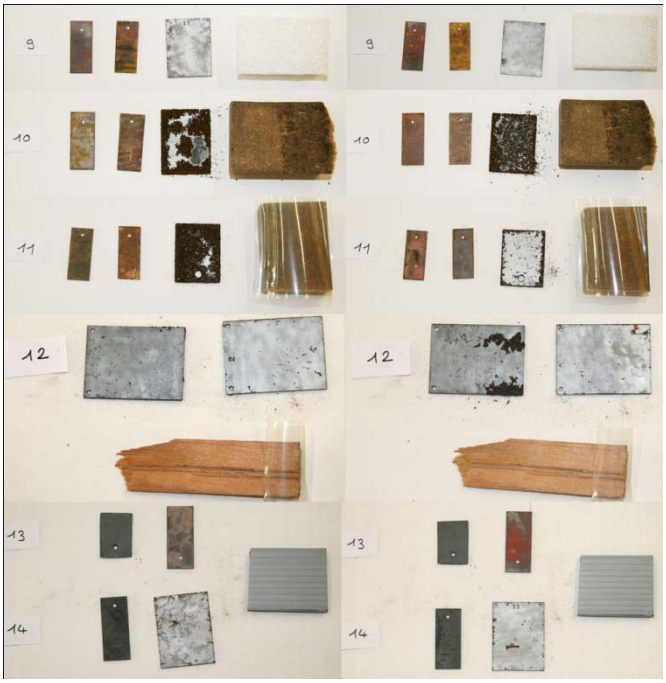
Contenu		Surface en contact			
		Plomb	Laiton	Acier / fer	Cuivre
9	Mousse polyéthylène	Non testé	Aucun changement	Une petite tache de corrosion	Aucun changement
10	MDF	Non testé	Couleur cuivreuse, piqures noires.	Corrosion pulvérulente sur toute la surface.	Piqures noires

A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Contenu		Surface en contact			
		Plomb	Laiton	Acier / fer	Cuivre
11	MDF pare vapeur	Non testé	Couleur cuivreuse sur une partie de la surface, une grande tache noire	Corrosion pulvérulente sur les bords.	Taches cuivreuses, quelques piqures noires.
12	Palette bois	Non testé	Non testé	Corrosion brune pulvérulente sur 50% de la surface.	Non testé
12	Palette bois par vapeur	Non testé	Non testé	Petites taches de corrosion brune.	Non testé
13 / 14	Polypropylène	Aucun changement	Surface noire, taches blanches, piqures.	Petites taches de corrosion brune.	Surface noircie par endroits.

A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Tableau 15 : Résultats des métaux posés sur les échantillons, description de l'état de surface du côté en contact avec ceux-ci



A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 75 : Résultats du test d'Oddy des plaquettes posées. Bocaux N° 9 à 14. A gauche la face du dessus et à droite la face en contact avec l'échantillon.

II.III Conclusion

Les résultats obtenus montrent qu'il est nécessaire d'avoir du recul sur ce qui est mentionné dans la littérature. Par exemple, le Velcro® a un résultat jugé mauvais, or il est référé comme un bon matériau de conditionnement. Il a toutefois été employé, mais plus à proximité de l'objet. Le test d'Oddy a donc permis d'éviter l'emploi de certains matériaux dans les conditionnements ou de changer leur emplacement en les éloignant des objets.

Annexe 7. Test de vibrations et chocs

En l'absence de capteurs enregistreurs disponibles, le test a été effectué avec un Smartphone Samsung Galaxy Note™ et l'application Accelogger. Celle-ci permet d'utiliser l'accéléromètre du téléphone, afin d'enregistrer les forces qu'il subit. Cette grandeur est enregistrée selon les axes x, y et z en m/s^2. La fréquence d'enregistrement est d'environ 50 [Hz], soit toutes les 20 ms[245]. Est aussi enregistrée l'énergie des vibrations. Une analyse graphique permet de connaitre à quelle fréquence l'énergie a été la plus importante.

Vu que sera effectué un transport routier, il a été réalisé une simulation d'un transport de ce type. Pour le premier test, le téléphone a été placé dans un carton à ses dimensions, sanglé à l'arrière d'une voiture. Sous le téléphone est placé soit un matériau de calage, de la mousse de polyuréthane ou des coussins d'air de polyéthylène ou rien. A chaque fois le même trajet est répété. Les obstacles identifiés de la route sont toujours passé à la même vitesse afin d'obtenir la même intensité de chocs. Pourront être finalement comparées les moyennes ainsi que les maximums et minimums. Le parcours ne pouvant jamais être répété dans un temps identique, les courbes ne peuvent pas être superposées. Un essai pour résoudre ce problème a été tenté en utilisant trois Smartphones enregistrant simultanément. Mais comme la sensibilité de leurs capteurs est différente ainsi que leur puissance de calculs, les résultats ne peuvent être superposés. Il faudrait utiliser trois appareils du même modèle, mais par manque de disponibilité cela était impossible. De plus, ces appareils ne sont pas spécialisés pour un usage de ce type. Le test devrait être réalisé avec des capteurs calibrés. De plus, le téléphone rebondit lors d'un choc, il faut donc l'encapsuler pour que les résultats soient plus cohérents.

A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 76 : Smartphone sanglé dans une boîte remplie d'un matelassage ou vide.

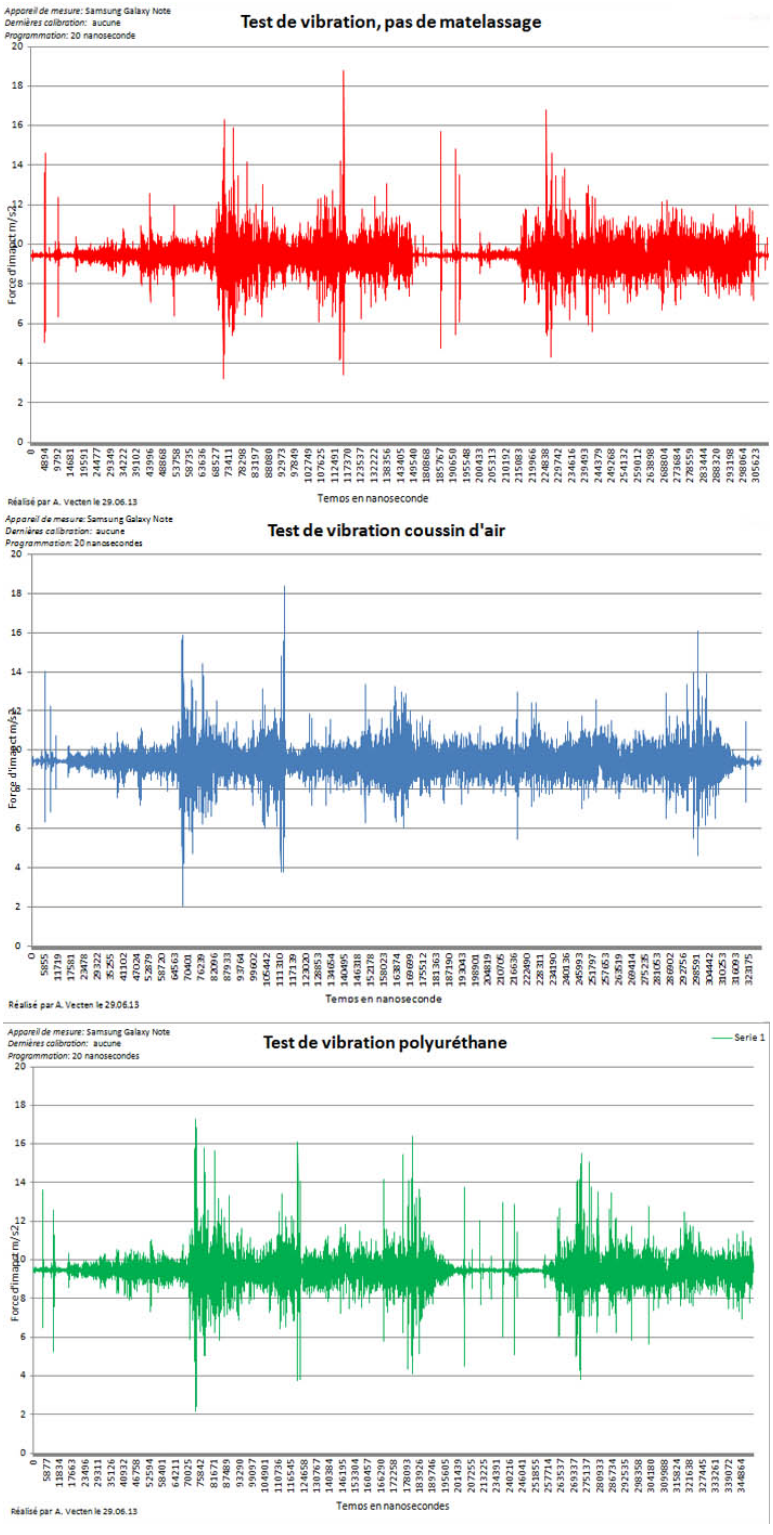
Le test a donné des résultats qui ne sont pas entièrement satisfaisants. Toutefois, la différence entre l'absence de matériaux de calage et l'usage de polyuréthane est visible. L'accélération qu'a subie le téléphone moins élevée lors d'un impact lorsqu'il dispose d'un matelassage.

	Rien	Mousse de PU	Coussin d'air
Min	3.23 m/s^2	2.18 m/s^2	2.04 m/s^2
Max	18.77 m/s^2	17.31 m/s^2	18.37 m/s^2
Moyenne	9.46 m/s^2	9.47 m/s^2	9.43 m/s^2

© HECR-Arc, 2013

Tableau 16 : Récapitulatif des résultats obtenus sur un même parcours.

[245] Takayama, 2010 [en ligne].



A. Vecten © HECR-Arc, 2013

Figure 77 : Graphiques générés à partir des données obtenues.

Les pics se produisent dans les deux sens car le Smartphone a rebondi sur le matelassage ou le fond de la boite. Les grands pics correspondent à des passages accidentés de la route. Lorsque le moteur est en marche, des vibrations d'intensité moyenne sont continuellement produites. Les pics se produisant lorsque le moteur est éteint, (particulièrement visible à gauche des graphiques), sont dus à la fermeture du coffre et des portières.

Annexe 8. Utilisation des outils d'aide à la décision de l'ICC

L'institut canadien de conservation a développé des instruments permettant l'aide à la décision concernant l'emploi de matériaux pour le calage lors de déplacements.

Tout d'abord doit être estimée la hauteur de la chute. Elle est influencée par la taille du conditionnement, ainsi que son poids. Plus ces paramètres seront grands, moins la hauteur de chute sera élevée. Cela dépend aussi du mode de transport. La hauteur de chute sera moins grande si le conditionnement est chargé dans un camion plutôt que sur un bateau au moyen d'une grue[246].

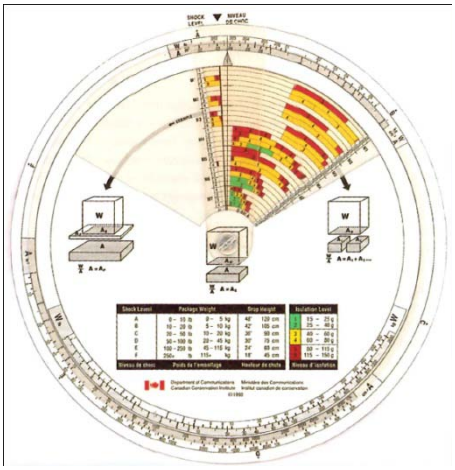


Figure 78 : Règle à calcul de l'ICC. (Marcon, 1992, p. 219.)

© Institut Canadien de conservation

Il est aussi nécessaire de définir la fragilité de l'objet. Par exemple, pour un objet du type du mouvement de l'horloge Leroy, sa fragilité se situera vers 25 G. Ce qui correspond d'après une échelle, aux objets sensibles comme les instruments de précision et les instruments optiques[247]. D'autres données importantes sont : le poids de l'objet additionné à celui du conditionnement, ainsi que l'aire de la surface de sa base. Il s'agit sous laquelle seront placés les matériaux de matelassage. Si l'objet a une masse importante pour une petite surface portante, il est nécessaire d'étendre celle-ci afin de mieux répartir la charge sur le matelassage et éviter qu'il ne subisse une surcharge[248].

Le logiciel PadCAD s'utilise avec les mêmes paramètres de base. Viennent s'ajouter à ceux-ci : la hauteur de l'objet, le type de conditionnement choisis pour le transport, ainsi que la façon dont sont placés les matériaux de matelassage.

I. Résultats obtenus

Eléments	PadCAD	Règle de l'ICC	Paramètres
Mouvement	100 mm éther de PU 24 kg/m3	75 mm éther de PU24 kg/m3	Capuchon de 15 cm, colonne courte Fragilité: 25 G
	100 mm éther de PU 33 kg/m3	75 mm éther de PU 33 kg/m3	
	75 mm éther de PU 64 kg/m3	-	
	-	75 mm ester de PU 33 kg/m3	
	-	100 mm ester de PU 33 kg/m3	
	125 mm ester de PU 64 kg/m3		
Cloche	50 mm éther de PU 24 kg/m3	50 mm ether de PU 24 kg/m3	Capuchon de 20 cm, colonne courte Fragilité: 40 G
	50 mm éther de PU 33 kg/m3	50 mm ether de PU 33 kg/m3	
	75 mm éther de PU 64 kg/m3	-	
	125 mm éther de PU 24 kg/m3	-	
	-	100 mm ester de PU 24 kg/m3	
	150 mm ester de PU 33 kg/m3	100 mm ester de PU 33 kg/m3	
	75 mm ester de PU 64 kg/m3	-	

[246] Marcon et Strang, 1994, p.3.
[247] Marcon, 1992, p. 214.
[248] Marcon et Strang, 1994, p. 6.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Eléments	PadCAD	Règle de l'ICC	Paramètres
Pendule	50 mm PE 33 kg/m3	50 mm PE 33 kg/m3	Capuchon colonne longue, 4 points d'appui de 15 cm Fragilité: 80 G
	150 mm éther de PU 33 kg/m3	-	
	100 mm éther de PU 64 kg/m3	-	
	75 mm ester de PU 24 kg/m3	75 mm ester de PU 24 kg/m3	
	75 mm ester de PU 33 kg/m3	50 mm ester de PU 33 kg/m3	
	75 mm ester de PU 64 kg/m3	-	
Baromètre	150 mm éther de PU 24 kg/m3	100 mm éther de PU 24 kg/m3	Capuchon colonne longue, 4 points d'appui de 15 cm Fragilité: 60 G
	100 mm éther de PU 33 kg/m3	100 mm éther de PU 33 kg/m3	
	100 mm éther de PU 64 kg/m3		
	125 mm ester de PU 24 kg/m3	100 mm ester de PU 24 kg/m3	
	150 mm ester de PU 33 kg/m3	75 mm ester de PU 33 kg/m3	
		100 mm ester de PU 33 kg/m3	
	75 mm ester de PU 64 kg/m3		
Anneau et colonne	25 mm mousse de PE 33 kg/m3	25 mm mousse PE 33 kg/m3	Capuchon colonne longue, 3 points d'appui de 15cm Fragilité: 85 G
	25 mm mousse de PE 64 kg/m3		
	50 mm éther de PU 24 kg/m3	50 mm éther de PU 24 kg/m3	
	50 mm éther de PU 33 kg/m3	25 mm éther de PU 33 kg/m3	
	25 mm éther de PU 64 kg/m3		
	25 mm ester de PU 24 kg/m3	25 mm ester de PU 24 kg/m3	
	25 mm ester de PU 33 kg/m3		
	25 mm ester de PU 64 kg/m3		
Anneau	50 mm PE 33 kg/m3	25 mm PE 33 kg/m3	Capuchons de 5 cm colonne courte. 85 G
	125 mm PE 64 kg/m3		
		50 mm éther de PU 24 kg/m3	
	75 mm éther de PU 33 kg/m3		
	125 mm éther de PU 64 kg/m3		
	75 mm ester de PU 24 kg/m3		
	50 mm ester de PU 33 kg/m3	25 mm ester de PU 33kg/m3	
	50 mm ester de PU 64 kg/m3		
Colonne	50 mm PE 33 kg/m3	25 mm PE 33 kg/m3	Capuchon colonne longue, 4 points d'appui de 15 cm 85 G
	50 mm PE 64 kg/m3		
	125 mm éther de PU 24 kg/m3	25 mm éther de PU 24 kg/m3	
	100 mm éther de PU 33 kg/m3		
	50 mm éther de PU 64 kg/m3		
	125 mm ester de PU 24 kg/m3	75 mm ester de PU 24 kg/m3	
	75 mm ester de PU 33 kg/m3	50 mm ester de PU 33 kg/m3	
	50 mm ester de PU 64 kg/m3		

Tableau 17 : Résultats obtenus avec le logiciel PadCAD et la règle de l'ICC. Ces résultats ont servit de base de travail afin de déterminer les types de calage à utiliser. En jaune, le résultat choisi et servant de base de travail pour la conception des cales.

II. Conclusion

Les résultats obtenus avec ces deux outils restent des bases de travail. Il est possible de constater que des différences dans les types et épaisseurs de mousse. L'outil PadCAD semble plus précis que la règle à calcul car elle prend en compte des paramètres que cette dernière n'intègre pas. De ce fait les résultats obtenus avec le logiciel ont été privilégiés.

A. Vecten © HECR-Arc, 2013