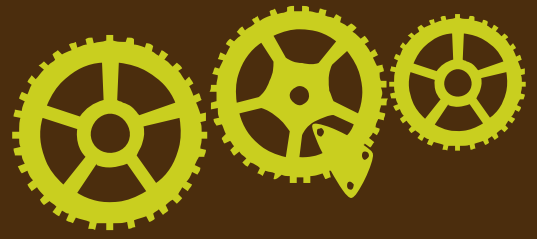


Quelques notions d'horlogerie

Scientifiques et mécaniques



Le mécanisme de tout appareil horaire est composé de 4 parties distinctes :

- **Le moteur** : un poids, un ressort ou l'électricité.
- **Le rouage** : il consiste invariablement en une succession de roues et de pignons engrenant les uns avec les autres. Il a pour fonction de transmettre à l'échappement la force qu'il reçoit du moteur.
- **L'échappement** : il a pour rôle de modifier l'action de la force reçue et d'utiliser cette force pour l'entretien des oscillations du régulateur. C'est la partie la plus importante et la plus délicate d'un mécanisme d'horlogerie.
- **Le régulateur** : il règle la vitesse d'écoulement de la force, de manière à ce que les aiguilles tournent avec le plus de régularité possible. Il s'agit soit d'un pendule, soit d'un balancier muni d'un spiral.

I - LE MOTEUR

L'énergie motrice des horloges a évolué de siècle en siècle. Dès la fin du 13^e siècle on utilise un poids dont la chute entraîne la marche du mécanisme. Il est soit *en pierre*¹ soit *en fonte*. Puis, on utilisa le ressort quand l'horlogerie devint portable. Le ressort fait son apparition dans les horloges de table puis, dans les montres au 16^e siècle. Un ressort est une simple lame métallique tendue grâce à l'estrapade² puis intégrée dans un barillet³. On le retrouve dans les pendules de cheminée, les pendulettes de voyage, les réveils, les carillons.



Puis vint bien plus tard, l'électricité. Elle fut appliquée pour la première fois à l'horlogerie par STEINHEIL⁴ en 1839, puis vinrent les horloges électriques pour les chemins de fer en 1847 et en 1856 on créait un couple « réverbère + horloge électrique » pour voir l'heure pendant la nuit. Vinrent ensuite les « pendules à transistor ».

Nos réveils électriques, également appelés « à quartz⁵ » sont quant à eux beaucoup plus récents : 1936 pour leur première apparition en France, 1961 pour les réveils électriques BAYARD.



II - LE ROUAGE



Le rouage est l'intermédiaire entre le moteur et l'échappement. Sa mission : transmettre l'énergie produite par le poids à l'échappement. Cela se fait par le biais d'un ensemble simple ou complexe d'engrenages. Un engrenage est un dispositif de transmission de la force et du mouvement au moyen de roues dentées. Les engrenages peuvent être de trois types :

- engrenage cylindrique
- engrenage d'angle
- engrenage conique

L'engrenage cylindrique se compose de roues et de pignons⁶ portés par des axes⁷. La transmission entre chaque roue est indirecte, elle se fait par le biais de pignons. Les axes de ces roues sont toujours parallèles.



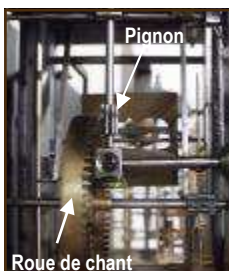
Mécanisme de clocher, 1770, Rouen (hall du musée)



Vue intérieure du mécanisme de clocher
Engrenage cylindrique



Mouvement Franc-Comtois (salle des horloges)



Vue intérieure du mouvement franc-comtois
Engrenage d'angle

L'engrenage d'angle se compose d'une roue de chant et d'un pignon vertical. Les dents de la roue de chant sont réalisées perpendiculairement à son plan.

¹ Les premiers poids étaient en pierre comme l'atteste l'abbaye de Jumièges.

² Estrapade : outil pour enrouler et introduire le ressort dans le barillet. Ce outil fait son apparition au 18^e siècle.

³ Barillet : boîte cylindrique munie d'un couvercle. Elle est munie d'une denture destinée à transmettre la force du ressort-moteur au rouage et à l'échappement.

⁴ Carl August STEINHEIL (1801-1870) : professeur à l'université de Munich.

⁵ Quartz : également appelé « cristal de roche ». Taillé suivant des formes étudiées et muni d'électrodes, il vibre lorsqu'il est placé dans un circuit électrique oscillant. On doit cette découverte aux français Pierre et Jacques CURIE en 1880.

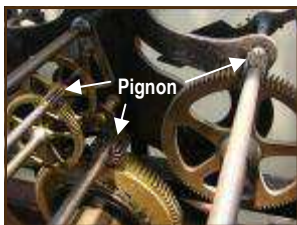
⁶ Pignon : petite roue d'engrenage qui permet la transmission entre les roues.

⁷ Axe : tige sur laquelle est fixée chaque roue de l'engrenage.

Dans un *engrenage conique* les roues de l'engrenage se rencontrent directement sans l'aide du pignon. La plupart des mouvements d'horlogerie monumentale possède simultanément un engrenage cylindrique et un engrenage conique (*qui sert en règle générale à faire tourner les aiguilles des cadrans*).



Mécanisme de clocher
(hall du musée)



Vue intérieure du mécanisme
Engrenage cylindrique



Détail du mécanisme
Engrenage conique



Horloge du château d'Onésime DUMAS
(salle des chronomètres de marine)



Détail du mécanisme
Engrenage conique

III - L'ÉCHAPPEMENT

L'échappement permet d'entretenir un mouvement oscillatoire en arrêtant périodiquement l'action de la force motrice et en la distribuant de façon à entretenir le mouvement de l'organe oscillant⁸. Il se compose de deux organes :

- l'ancre d'échappement
- la roue d'échappement

Dans la classification traditionnelle de l'horlogerie, les échappements sont divisés en trois catégories principales :

- les échappements à recul
- les échappements à repos
- les échappements libres

* Le plus ancien type d'échappement est un **foliot avec échappement à roue de rencontre** mais celui-ci n'existe aujourd'hui qu'en de très rares horloges. Nous n'en possédons pas d'exemplaire dans le musée mais nous tenions quand même à l'évoquer.



Échappement à foliot
in La mesure du temps à travers les âges, 2009.

L'ÉCHAPPEMENT À REcul

- L'échappement à roue de rencontre, également appelé à « **verge**⁹ » ou à « **palettes** »

Il est le premier à être créé. Dans ce type d'échappement l'axe du balancier rencontre une roue d'échappement qui le ramène en arrière, l'y retient un instant puis le laisse échapper pour le ramener à nouveau. Cet échappement fonctionne avec une roue en laiton et des palettes en acier trempé.



Détail
Échappement à roue de rencontre



Mouvement Franc-Comtois
(salle des horloges)

L'ÉCHAPPEMENT À REPOS



Mouvement lanterne
(salle des horloges)

1. L'échappement à ancre

Il fut inventé par l'anglais CLÉMENT¹⁰ vers 1671 et perfectionné par l'anglais Georges GRAHAM¹¹ en 1715. Il succède à l'échappement à roue de rencontre. Il doit son nom à sa pièce principale dont la forme primitive était celle d'une ancre de marine. Cet échappement permet de diminuer les amplitudes du pendule avec un pendule plus lourd ce qui permet d'obtenir un meilleur isochronisme.

Chaque dent passe à chaque mouvement d'allée et retour du balancier.

2. L'échappement à cheville par Louis AMANT¹²

Cet échappement a été inventé en 1741 et utilisé dès 1760 dans les horloges monumentales. La roue d'échappement est plate et porte au lieu des dents, des chevilles implantées perpendiculairement à son plan et d'un seul côté.



Mécanisme de clocher
(hall du musée)



Détail
Échappement à cheville

3. L'échappement BROcOT¹³



Pendule Brocot
(salle des horloges)

Cet échappement se distingue des échappements à ancre ordinaire par la forme des palettes qui sont des demi-cylindres en acier ou en rubis.

⁸ définition issue des *cours d'horlogerie* rédigés par M. Léopold DEFOSSEZ, 1950, Neuchâtel.

⁹ **Verge** : arbre qui porte les palettes ; nom également donné à la tringle de métal ou à la latte en bois d'un pendule.

¹⁰ **William CLÉMENT** : horloger anglais de la fin du 17^e siècle.

¹¹ **Georges GRAHAM (1673-1751)** : horloger anglais.

¹² **Louis AMANT (? - 1753)** : horloger français.

¹³ **Louis Achille BROcOT (1817-1878)** : horloger parisien.



L'ÉCHAPPEMENT LIBRE

Dans ce type d'échappement, la roue d'échappement va directement donner l'impulsion à une palette solidaire de l'axe du balancier. Ainsi, le balancier est entièrement libre sur sa giration. Il fut créé par Pierre LEROY¹⁴.

Cet échappement est présent dans les chronomètres de marine dont celui du musée, réalisé par le chronométrier Onésime DUMAS.

Chronomètre de marine
(salle des chronomètres)

IV - LE RÉGULATEUR



Tête d'horloge Saint-Nicolas,
Pendule en laiton (salle des horloges)



Mécanisme de clocher
Pendule en bois et laiton (hall du musée)

Le régulateur règle la vitesse d'écoulement de la force, de manière à ce que les aiguilles tournent avec le plus de régularité possible. Il s'agit soit d'un **pendule**, soit d'un **balancier muni d'un spiral**. Ses oscillations sont parfois *isochrones* c'est-à-dire d'égales durées. Pour ce faire, deux conditions doivent être réunies : un balancier long et lourd afin que le réglage soit le plus stable possible et permette ainsi aux oscillations d'être isochrones.

En 1656, l'horloger et savant hollandais HUYGENS¹⁵ invente « le pendule », étudié bien avant lui par GALILÉE¹⁶. En 1675 il crée un autre dispositif : le balancier spiral pour donner aux montres le même principe régulateur que pour les horloges. Dès lors, toute une série de balanciers voit le jour, du plus simple au plus élaboré.



Mécanisme de clocher
Pendule en bois et fonte
(hall du musée)

LE PENDULE

Le premier organe régulateur est le pendule qui se compose de deux éléments : **la verge et la lentille**. Ces deux parties sont réalisées dans des matériaux différents : bois, fonte, laiton.

Afin d'améliorer le rythme d'oscillation du pendule et son isochronisme, mais aussi pour éviter les problèmes de dilatation de certains matériaux des balanciers, des évolutions ont vu le jour. Elles ont donné naissance à toute une série de balanciers que l'on pourra observer sur les pendules de cheminée et les pendulettes de voyage.

LES BALANCIERS



Pendulette COUAILLET
(salle des horloges)



- Le balancier spiral

Le spiral est un ressort très fin tiré de l'acier ou d'un alliage spécial. Il est enroulé en spirale d'Archimède ou hélice cylindrique. Par la contraction ou l'expansion de ses spires, il régularise le mouvement du balancier. Il équipe les pendulettes de voyage et les réveils mécaniques et leur permet d'être totalement mobile. Depuis 1675, toute pièce d'horlogerie portable est munie d'un balancier spiral.

- Le balancier « gril » ou HARRISON¹⁷

La lentille pesante au lieu d'être soutenue par une tige unique, est maintenue par une série de châssis emboîtés les uns dans les autres et dont les branches verticales sont alternativement des verges d'acier et de laiton.



Pendule de style empire
(salle des horloges)



Pendule DEGON
(salle des horloges)

- Le balancier compensateur de Louis-Achille BROCOT

Le brevet de ce balancier est déposé en 1847. La lentille de forme élégante est soutenue par une tige centrale en acier, cette dernière est bordée de chaque côté par deux verges en zinc. Lorsque la température augmente la tige centrale en acier se dilate et tend à faire descendre la lentille mais comme les deux verges de zinc se dilatent également, elles remontent la lentille, ce qui permet une compensation des effets de la température.

- Le balancier REDIER¹⁸

En 1726, Georges GRAHAM décide, pour corriger la dilatation des verges d'acier, d'utiliser la dilatation du mercure. Un vase cylindrique en verre contenant du mercure sert de lentille et la verge en acier. Lorsque la température augmente, la dilatation de la verge fait descendre la lentille mais le mercure se dilate également et son niveau monte dans le réservoir, ce qui fait que le centre de gravité du balancier reste le même. Malheureusement le mercure au contact de l'air s'oxyde et sa surface prend un vilain aspect avec le temps. Pour y remédier, REDIER utilise deux ampoules de verre, hermétiques, dans lesquelles il a fait un vide partiel.



Pendule de cheminée Bloquel
(salle des horloges)



Balancier en Invar
(salle des chronomètres de marine)

- le balancier en invar

Il est présent dans le régulateur de Louis GUILBERT, réalisé en 1936. L'invar est en fait un alliage de nickel (36%) et d'acier dont le coefficient de dilatation est presque invariable. Il fut inventé par le Professeur GUILLAUME¹⁹ et devait servir pour le système métrique.

¹⁴ Pierre LEROY (1717-1785) : horloger français, à l'origine de grandes créations en horlogerie dont l'échappement libre, le balancier bi-métallique ou le point d'isochronisme du spiral.

¹⁵ Christian HUYGENS (1629-1695) : ingénieur et horloger hollandais.

¹⁶ GALILÉE (1564-1642) : éminent physicien et astronome italien. La légende veut que Galilée ait fait cette découverte lors des funérailles de l'un de ses amis. Mettant ses mains derrière son dos, il a senti son pouls puis la porte de l'église s'est ouverte pour faire entrer le cercueil, un courant d'air s'est créé, entraînant le balancement d'un lustre et Galilée a ainsi eu l'idée du pendule...

¹⁷ John HARRISON (1693-1776) : horloger anglais, élève de GRAHAM.

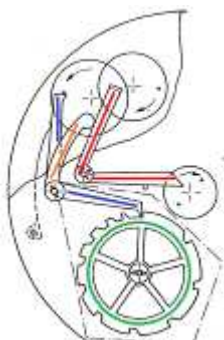
¹⁸ Antoine REDIER (1817-1892) : ingénieur et horloger français.

¹⁹ Charles-Edouard GUILLAUME (1861-1938) : physicien suisse.

LES SONNERIES

Dans toute sonnerie, le rouage des heures est appelé à déclencher le rouage de la sonnerie. Pour cela, la **chaussée**²⁰ porte deux chevilles à égale distance du centre : l'une pour les heures, l'autre pour les demies. Quel que soit le type de sonnerie, les corps de rouage sont presque identiques. Ils se composent d'un barillet contenant le ressort-moteur (ou d'un poids), seul le système de déclenchement est différent.

Sonnerie sur timbre



Dessin, école d'horlogerie de Paris, in Les BROCCOT, 1991.

- à roue de compte dite aussi sonnerie « à chaperon »

Lorsque la chaussée tourne, l'une des goupilles qu'elle porte entre en contact avec l'**équerre** et commence à la soulever, cette dernière soulève l'**esse** et donc le bras de la **détente** jusqu'au moment où l'extrémité de ce bras libère la cheville de la roue d'arrêt. À ce moment-là, le marteau frappe le timbre.

Le **chaperon (ou roue de compte)** possède une succession de pleins et de vides qui correspondent au nombre de coups à frapper pour chaque heure.

Ce système présente un inconvénient : le rouage de la sonnerie est peu relié à celui des heures ce qui entraîne une sonnerie sujette à décompter : le nombre des coups frappés ne coïncide pas avec l'heure indiquée par les aiguilles... Mais comme il était le moins cher à produire c'est principalement lui que l'on retrouve dans les horloges.

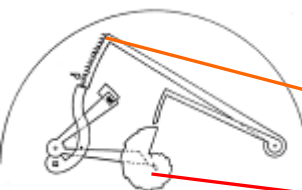


Pendule de Paris (salle des horloges)

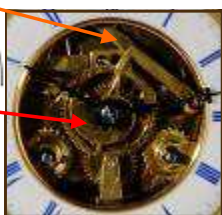
Roue de compte
Marteau
Timbre

- à râteau, également appelée « sonnerie à limaçon »

Cette sonnerie nous vient d'Angleterre, elle fut adaptée aux montres par messieurs Edouard BARLOW²¹ et Daniel QUARE²². En France, c'est Honoré PONS qui dépose un brevet pour la « sonnerie à râteau pour les pendules de Paris » en 1829.



Dessin, école d'horlogerie de Paris, in Les BROCCOT, 1991.



Pendule de cheminée Honoré Pons (salle des horloges)

La roue de cheville anime le marteau et la roue d'arrêt dont l'axe a été prolongé côté cadran de manière à pouvoir supporter une « virgule » (ou oreillette) qui remonte le râteau. L'extrémité de l'esse faisant office de cliquet retient le râteau à mesure qu'il est remonté. Lorsque le **râteau** est entièrement remonté, le nez de l'esse tombe plus bas et le bras de la détente se présente sur le passage de la goupille de la roue d'arrêt et arrête le rouage. Le **limaçon**, qui détermine le nombre de coups à frapper, laisse retomber le râteau de 1, 2, 3 dents, selon qu'il est 1, 2 ou 3h.

Cette sonnerie présente l'avantage de ne jamais se mettre en désaccord avec les aiguilles.



Dessin, Thibault, in Les BROCCOT, 1991.

1 : la **chaussée** (aiguille des minutes)
2 : la **roue de canon** (aiguille des heures)
3 : le **limaçon** sur la roue de canon
4 : la **roue de renvoi**

Sonnerie sur « ressort timbre » appelée aussi sonnerie sur gong

La sonnerie sur timbre a été remplacée au début du 19^e siècle par une sonnerie sur gong qui se compose de lames de métal, généralement en acier et sur lesquelles viennent frapper les marteaux. On la trouve autant dans les pendules de cheminée que dans les horloges de voyage ou les carillons.

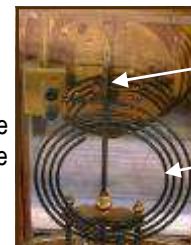


L'exemple du Carillon, sonnerie WESTMINSTER

Cette pendule sonne les heures et à chaque quart un carillon spécial.

Elle possède 3 barillets et trois rouages distincts dont l'un pour le mouvement, l'autre pour la sonnerie des heures et le dernier pour la sonnerie des quarts.

Marteaux
Lames de métal



Pendule Bloquel (salle des horloges)

Marteau
Lame de métal

Pour en savoir plus ...

- BEILLARD Alfred, *Recherches sur l'horlogerie, ses inventions et ses célébrités*, 1893.
 CHAVIGNY Richard, *Les BROCCOT, une dynastie d'horlogers*, 1991.
 CHAVIGNY R et PERISSAS M, *La mesure du temps à travers les âges, son art, sa technique*, 2009.
 DEFOSSEZ Léopold, *Cours d'horlogerie, 1^{ère} partie : division du temps, appareils horaires, moteurs, rouages, engrenages*, 4^e édition, 1950, Neuchâtel.
 GONDY Junius, *Manuel d'horlogerie*, 1910.
 GROS Charles, *Échappements d'horloges et de montres*, 1913.
 GROS Charles, *L'échappement à ancre de GRAHAM*.
 JAMES Émile, *Les sonneries de montres, pendules et horloges, pratique et théorie*, 1927.
 LENORMAND, JANVIER et MAGNIER, *Nouveau manuel complet de l'horloger*, Manuels RORET, réédition, 1985.
Terminologie Horlogère, Écoles d'Horlogerie Suisses et Françaises.
 VITOUX Pierre, *Horlogerie*, 1962.

²⁰ La **chaussée** : c'est une roue pleine rivee sur une lanterne terminée par un carré sur lequel vient prendre place l'aiguille des minutes.

²¹ **Edouard BARLOW (1639-1719)** : horloger anglais.

²² **Daniel QUARE (1649-1724)** : horloger anglais.

Quelques sites internet à consulter
www.hautehorlogerie.org
www.fns.ch
www.worldtempus.com



Musée de l'horlogerie
 48 rue Edouard CANNEVEL
 76510 SAINT-NICOLAS D'ALIERMONT
 02 35 04 53 98

Mail : museehorlogerie@wanadoo.fr
 Site internet : www.musee-horlogerie-aliermont.fr

