



JANVIER 2016

IMPORTANCE DE LA METALLURGIE DANS LA HAUTE HORLOGERIE

PARTIE 1 : De la Micromécanique...

Bonjour à chacune et chacun d'entre vous,

En cette nouvelle année 2016, **Métallo Corner** vous souhaite une santé de fer et un moral d'acier ! Pour cette 18^{ème} newsletter, nous avons décidé en ces temps de fête d'aller à la rencontre d'une activité mécanique de rêve **la Haute Horlogerie**. C'est un domaine où la créativité n'a cessé de se développer au cours des dernières décennies, les matériaux ont bien entendu joué un rôle primordial dans cette innovation de tous les jours. Pour aller à la rencontre de ce savoir-faire, il faut aller au BRASSUS dans la vallée de Joux en Suisse où sont installées de grandes manufactures horlogères.

Concernant l'apport mécanique de cet article, nous nous sommes inspirés de la documentation des Lettres du Brassus de la manufacture de haute horlogerie © BLANCPAIN. Cette maison fondée en 1735 maîtrise de très nombreuses complications horlogères.

Une complication est une fonction différente de l'affichage de l'heure, des minutes et des secondes. Ces fonctions sont d'ordres :

- **Astronomiques**, la phase de lune, le quantième perpétuel, l'équation du temps, le double fuseau horaire, le calendrier chinois etc.
- **Pratiques**, le réveil, le chronographe, l'indicateur de profondeur, la répétition des minutes, la réserve de marche, la grande date, la grande et petite sonnerie etc.
- **Techniques**, le tourbillon, des échappements spéciaux, la réserve de marche, le remontage automatique etc.

L'activité horlogère étant un monde à lui seul avec ses codes, son vocabulaire, ses mécanismes si particulier ajustés au micron, il nous a paru important de revenir sur les principales pièces que l'on peut retrouver dans une montre mécanique à complications

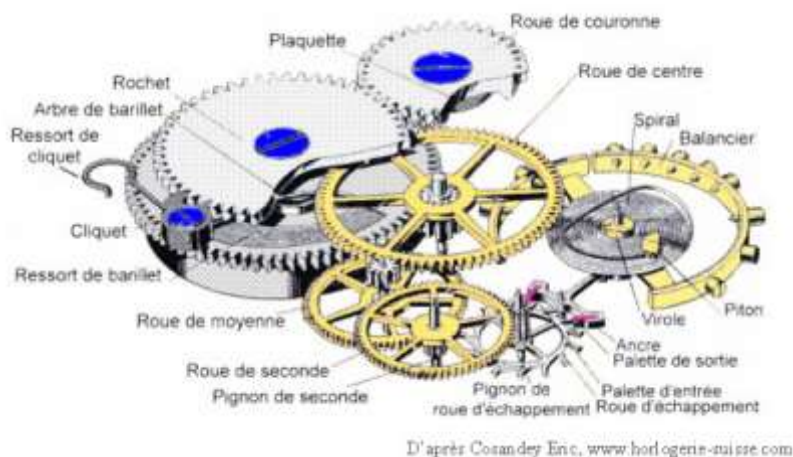


Figure 1 : Mécanisme d'une montre mécanique.



JANVIER 2016

Pour appréhender l'impact de la métallurgie dans le domaine de l'horlogerie, il est nécessaire d'en comprendre les enjeux mécaniques par le biais des complications. Pour cela, nous allons, dans un premier temps, en décrire les fonctions de quelques-unes d'entre-elles afin de bien comprendre ce que peut apporter un choix métallurgique judicieux (Matériaux, TTh et TS).

I. DESCRIPTIONS DE QUELQUES COMPLICATIONS

a) La montre à tourbillon ou à carrousel

Ce mécanisme est destiné à améliorer la précision des montres. Lorsqu'elles sont portées dans une position verticale, les montres subissent de petites variations de marche (avance ou retard) dues à l'attraction terrestre ; pour y remédier Abraham Louis BREGUET a créé un mécanisme qui consiste en une cage qui supporte le balancier et l'échappement qui tournent autour d'une roue fixe en effectuant un tour complet en une minute (Cf. Figure 2).

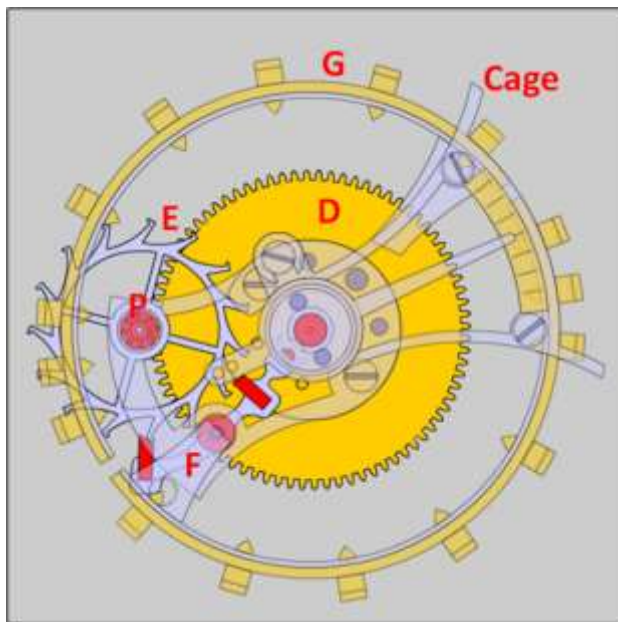


Figure 2 : Le tourbillon. ©Blancpain

La roue de seconde (D) devient donc une pièce fixe autour de laquelle la cage, qui sert à maintenir ensemble le balancier (G), l'ancre (F) et la roue d'échappement (E), vient effectuer ses rotations entraînée par le pignon (P) de la roue d'échappement (E). On remarquera que dans ce cas-ci, la cage et le balancier sont coaxiaux, ce qui a obligé à redessiner l'ancre qui est devenue une ancre latérale ou « de côté ».

Le carrousel (Cf figure 3) est une variante de conception pour cette même fonction : compenser les écarts de marche provoqués par la gravité terrestre lorsque le mouvement est en position verticale.

Pour les matériaux, notons que le balancier est réalisé en cupro-béryllium. Cet alliage présente des caractéristiques très intéressantes pour ce type de pièce comme sa dureté, sa tenue à la corrosion, son faible coefficient de dilatation thermique. De plus, il s'agit d'un alliage amagnétique, propriété très importante pour le cœur d'une montre.



JANVIER 2016



Figure 3 : Le Carroussel (en bas) et le tourbillon (en haut). ©Blancpain

Dans le cas du tourbillon BLANCPAIN, l'absence de pont supérieur lui vaut la désignation de tourbillon volant. Le support de cet ensemble est constitué d'un roulement à billes en céramique qui ne nécessite pas de lubrification, c'est l'un des grands enjeux tribologiques, dans le domaine de l'horlogerie. Le ressort spiral du balancier, qui le ramène à sa position initiale à la fin de chaque alternance, rythme par ces oscillations la précision de la montre. Il doit être amagnétique pour ne pas être perturbé par les champs magnétiques omniprésents dans notre environnement, insensible aux variations de températures. Il doit également avoir une bonne tenue à la corrosion et doit posséder toutes les caractéristiques mécaniques d'un ressort de qualité. Le silicium a toutes ces qualités, de plus il permet d'obtenir des pièces de grandes précisions dimensionnelles de l'ordre du micron et un état de surface d'une très faible rugosité, c'est une matière de plus en plus utilisée en haute horlogerie pour toutes ces qualités.

b) La montre à quantième perpétuel (Cf. figure 4)

Le calendrier perpétuel est considéré comme emblématique au sein des grandes complications. Il s'agit d'un calendrier qui prend en compte le cycle des années bissextiles du calendrier Grégorien. Au premier abord, il n'y a pas de grandes différences à la vue d'un cadran avec un quantième simple. Tout se passe sous le cadran et tout au long des années, le mécanisme affiche correctement la date complète sans qu'aucune correction ne soit nécessaire. Avec un quantième simple il faut agir manuellement pour porter des corrections lors du passage d'un mois de 30 jours à un mois de 31 jours, correction également au mois de février avec 28 ou 29 jours les années bissextiles.



JANVIER 2016



Figure 4 : La montre à quantième perpétuel et son mécanisme. ©Blancpain

Equipée de correcteurs situés sous les cornes (zones de fixation du bracelet) de la montre, ils peuvent être manipulés à n'importe quel moment sans endommager les délicats rouages du calendrier. En effet lors d'une intervention sur un correcteur, la première action qui s'opère est la déconnexion au mécanisme général, cela évitant toute manœuvre fâcheuse sur les rouages. Du côté matériaux, on retrouve le balancier en cupro-béryllium, le spiral en silicium et pour le mécanisme du calendrier, bascule, came, ressort, doigt, cliquet font la part belle aux aciers inoxydables.

c) La montre de plongée

La dernière génération de montre de plongée (Cf. Figure 5) de la manufacture ©BLANCPAIN possède toutes les spécificités considérées indispensables à ce genre de montre : étanchéité jusqu'à 30 bars (sous 300m de profondeur), robustesse, résiste aux champs magnétiques, lisibilité du cadran, lunette tournante unidirectionnelle, affichage luminescent, ajouter à cela deux échelles d'indication de profondeur, un compte à rebours de 5 mn et une aiguille d'indication de profondeur maxi de la plongée.



JANVIER 2016

L'origine de la montre de plongée de la manufacture remonte à 1953 où l'unité des nageurs de combats de la marine française se rapproche de la maison ©BLANCPAIN pour collaborer au développement d'une montre de plongée répondant à un cahier des charges exigeant. De là est née cette montre de plongée qui fait référence dans l'industrie horlogère et dans le monde de la plongée sous-marine.



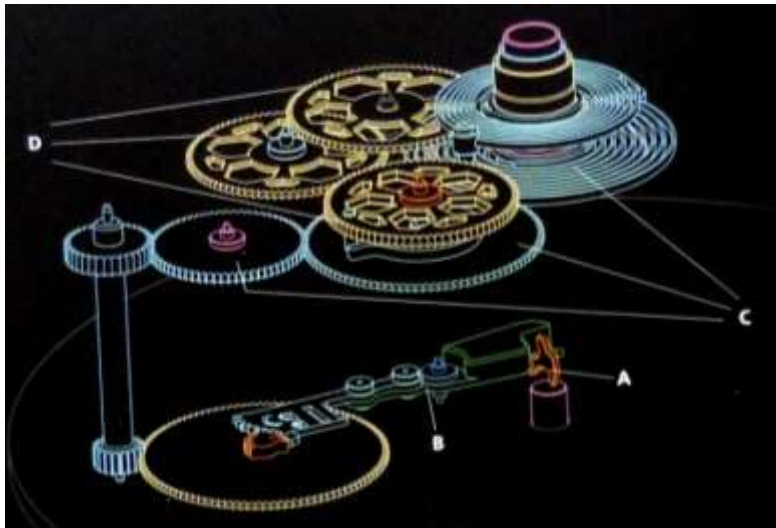
Figure 5 : La montre de plongée. ©Blancpain

Toujours à la recherche d'améliorations, la dernière version offre des indications de profondeurs plus élevées et avec une précision jamais atteinte jusqu'à présent. La mesure mécanique de la profondeur repose sur le principe du manomètre qui permet d'établir la pression d'un fluide contenu dans un espace fermé. Pour réaliser ce nouveau capteur et garantir sa performance dans le temps, la recherche et le développement ont opté pour un alliage amorphe (sans orientation cristalline) qui contient du zirconium allié à du nickel, du titane, du cuivre et de l'aluminium que l'on nomme «Liquidmetal ou Vitreloy» (en encore « verre métallique massif ou alliage amorphe massif »). Ces alliages ont donc été utilisés pour la conception de jauges de profondeur compte tenu de leur important coefficient de restitution encore appelé coefficient de Newton ou élasticité au rebondissement, sans oublier leur limite d'élasticité élevée (~1500MPa) qui évite toute déformation du système et leur bonne résistance à l'usure abrasive (avec une dureté proche de 550HV).

Au dos de la montre, la membrane du capteur est en contact avec le milieu aquatique. A l'intérieur du mouvement il y a un doigt qui est en contact avec la membrane et qui transmet les variations dues à l'augmentation de pression en fonction de la profondeur atteinte par l'intermédiaire d'un ensemble de composants mécaniques jusqu'aux aiguilles du cadran. Ce mécanisme complexe qui transmet l'information du capteur jusqu'aux aiguilles est composé d'un doigt avec son râteau, d'un train de rouages sur lesquels viendront à l'extrémité prendre place les aiguilles (Cf. Figure 6)



JANVIER 2016



- A Doigt
- B Râteau
- C Rouage 0-90 m
- D Rouage 0-15 m

Figure 6 : Mécanisme de la montre de plongée. ©Blancpain

Pour obtenir une précision de 30 cm à une profondeur de 15 m, la manufacture a réalisé des prouesses en précision d'usinage des différents éléments qui transmettent le mouvement pour réduire au maximum les jeux fonctionnels. Pour cela, certaines pièces dont le râteau, ont été réalisées par un procédé de fabrication additive. Pour la résistance aux champs magnétiques, le spiral de l'organe réglant de cette montre est aussi en silicium.

II. LA METALLURGIE ET L'INNOVATION HORLOGERE

Comme nous l'avons observé dans cette première partie, les matériaux métalliques utilisés en Haute Horlogerie sont représentés en grand nombre. Ils doivent systématiquement répondre à plusieurs exigences :

- De mise en œuvre (aptitude à la découpe, aptitude au formage, facilement usinable, aptitude au polissage, ...)
- De fonctionnement d'ordre mécanique (propriétés mécaniques, comportement tribologique, résistance à l'usure abrasive, propriétés ressorts, tenue en fatigue,...)
- D'ordre physico-chimique (amagnétisme, faible coefficient de dilatation thermique, résistance à la relaxation thermique, résistance à la corrosion atmosphérique et en milieu salin, ...)

Maintenant que nous nous sommes familiarisés avec la micromécanique horlogère, nous nous concentrerons dans la newsletter N°19 sur l'apport des cuivreux, des aciers, des alliages légers et du silicium face aux problématiques rencontrés dans ce secteur d'activité. Bon temps à tous.

Métallo Corner Remercie la manufacture ©BLANCPAIN pour la documentation technique et les photos mises à disposition.