

Échappements de montres...

Un peu d'histoire technique

Joseph Flores

Horloger retraité Rolex, Amateur d'horlogerie ancienne, Rédacteur de la revue de l'AFABA
floresjoseph@orange.fr

Décembre 2018

39

Bulletin SSC n° 86

On le sait, on le dit depuis plusieurs siècles, l'échappement est le cœur de la montre, la partie qui la fait vivre, et c'est sans doute pour cela que les réalisations dans ce domaine ont été, et restent les plus nombreuses et les plus commentées, elles se comptent sans aucun doute par centaines, sans omettre que l'échappement est primordial dans la qualité réglante d'une montre.

Mais anciennement, et sans doute aussi actuellement, une des raisons de toutes ces recherches et réalisations, était que chaque horloger voulait pratiquement avoir son échappement. De nos jours, de très nombreuses maisons horlogères font travailler leurs techniciens dans ce domaine, espérant toujours faire mieux que ce qui a été fait et, ainsi, se distinguer. Pour l'instant, industriellement et depuis environ un siècle – même si quelques horlogers comme Breguet le maîtrisaient déjà bien avant – l'échappement à ancre à impulsion indirecte et partagée, disposé en ligne droite, dit « ancre suisse » (Thomas Mudge vers 1759) tient largement le haut du pavé dans la montre bracelet. Nul ne sait quand, et même s'il sera détrôné un jour, il faudra sans doute attendre plusieurs décennies mais, qui sait...

Dans l'attente, évoquer très succinctement la chronologie des principes qui ont généré les recherches, peut s'avérer utile pour les futurs chercheurs, pour qui il devient très difficile de faire du nouveau en échappements mécaniques.

Classification

Distinguons à la base deux familles :

Les échappements à contact permanent (Groupes A, B, C)

Les échappements à contact périodique (Groupes D, E)

Dans chacune de ces familles, on trouve également des dispositions particulières que généralement on intègre dans ce genre d'étude (Groupe f ci-dessous).

Divisons ces familles en sous-groupes :

Groupe a : échappements à recul

Groupe b : échappements à repos frottant

Groupe c : échappements à demi-repos / demi-recul

Groupe d : échappements libres à percussions

Groupe e : échappements libres à translation

Groupe f : dispositions particulières telles tourbillons, carrousels, mouvements tournants, remontoirs d'égalité, force constante, pirouette, etc.

L'échappement, mis à part les dispositifs particuliers, est généralement composé de deux ou trois pièces. La dernière roue du rouage, liée à la force motrice étant

la première de ces pièces, elle porte le nom de l'échappement (ex. : roue de rencontre, de cylindre, de détente, duplex, etc.). Dans les échappements à deux pièces, cette roue est en contact direct avec une pièce fixée à l'axe de l'organe régulateur (ex. : palettes de la verge avec roue de rencontre, cylindre avec roue de cylindre, rouleau et doigt d'impulsion de duplex avec sa roue, etc.). Ou alors avec une pièce intermédiaire (ex. : l'ancre, la détente) pour les échappements à trois mobiles.

La classification des échappements est généralement basée sur une phase du fonctionnement, mais l'appellation est plus difficile à définir, car la terminologie horlogère est très variée. En effet, les appellations viennent souvent de la nuit des temps, et chaque pays, chaque région, voire chaque horloger, utilisent des termes différents. Néanmoins, ce sont soit la forme, soit la fonction, qui sont à l'origine des termes.

Une seule phase est commune à tous les types d'échappements : l'impulsion.

Les phases qui succèdent à l'impulsion, nommés « arcs d'oscillations supplémentaires » peuvent être de nature différente. C'est généralement dans ces phases que l'on trouve les raisons de la classification.

Voici quelques exemples d'évolution des principes.

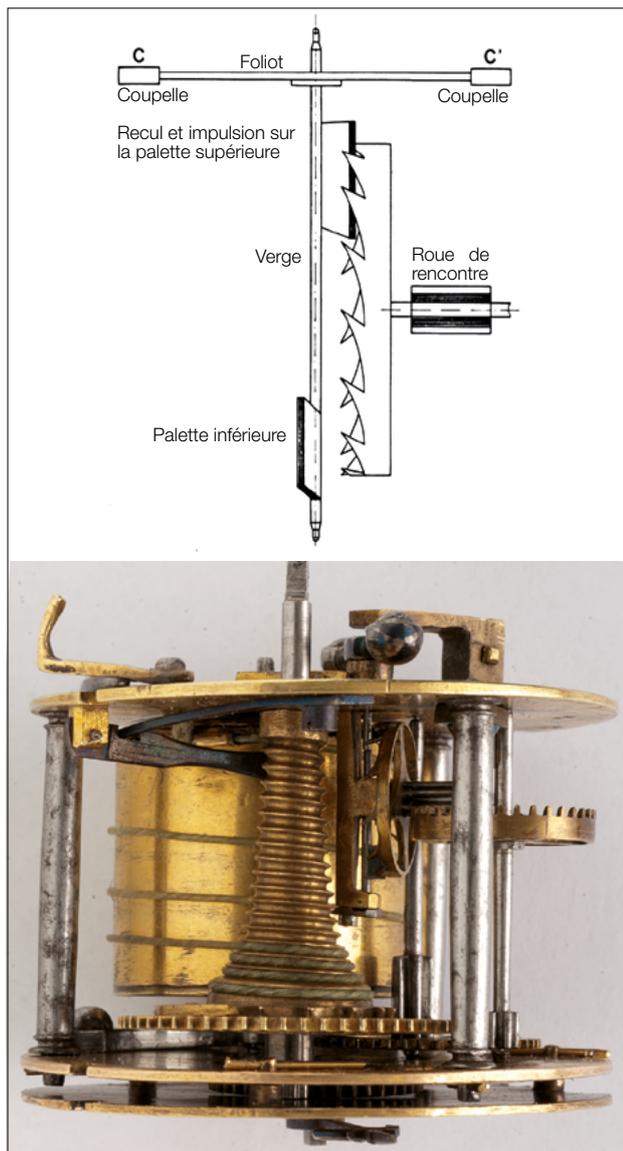


Fig. 1 et 1a: Échappement à verge et fusée vers 1550.

L'échappement à recul à verge

C'est le plus ancien, celui que l'on trouve dans les premières horloges mécaniques connues, soit celles du XIV^e siècle, voire fin XIII^e siècle. Il n'a que deux phases de fonctionnement: impulsion et recul, il n'y a donc pas de phase de dégagement. Il est composé d'une roue dite «de rencontre» et d'un axe dit «verge» qui porte le foliot, (Fig. 1 et 1a), organe régulateur qui est suspendu dans les horloges, et est devenu pivotant dans les montres, dès le milieu du XV^e siècle avec la naissance du coq.

Sur la verge se trouvent deux palettes, en prises avec les dents de la roue taillées de champ en couronne. Ces deux palettes sont plates, elles ne comportent donc qu'un plan d'impulsion.

Lors du fonctionnement, l'impulsion transmet au régulateur une certaine quantité d'énergie cinétique, si bien

que dès la fin de cette impulsion une dent tombe sur la palette opposée, et cette énergie provoque un recul de la roue d'échappement plus ou moins important. Comme les palettes de la verge ne comportent qu'un plan d'impulsion, cet angle de recul augmente chaque fois l'angle d'impulsion, qui se produit dès le rebroussement du foliot, plus tard le balancier. Cela fait que l'angle d'impulsion est augmenté ou diminué en fonction de l'angle de recul qui lui, est fonction de l'énergie motrice transmise. C'est pourquoi ce genre d'échappement exige l'adjonction d'un dispositif d'énergie constante, la fusée, qui est indispensable.

Ce principe de fonctionnement a permis aux pièces équipées d'échappement à recul, de fonctionner sans spiral durant environ deux siècles d'horlogerie portable... L'application du spiral, due à Huygens en 1675, a mis fin à cette suprématie et un nouveau principe, celui dit «à repos frottant», a fait son apparition et s'est développé rapidement.

L'échappement à repos frottant

Donc grâce au spiral qui, au-delà de la stabilisation qu'il assure aux oscillations balancier, provoque son rebroussement, la phase qui succède à l'impulsion ne produit plus de recul, mais le frottement d'une dent sur une partie concentrique du pivotement de l'axe du balancier: c'est le «repos frottant».

Dans une des premières réalisations, la verge ne comporte plus de palettes mais un rouleau encoché (Fig. 2 et 2a).

L'impulsion est transmise par une dent dans l'encoche et, dès l'impulsion terminée, la dent opposée tombe et frotte sur la partie concentrique du rouleau, jusqu'à ce que le spiral provoque le rebroussement et ramène le balancier, c'est le dégagement, pour qu'une dent suivante assure l'impulsion. Dans ce genre d'échappement, l'angle d'impulsion est toujours égal quel que soit l'angle de repos et c'est la raison qui a fait qu'avec son application la fusée a pu être supprimée.

Dès le XVIII^e siècle le nombre d'innovations d'échappements fonctionnant sur le principe du repos frottant, se multiplie (Fig. 3 et 3a) et viennent concurrencer celui à recul, qui s'est néanmoins maintenu quelques décennies. Il ne disparaît complètement que vers 1850 environ. Parmi les nouvelles inventions du XVIII^e siècle, il en est au moins trois qui s'extraient du lot ce sont: le duplex (Fig. 4), la virgule (Fig. 5 et 5a), le cylindre (Fig. 6 et 6a) .

L'échappement libre: détentes et ancrés

Les échappements à recul et à repos sont dits à contact permanent, car le régulateur n'oscille jamais totalement librement. Vers le milieu du XVIII^e siècle, celui que l'on nomme «le siècle des lumières», apparaissent les échappements libres qui laissent au régulateur, ensemble balancier/spiral, la majeure partie de son oscillation sans aucun contact avec d'autres pièces.

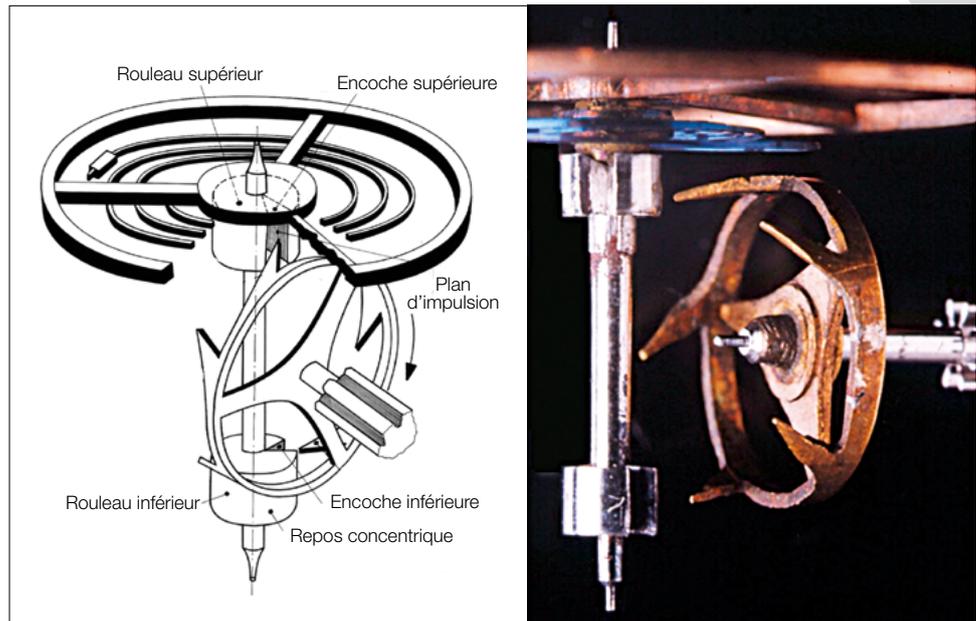


Fig. 2 et 2a: Échappement à repos frottant.

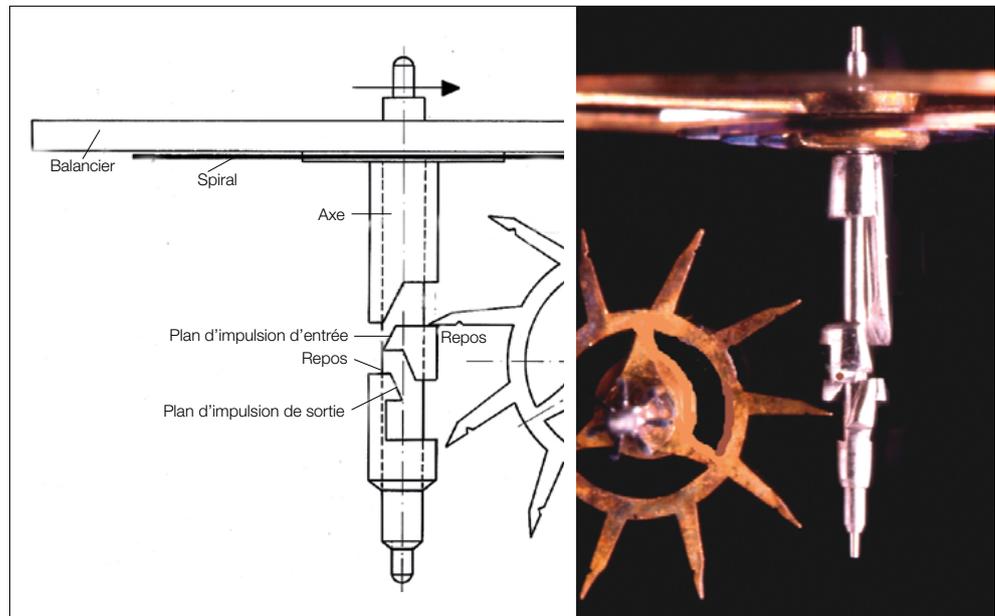


Fig. 3 et 3a: Autre échappement à repos frottant.

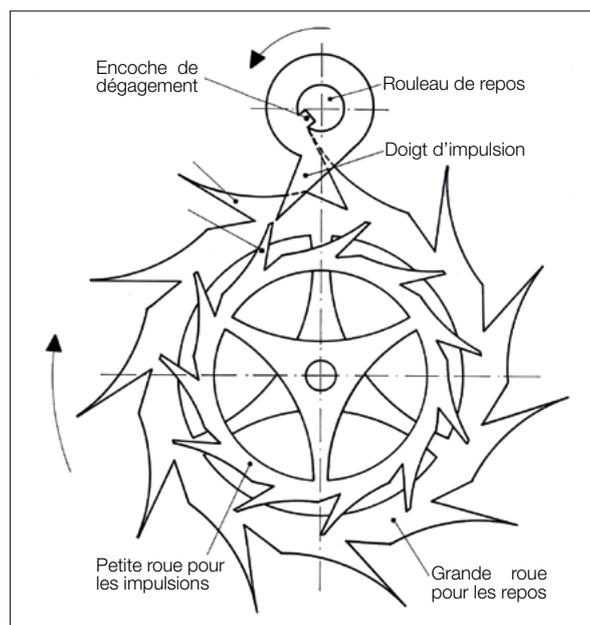


Fig. 4: Échappement duplex deux roues.

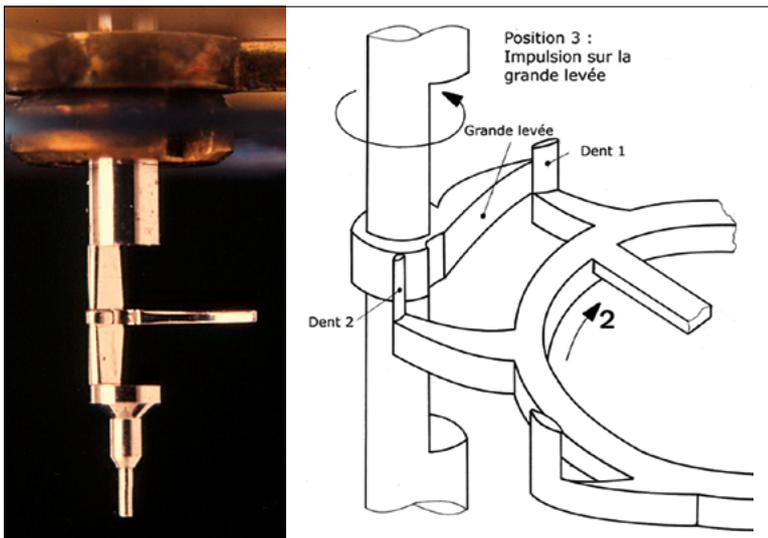


Fig. 5 et 5a: Échappement virgule.



Fig. 7, 7a et 7b: De gauche à droite et de haut en bas, Pierre Leroy, Thomas Mudge, l'acte officiel de Pierre Leroy.

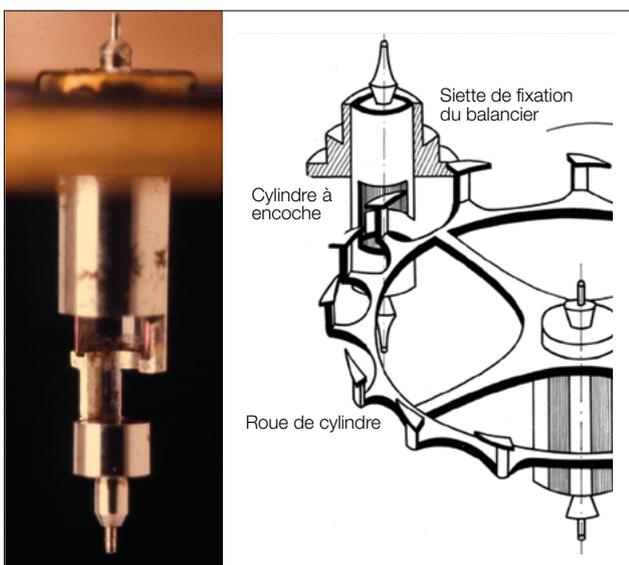


Fig. 6 et 6a: Échappement à cylindre.

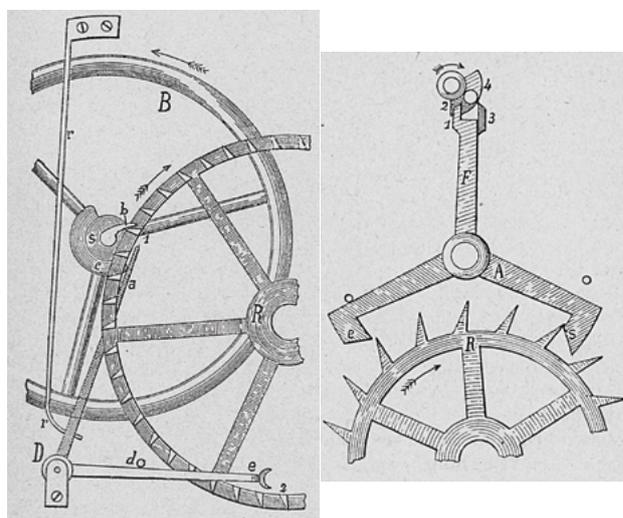


Fig.8 et 8a: Premier échappement à détente, 1748, le français Pierre Le Roy. Premier échappement libre à ancre, 1759, l'anglais Thomas Mudge.

Le principe consiste à intercaler entre la roue d'échappement et l'axe du régulateur, une pièce chargée de maintenir le rouage, dès que l'impulsion a été donnée, en fait, il s'agit de pièces d'arrêts.

Deux hommes sont à l'origine de ce nouveau principe d'échappement, en France Pierre Leroy (1717-1785. Fig. 7), en Angleterre Thomas Mudge (1715-1794 Fig. 7a).

Le premier, Pierre Le Roy, dépose le 14 août 1748 à l'Académie des Sciences un acte officiel qui se termine par cette phrase: **Le régulateur doit-être aussi puissant et aussi libre que faire se peut...** (Fig. 7b et 8).

Le second, Mudge, réalise son échappement vers 1759. Ayant été l'élève de Graham, l'inventeur de l'échappement à ancre à repos pour pendules, la disposition de sont échappement s'en inspire largement (Fig. 8a).

Avant de présenter différentes applications de ces deux types d'échappements, je précise la seule différence qui à mon sens permet de classer tel ou tel échappement dans

ceux dit «à détente», origine Leroy, et ceux dit «à ancre» origine Mudge.

- La détente est une pièce d'arrêt qui n'a **qu'une position de repos**, l'impulsion est directe. Elle est à ressort ou pivotée.
- L'ancre est une pièce d'arrêt qui a **deux positions de repos**, l'impulsion peut être directe ou indirecte. Elle est obligatoirement pivotée.

Quelques détentes

Dans les deux à trois décennies qui ont suivi le dépôt à l'académie, les qualités élevées de cet échappement ont vite été reconnues.

La détente est la pièce d'arrêt par excellence, car elle ne sert strictement qu'à bloquer le rouage, ne le libérant que

pour l'impulsion qui, de plus, n'a lieu que durant une des alternances, dite active ; celle de retour se produisant à vide est dite « muette ». Il est aussi dit « à coup perdu ». En voici cinq, sachant que le fonctionnement est toujours le même.

La détente n'a donc qu'une seule position de repos, et c'est le ressort de rappel qui la lui impose. C'est la position qui bloque le rouage, car une dent de la roue d'échappement est en appui sur la palette de repos fixée sur la détente (Fig. 9 et 10).

Pour libérer le rouage, afin de fournir l'impulsion, il faut éloigner la détente. C'est ce que fait la palette de dégagement positionnée sur le plateau (Fig. 9), en entraînant une lamelle d'or fixée à la détente.

Dès que la roue est libre, une de ses dents chute sur la palette d'impulsion, et une impulsion directe est assurée. Instantanément le ressort de rappel ramène la détente à sa position et ainsi la palette de repos bloque de nouveau la roue, le régulateur poursuit son arc d'oscillation supplémentaire totalement librement.

C'est l'alternance active.

Le rebroussement se produit et durant cette alternance, seule la palette de dégagement frotte sur l'extrémité de la lamelle d'or, sans faire bouger la détente.

C'est l'alternance muette.

Les figures de 11 à 13 montrent d'autres types de détentes.

L'échappement libre à ancre

Il a été dit que Mudge était à l'origine de l'utilisation de l'ancre comme mobile d'arrêt, mais ce terme est bien antérieur, puisque vers 1670, Hooke (1635-1703) et William Clément (1633-1704) l'utilise pour leur échappement à ancre à recul dans les horloges. Son nom vient peut-être de la comparaison avec la forme de l'ancre des navires, mais aussi, pourquoi pas, de sa fonction, l'arrêt du navire... Le succès de cet échappement a été et reste exceptionnel puisqu'il équipe toujours la quasi-totalité de la production horlogère portable, trois siècles et demi après son invention.

Maintenant, si la détente a été exécutée dans de nombreuses dispositions, ce n'est rien en comparaison avec l'ancre qui, pour sa part, a été utilisée et modifiée à de multiples reprises, et ce qui suit n'est qu'un échantillon.

Une de ces modifications c'est déjà jouée sur la longueur de la baguette, car les proportions ont une réelle importance. Voici deux ancres (Fig. 14), une de Breguet, l'autre de Rolex, pour constater que la longueur des baguettes est totalement disproportionnée, celle de Breguet faisant plus de 30 % du diamètre de sa platine et celle de Rolex largement moins de 10 %.

Mais c'est surtout dans l'utilisation de l'ancre pour transmettre ou pas l'impulsion que l'on trouve de nombreuses tentatives. À l'époque, les chercheurs ayant connaissance des deux possibilités : impulsion directe avec la détente et indirecte avec l'ancre, et connaissant également les fai-

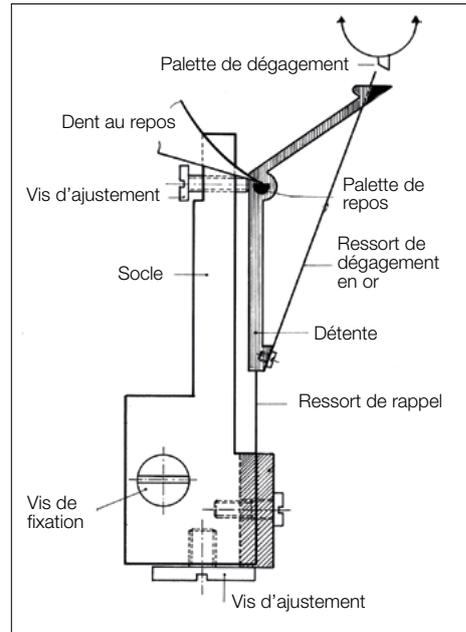


Fig. 9 : Détente rappel ressort.

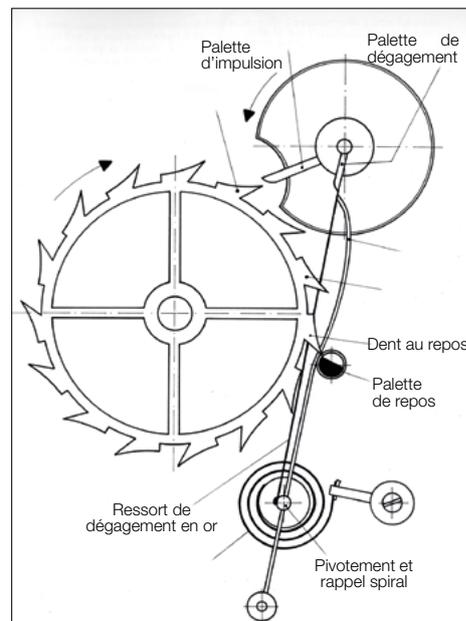


Fig. 10 : Détente rappel spiral.

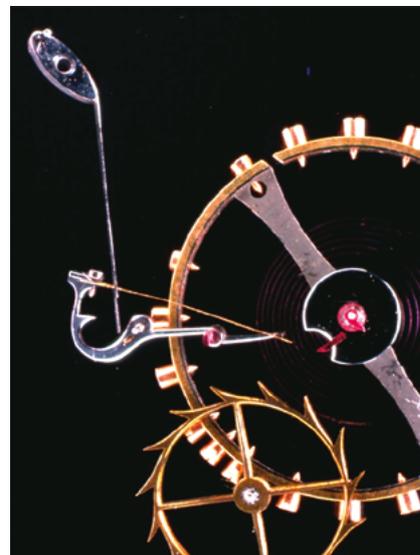


Fig. 11 : Détente pivotée, ressort séparé.

blesses de chacun, certains tentent de faire des mélanges des deux et ainsi est né le premier échappement à ancre – donc pièce d'arrêt à deux positions de repos – et impulsion

directe (Fig. 15). Il est dû à Pierre Leroy, celui-là même à l'origine de la détente, qui le place dans son chronomètre de marine de 1763, actuellement aux Arts et Métiers à Paris.

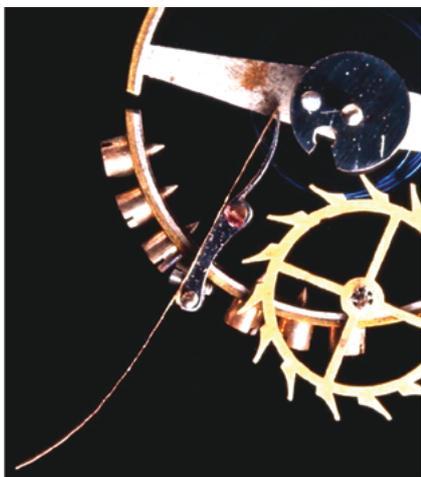


Fig. 12: Détente pivotée, un ressort.

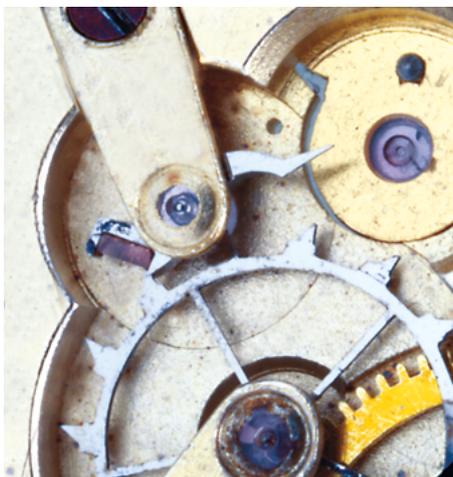


Fig. 13: Détente sans ressort, palette répulsive.

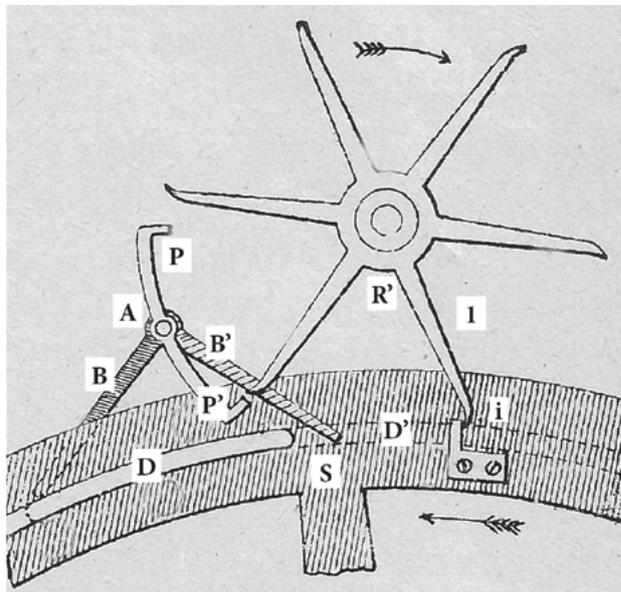


Fig. 15: Ancre de Pierre Le Roy 1763.

Assez bizarrement toutes les fonctions de cet échappement sont commandées par la serge du balancier. Ainsi, (Fig. 15) **R** est la roue qui fournit l'impulsion directe, ici par la dent (**1 en i**). L'ancre (**A**) bloque la roue par chacune de ses palettes, (**P et P'**). Les bras (**B et B'**) étant l'enfourchement qui balance l'ancre à chacune de ses positions de repos, grâce aux pièces incurvées (**D et D'**) fixées de part et d'autre de la serge du balancier. On le constate, le principe de cette construction est identique à celui que Robin (Fig. 16), réalise 30 ans plus tard, et qui reste comme étant à l'origine de ce genre d'échappement, à savoir: pièce d'arrêt à deux positions de repos et impulsion directe sur une seule alternance, donc comportant une alternance muette, dite «à coup perdu».

C'est ce dernier point qui semble perturber les chercheurs en horlogerie portable, car cette alternance muette provoque ce que l'on nomme «l'arrêt au doigt», c'est-à-dire que la montre risque de s'arrêter durant cette alternance, par exemple sur un choc, et rien ne la relance... ainsi, d'autres applications voient le jour. En voici quelques unes dans lesquelles une palette n'assure que le repos et l'autre comporte un plan d'impulsion, si bien que ce genre d'échappement a une impulsion directe et une indirecte, le coup perdu est donc supprimé:

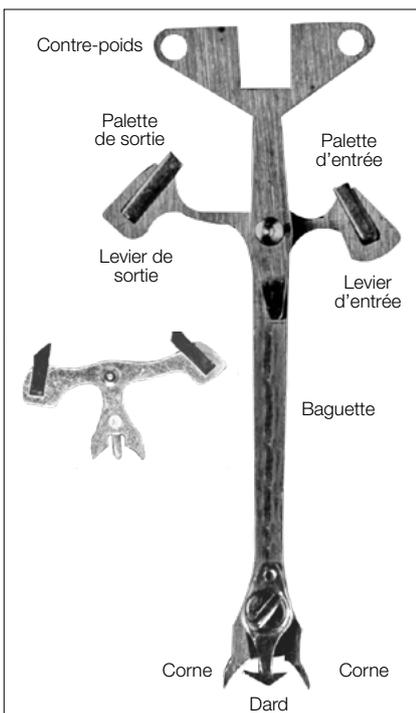


Fig. 14: Ancre Rolex à gauche et ancre Breguet à droite.

P. Le Roy	1763	(Fig. 15)
Robin	1791	(Fig. 16)
Breguet	1820	(Fig. 17)
Bise	1859	(Fig. 18)
Richard	1860	(Fig. 19)
Pellaton	1920	(Fig. 20, 20a et 20b)
Daniels	2000	(Fig. 21)
A. P.	2005	(Fig. 22)
EPFL	2018	(Fig. 23)

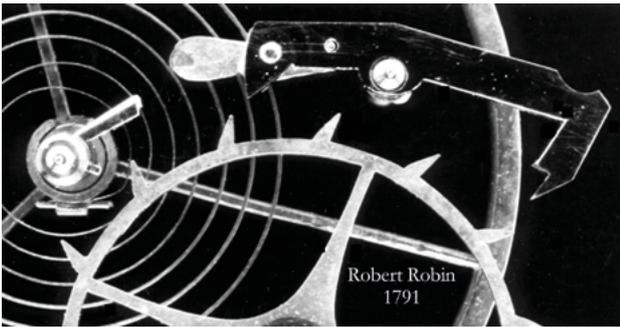


Fig. 16: Robert Robin une impulsion directe, coup perdu.

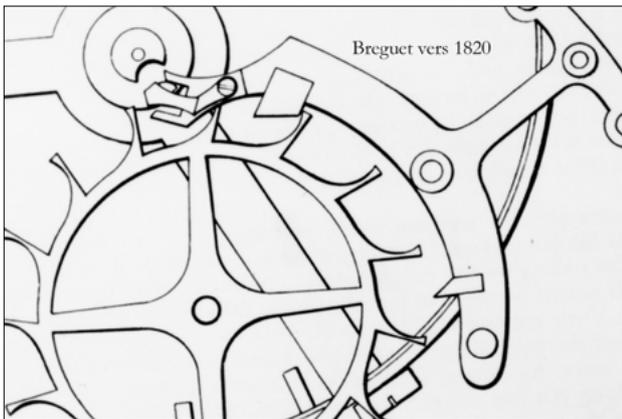


Fig. 17: Breguet une impulsion directe, une indirecte.

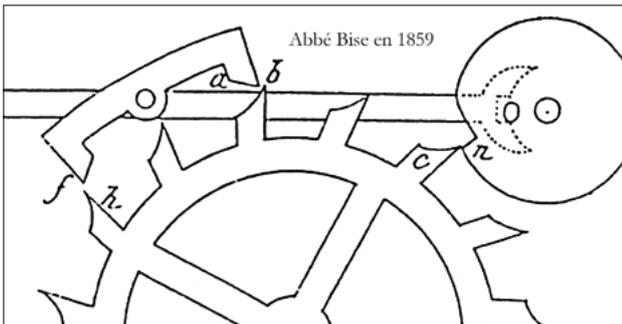


Fig. 18: Abbé Bise une impulsion directe, une indirecte.

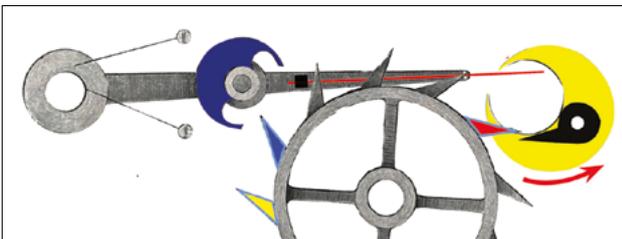


Fig. 19: Louis Richard de Nantes une impulsion directe, coup perdu.

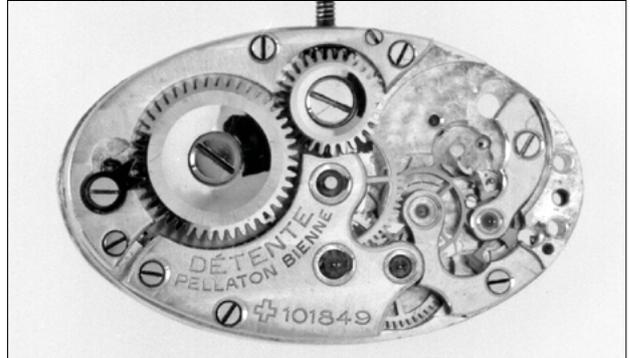
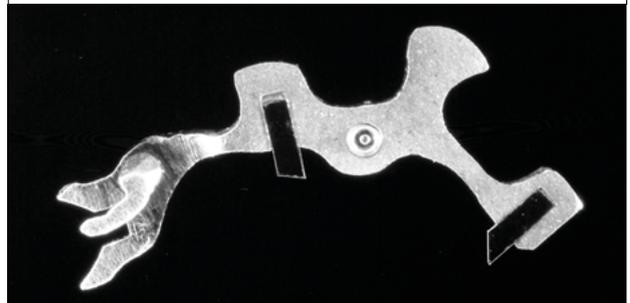
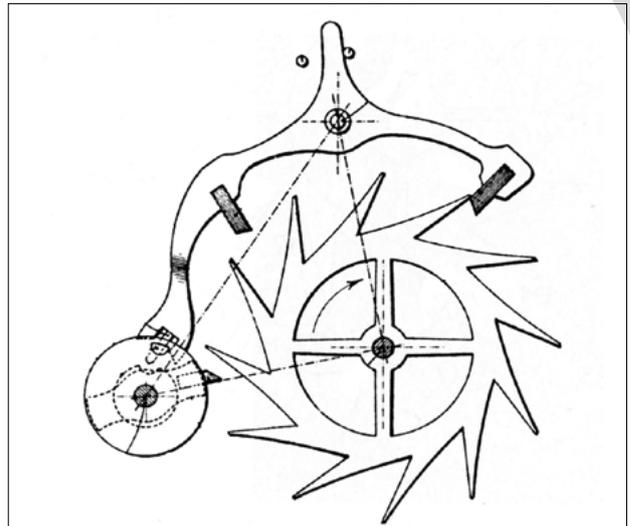


Fig. 20, 20a et 20b: Pellaton une impulsion directe, une indirecte.

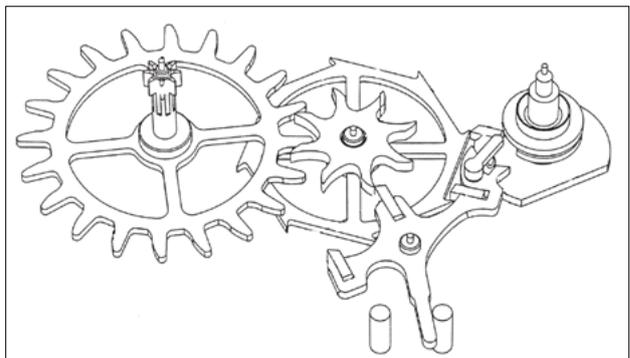


Fig. 21: Daniels une impulsion directe, une indirecte.

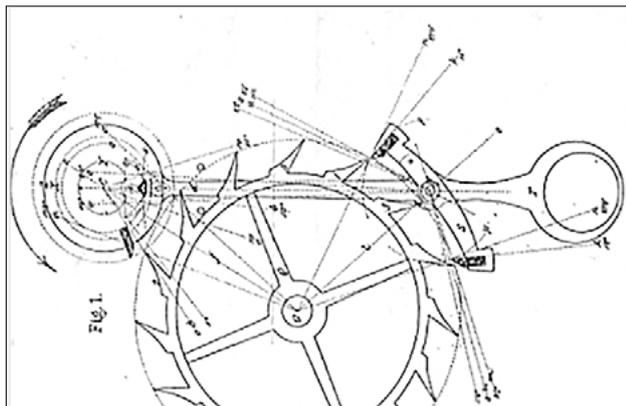


Fig. 22: Audemars Piguet, une impulsion directe, un coup perdu.

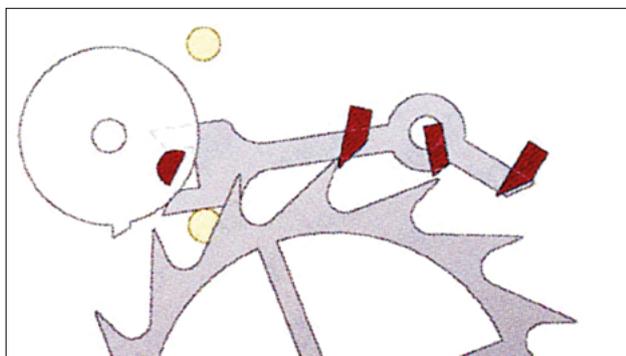


Fig. 23: EPFL une impulsion directe, une indirecte.

Et quelques autres particuliers

Mais certains sont allés encore plus loin pour tenter de parvenir à assurer une impulsion directe à chaque alternance, donc n'utilisant l'ancre que comme mobile de repos, et parmi eux Breguet, dont voici son échappement (Fig. 24) qu'il a nommé « naturel ». Cet échappement comporte deux roues engrenant l'une avec l'autre, donc tournant inversement, portant chacune coaxialement une roue à dents pointues. Ce sont ces dents qui assurent les repos et les impulsions, et l'ancre (Fig. 24a) n'a qu'une palette¹.

En voici deux autres (Fig. 25 et 25a), attribués à Jean Renaud (?), vers 1862. Ils sont à impulsion directe, avec denture de roue particulière ce qui leur permet d'afficher la seconde morte, tant l'un avec des dents doubles, que l'autre avec des dents triples, simplement que l'un est à triple coup perdu pour une fréquence de 14'400Ah, et l'autre à cinq, pour une fréquence de 21'600Ah.

En fonction de ce qui a été dit sur l'éventuel inconvénient du coup perdu, le fonctionnement de ceux-ci serait à vérifier...

Puis voici un échappement ancre, à coup perdu et impulsion directe (Fig. 26 et 26a), qui a été utilisé par

les Anglais de la Patent Union courant du XIXe siècle. Il n'est pas totalement libre, l'extrémité de la baguette de l'ancre terminée en pointe, frotte contre un très petit rouleau en rubis fendu placé sur l'axe. Les palettes sont répulsives, donc ne conservent pas le repos, au contraire elles repoussent continuellement l'ancre dont la pointe de la baguette frotte contre le rouleau. Dès que la baguette trouve la fente du rouleau, l'ancre est libérée et la palette déplace l'ancre dans sa seconde position de repos. Dans un sens en transmettant une impulsion, dans l'autre pratiquement à vide.

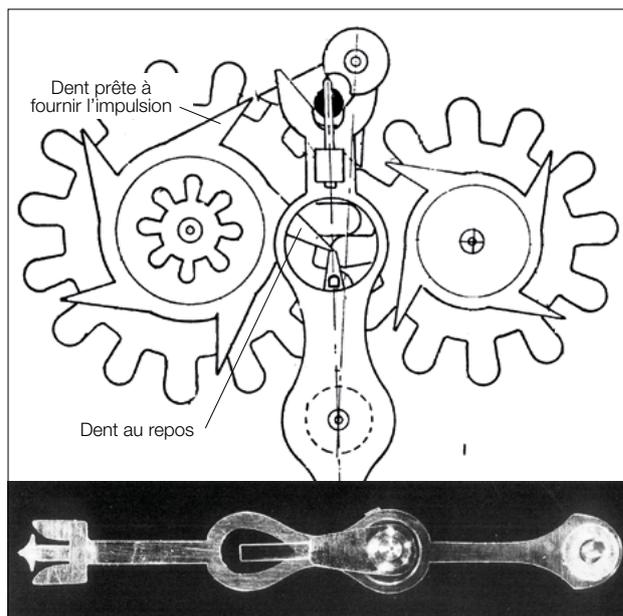


Fig. 24 et 24a: Naturel de Breguet, impulsion directe à chaque alternance.

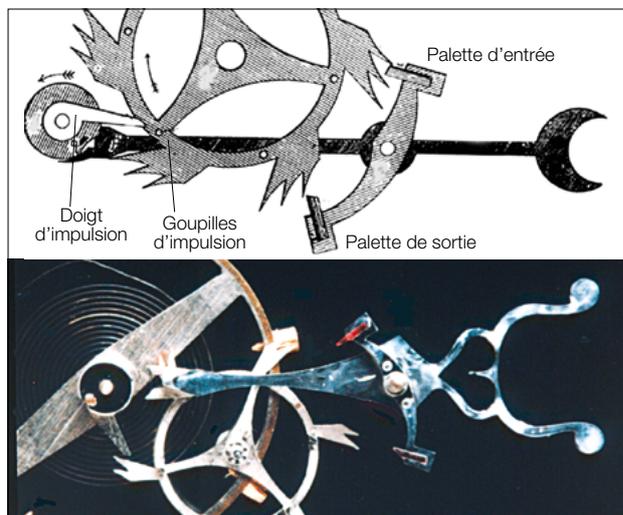


Fig. 25 et 25a: Échappements de Jean Renaud assurant la seconde morte, 5 coups perdus pour celui du haut avec 21'600Ah, et 3 coups perdus pour celui du bas avec 14'400Ah, impulsion directe.

¹ Ce principe de fonctionnement d'échappement est celui utilisé dans le modèle des montres «Freak», de la Maison Nardin.

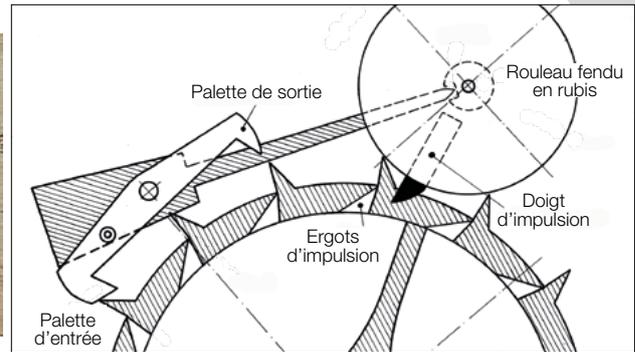


Fig. 26 et 26a : Ancre à palettes répulsives, une impulsion directe et légère indirect.

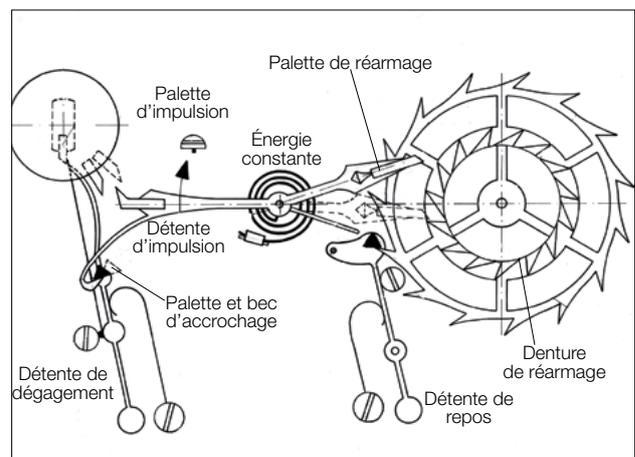


Fig. 27 et 27a : Échappement à force constante, triple détente de Louis Richard du Locle, vers 1840.

Et pour terminer un échappement à force constante à triple détentes, impulsion directe et coup perdu (Fig. 27 et 27a), il est de Louis Richard du Locle vers 1840. Les contacts avec le balancier sont toujours d'intensité égale, tant pour les impulsions que pour les dégagements. Le spiral d'énergie constante est réarmé pour chaque impulsion d'une même intensité. ■

Photographies et dessins

De l'auteur pour les photographies, et en collaboration avec Claudine Taillard pour les dessins, sauf pour les numéros 8, 8a, 15, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24 et 25.

Bibliographie

- [1] Charles GROS, *Échappement d'horloges et de montres*, Le Neubourg (Eure), 1913.
- [2] Paul DITISHEIM, Roger LALLIER, L. REVERCHON, Le commandant VIELLE, *Pierre Le Roy et la chronométrie*, Paris, Éditions Tardy, 1940.