

## II. — Pierre Le Roy et Ferdinand Berthoud.

En France, les horlogers travaillaient aussi. Julien Le Roy, le collaborateur de Sully, avait donné un grand essor à l'horlogerie de notre pays. « On lui est surtout redevable, dit Berthoud, de la perfection que la main-d'œuvre acquit de son temps. » Il mourut en 1759, laissant en Pierre Le Roy un fils doué d'un tempérament d'artiste, qui devait se donner tout entier à la construction d'une montre à longitude, et dont les recherches firent franchir des pas décisifs à l'horlogerie de précision. Ce n'est pas qu'il ait beaucoup écrit ni beaucoup construit. Il n'a vraiment livré que deux horloges à l'étude des marins et des astronomes ; mais les principes de leur construction étaient simples, clairs et si justes, qu'ils ont été adoptés après lui, malgré de profondes modifications dans leur réalisation.

Le prix de 1767 avait pour sujet « la meilleure manière de mesurer le temps en mer ». Louis XV « y avait applaudi et avait promis ses faveurs aux méthodes qui seraient proposées ». Le Roy, à cette occasion, remit à l'Académie sa montre n° 1, désignée plus tard par A (ancienne), le 5 août 1766. La deuxième, appelée n° 2 ou S (seconde), fut d'ailleurs identique. La description de l'instrument était donnée dans un mémoire déposé le 5 septembre, que l'on trouve imprimé à la suite de la relation du voyage de Cassini de 1768, fait spécialement pour éprouver les horloges de Le Roy. On peut voir l'une d'elles, en bon état encore, au Musée du Conservatoire des Arts et Métiers. Le moteur est un ressort et il n'y a pas de fusée, d'où il résulte que les arcs décrits vont de  $100^{\circ}$  à  $90^{\circ}$ . Le balancier est une roue continue de 4 pouces ( $10^{\text{cm}},8$ ) de diamètre (fig. 31). Il est horizontal et monté au haut d'un axe allongé vers le bas. Ce balancier, dont les oscillations trop peu étendues et trop lentes étaient trop sensibles aux perturbations, n'oscille pas entre des pivots. On ne savait pas, à cette époque, en France, travailler les pierres précieuses pour l'horlogerie. Cet art, né en Suisse, était

passé en Angleterre et on en avait fait un secret. D'ailleurs, ce balancier était lourd. Il pesait 5 onces (160 gr.) et, avec l'emploi de pivots, leur usure rapide était à craindre, ou tout au moins

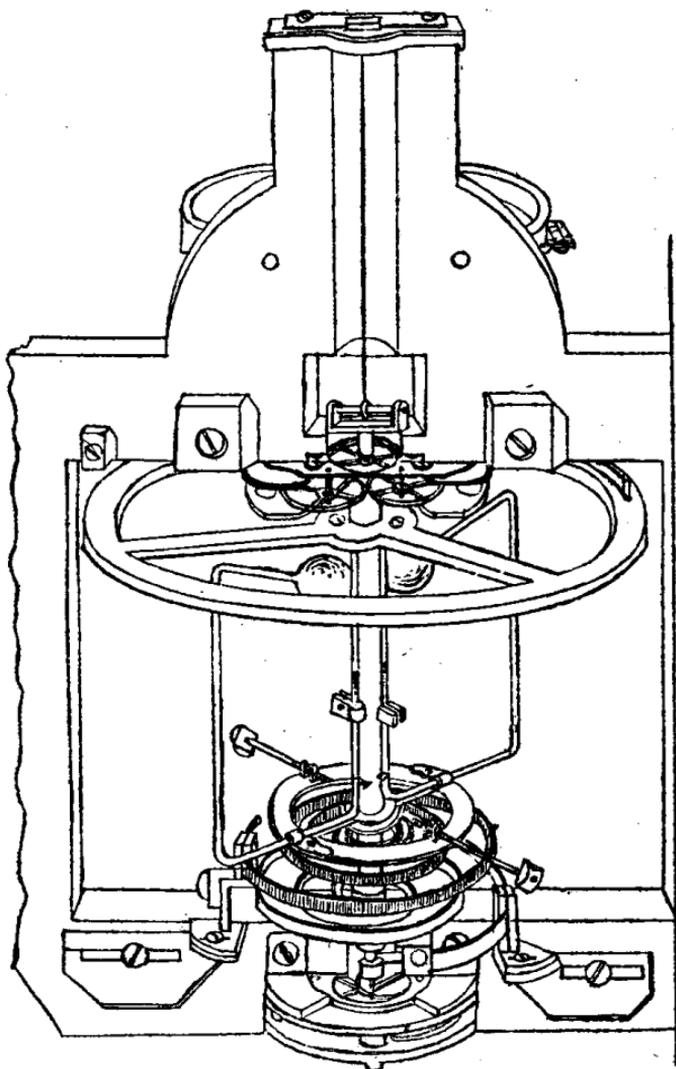


Fig. 34.

l'augmentation des frottements. Le Roy résolut le problème en suspendant le balancier par son extrémité supérieure à un fil de clavecin très fin, de 3 pouces (8 cm.) de long. Il s'était arrêté à cette nature de fil après de longues études. Par sa simple torsion, il faisait faire au balancier des vibrations de 20 secondes. Mais,

en réalité, ces vibrations ne se font qu'en 0<sup>s</sup>,5, grâce à l'emploi de deux ressorts spiraux plats « semblables aux grands ressorts des montres » et situés à la base de l'axe du balancier. Il en mit deux pour éviter les pressions latérales et pour avoir une machine moins sensible aux secousses. Ils étaient parfaitement isochrones. Le Roy était parvenu à leur donner la propriété d'accomplir les grandes vibrations dans le même temps que les petites, après vingt ans d'expériences, dans lesquelles, en faisant varier la force motrice, il faisait osciller des spiraux douze heures à de grands arcs, puis douze heures à de petits arcs. Il avait ainsi découvert la règle de l'isochronisme qu'il énonçait : « il y a dans tout spiral une certaine longueur pour laquelle les grandes vibrations se font dans le même temps que les petites. Si vous raccourcissez le ressort, les grandes vibrations sont plus promptes que les petites ; si vous l'allongez, c'est le contraire qui a lieu » ; et il parvenait par ce moyen à réaliser l'isochronisme à un tel point, qu'entre les durées de 100.000 vibrations de 100° et de 30°, on ne percevait aucune différence. Enfin l'axe du balancier était guidé par huit rouleaux analogues à ceux de Sully, mais de petites dimensions, et placés par quatre à chacune de ses extrémités.

L'échappement devait permettre au spiral d'accomplir ses vibrations dans une indépendance aussi complète que possible du rouage, afin de ne pas troubler l'isochronisme ; et Le Roy adapta à sa montre un échappement libre. Déjà, en 1748, il avait présenté un tel échappement, « le premier qui eût paru », dit-il, quoiqu'il ait écrit plus tard, dans ses *Étrennes chronométriques*, qu'il avait vu chez Dutertre un échappement construit sur les mêmes principes. Mais celui de Dutertre resta sans doute une pièce d'atelier. L'Académie, ayant pris connaissance de celui de Le Roy, avait déclaré que « l'idée lui en paraissait neuve et susceptible de beaucoup d'avantages ». La première application qu'il fit de cette idée fut précisément l'échappement de sa montre de 1776. Nous le représentons sur les figures jointes (1) (fig. 32). La détente AB est pivotée en F. Quand le

(1) Il est tout autre que l'échappement de 1748 ainsi qu'on le voit dans Gallon.

balancier MN va vers N, l'arc CD, frappant le bras FE dégage le rayon GH du repos A et le rayon HI vient s'appuyer sur repos B. Au retour, l'arc LR frappe le bras FK et dégage le rayon HI du repos B. Ce rayon vient alors tomber sur le repos A et tout le rouage avance. Le taque T sert à entretenir le mouvement du balancier.

Il reste à décrire la compensation pour la température. Le Roy s'assura d'abord expérimentalement que la longueur du spiral qui assurait l'isochronisme restait la même quelle que soit la température. Ses expériences portèrent entre des températures variant de  $-5^{\circ}$  à  $+40^{\circ}$  ( $-6^{\circ}25$  à  $50$ ). Dès lors le mécanisme

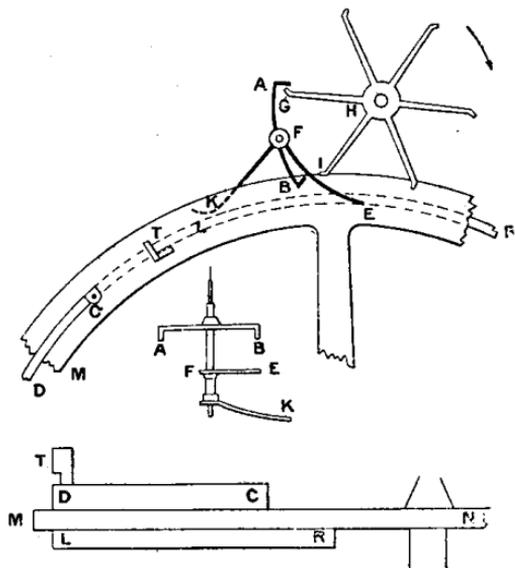


Fig. 32.

de compensation ne devait pas toucher au spiral et il ne restait, pour effectuer cette compensation, qu'à agir sur le moment d'inertie du balancier. Il avait essayé un balancier formé de deux lames d'acier et de cuivre (fig. 33) rivées l'une à l'autre, le cuivre à l'extérieur, les bi-lames étant sectionnées sur un diamètre perpendiculaire à la barrette, et il avait même pensé à ajouter des masses sur les lames pour augmenter leur effet. Mais il renonça à ce balancier qui ne lui paraissait pas assez solide; et il employa pour la compensation deux thermo-

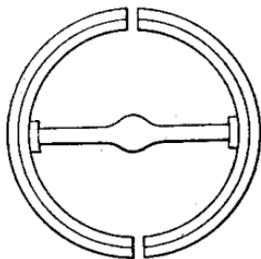


Fig. 33.

mètres placés sous le balancier et dont le tube, coudé trois fois, est maintenu dans un plan passant par son axe (fig. 34). L'instrument a ainsi une hauteur de 2 pouces ( $5^{\text{cm}},4$ ). La boule et la base du tube contiennent de l'alcool qui, en se dilatant, pousse vers l'axe une colonne de mercure, ce qui entraîne une diminu-

tion du moment d'inertie du système oscillant, condition nécessaire de la compensation. En résumé, la montre de Le Roy est construite sur le triple principe de l'échappement libre, de l'isochronisme du spiral, pour lequel il a trouvé une méthode exacte et facile à appliquer, et de la compensation par le balancier. Elle était enfin suspendue dans une boîte dont la base avait un pied (0<sup>m</sup>,32) de côté et dont la hauteur était de 9 pouces (24 cm.).

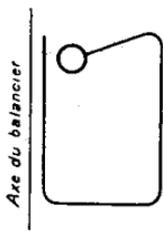


Fig. 34.

Ferdinand Berthoud, son contemporain, était né à Neufchâtel, sujet du roi de Prusse. Il vint à Paris, à 1745, en l'âge de 18 ans, et il s'y installa à proximité de Julien Le Roy. Il a incomparablement plus écrit et plus construit que Pierre Le Roy.

Tenace et grand travailleur, il paraît avoir beaucoup tenu à occuper une situation officielle, consacrant la gloire qu'il avait acquise, dont il se montrait très jaloux. En 1763, un gros *Essai sur l'Horlogerie*, annoncé dans son *Art de conduire les pendules* publié à La Haye en 1759, le fit connaître avantageusement. « C'était, si on l'en croit, le premier ouvrage européen sur la question. » A la suite de ce travail, assurément estimable à l'époque, il fut envoyé à Londres, la même année, pour étudier la montre de Harrison. Lalande raconte, dans la *Connaissance des Temps* de 1765, qu'après le voyage à la Jamaïque, le duc de Nivernois, ambassadeur de France à Londres, fut invité à faire venir de Paris des personnes capables d'examiner la découverte de Harrison, « marque d'estime et d'amitié qu'on donnait à la France ». On choisit Camus, Lalande et Berthoud. Mais cette tentative n'eut aucun résultat, Harrison n'ayant rien voulu révéler. Il ne montra rien non plus d'ailleurs en 1766, année où Berthoud retourna à Londres, par ordre de Choiseul, dans le même but. Son succès y fut encore nul malgré les efforts du ministre de France qui offrit 500 livres sterling à Harrison s'il consentait à livrer son secret. Ce dernier ne consentit à rien « pour une telle bagatelle ».

Quoi qu'il en soit, c'est à la suite de ce second voyage que Choiseul assurait à Berthoud l'entreprise des horloges marines des vaisseaux du roi, « supposant qu'il en pût faire », ajoute malicieusement son rival Pierre Le Roy. C'était un véritable privilège

après lequel il reçut immédiatement, le 2 août 1766, l'ordre de construire deux horloges à longitude. Trois jours après, Le Roy remettait la sienne.

Berthoud avait déjà donné des preuves de sa volonté de bien faire. En novembre 1763, il avait achevé une montre portative qu'il a désignée par le numéro 3; et il avait obtenu, l'année suivante, qu'elle fût essayée. Cette montre devait pouvoir occuper toutes les positions. Elle avait pour moteur un ressort, et son balancier, de 2 pouces (5<sup>em</sup>,4) de diamètre et du poids de 3,5 gros (14 gr.), n'était dès lors pas suspendu, mais guidé, toutefois, par des rouleaux comme dans l'horloge de Sully. Elle faisait quatre vibrations par seconde. Les arcs parcourus étaient de 180°. En octobre 1764, on l'embarqua à Brest sur l'*Hirondelle*, commandée par Goimpy, « aussi instruit dans l'astronomie que dans la marine », qui était chargé de son examen, concurremment avec Chappe et Duhamel. Pour en déterminer la marche, ils observèrent, à terre, des hauteurs correspondantes de Soleil, et ils firent, les 16 et 20, en rade, deux sorties de vingt-quatre heures. Les résultats obtenus sont contenus dans le tableau ci-joint :

	<i>Dates.</i>		<i>Marches.</i>
	—		—
7	octobre . . .	+	2 <sup>s</sup> 24
9	— . . .	+	5 <sup>s</sup> 30
10	— . . .	—	0 <sup>s</sup> 45
16	— . . .	—	4 <sup>s</sup> 31
20	— . . .	—	9 <sup>s</sup> 40
23	— . . .	—	10 <sup>s</sup> 50

Après des résultats aussi médiocres, les études furent arrêtées. Le 14 novembre 1764, Chappe lut son rapport en séance publique. C'est celui que nous connaissons déjà. Il déclara que la montre n'avait pas eu le degré de précision à désirer pour la découverte des longitudes et l'Académie jugea également qu'une épreuve de 13 jours à terre et de 4 jours en rade, en deux sorties, n'était pas suffisante pour asseoir un jugement sur l'instrument. Elle décida donc qu'on attendrait des expériences plus décisives pour donner l'extrait du mémoire de Chappe, qui ne fut jamais

imprimé, Berthoud n'ayant plus livré sa montre à des essais officiels.

Mais il n'en était qu'à ses débuts, et il fit beaucoup mieux peu après. Seulement, il nous paraît que dans toute question de priorité relative aux premières réussites des horloges à longitude, on doit écarter, à la date de 1764 au moins, cette montre n<sup>o</sup> 3, aussi bien qu'on écarte celle de Sully, puisqu'elles se sont montrées très défectueuses. « Ce n'est pas, en effet, de s'être occupé, comme mille autres, de la détermination des longitudes, qu'on peut se faire un titre, dit Le Roy, mais d'être arrivé à cette détermination. »

Il est difficile de donner, en peu de mots, une idée des montres de F. Berthoud, comme nous avons pu le faire pour Le Roy, parce que, non seulement il en a construit ou ébauché un très grand nombre (en 1787 il déclarait avoir construit 45 horloges ou montres à longitude, et le *Supplément du Traité des Montres à Longitude*, paru l'année de sa mort, en 1807, décrit une horloge horizontale numérotée 73), mais encore parce qu'il a beaucoup varié dans les principes de leur construction. On ne peut lui en faire un trop fort grief, car il était assez naturel de tout essayer à une époque où on cherchait la voie la meilleure; mais il paraît raisonnable de voir quand même, dans ses continuelles alternatives, la marque d'une sorte d'impuissance à concevoir avec netteté les principes justes qui devaient s'imposer à ses successeurs. Le Roy, au contraire, pensait, et il avait raison en *principe*, sauf pour la suspension du balancier, que dans « l'avenir, les montres dont on ferait usage, seraient faites à très peu près, sur son modèle ». Berthoud, donc, suivant les conditions à réaliser et aussi selon le moment, emploie comme moteur le poids ou le ressort; adopte le balancier lourd et de grand diamètre, ou petit; à oscillations rapides ou lentes; enfin s'arrête à un échappement à cylindre à palettes ou bien à un échappement libre, une même montre recevant quelquefois successivement les deux mécanismes. Enfin, longtemps, il ne compense que par le spiral, et quand il se décide à agir sur le balancier, il complète presque toujours la disposition par une compensation supplémentaire réalisée au moyen d'un pince-spiral. Sa tentative la plus curieuse fut peut-être celle que réalisa son horloge n<sup>o</sup> 5.

Le régulateur y était composé d'un pendule et d'un spiral placé sur son axe de rotation. Avec ses spiraux les grandes oscillations étaient plus rapides que les petites. C'était le contraire pour le pendule. Il espérait alors obtenir l'isochronisme par leur combinaison. Les arcs maxima du pendule étaient de  $30^\circ$ .

Nous nous bornerons donc à décrire ici les seules horloges 6 et 8 qui furent l'objet des épreuves officielles dont nous parlerons bientôt. Ces horloges, qu'il livra à l'automne de 1768, furent celles qu'il construisit sur l'ordre de Choiseul. Les détails de leur construction sont donnés dans le *Traité des Horloges marines*, paru en 1773. Le moteur de l'horloge n° 6 est un poids, qui entretient son mouvement pendant 28 heures. Il pèse 6,5 livres. Berthoud préfère le poids au ressort parce que le ressort se « rend » à l'usage et se casse sans cause apparente et parce que sa force varie avec la température. « Il est prouvé d'autre part, dit-il, que les agitations du vaisseau ne lui causent aucun dérangement. » Le poids est guidé, et, pour l'empêcher de remonter, à la mer, il est retenu par une crémaillère qu'on peut écarter pour le remontage. Le balancier est relativement petit, cette horloge devant être d'un faible volume. C'est une roue fermée de 28 lignes (63 mm.) de diamètre. Il pèse 290 grains (15 gr.) et il est fait en cuivre, l'or étant trop cher et l'acier étant magnétique et sujet à la rouille. Il est horizontal et suspendu, comme dans les montres de Le Roy, mais par un ressort plat, et il est guidé également par des rouleaux; seulement ceux-ci sont de grandes dimensions. Enfin il décrit des arcs de  $130^\circ$  et fait quatre battements par seconde. Le système régulateur est constitué par un spiral plat, qui fait deux à trois tours. Les règles de Berthoud, pour rendre ce spiral isochrone, n'ont pas la simplicité de celles de Le Roy. L'isochronisme, dit-il, s'obtient par la longueur du spiral, mais pour y parvenir facilement, il faut aussi « que la lame soit plus forte du centre que du dehors »; qu'elle « aille en diminuant du centre au dehors »; il y insiste, et pour réaliser cette progression, il faisait sa lame de spiral en fouet, progressivement plus faible à mesure qu'elle s'éloignait du centre, moyen, écrivait, en 1812, son neveu Louis Berthoud, qui était impraticable à tout autre qu'à lui. D'ailleurs, ses spiraux, souvent, n'étaient pas très bons et c'est peut-être le sentiment des

difficultés qu'il avait à vaincre dans leur construction qui lui faisait préférer le poids au ressort moteur, celui-là étant moins variable que celui-ci et assurant davantage l'égalité des arcs parcourus par le balancier.

Berthoud dit que l'échappement doit être libre, qu'il a fait un tel échappement en 1754, à repos et à détente, que le balancier y faisait deux vibrations pendant qu'il n'échappait qu'une dent de la roue, et que, quand la roue échappait, elle restituait, « en une vibration au régulateur, le mouvement qu'il avait perdu en deux »; enfin que l'action du rouage demeurait suspendue par une ancre ou cliquet fixé à un axe portant un levier à pied de biche. Nous verrons que rien ne prouve que cet échappement ait été réellement construit en 1754. En tout cas Berthoud ne l'employa pas dans son horloge n° 6 « parce qu'il pouvait échapper deux dents au lieu d'une ». Il se servit donc d'un échappement spécial à cylindre, dans lequel le cylindre est relié au balancier par un rateau. Et il le munit de tranches de rubis d'Orient pour diminuer les redoutables frottements qui étaient si grands que lorsqu'il remplaça sur le n° 9 un pareil échappement par un échappement libre, il put ramener le poids moteur de 10 livres à 3,5 livres

Son système de compensation n'avait non plus rien d'original. Il expérimente que quand la température varie de 27° (33°7), la marche de l'une de ses horloges, le n° 9, varie de 2<sup>s</sup>,3/5 par heure, par suite de l'augmentation du diamètre du balancier; de 1<sup>s</sup> par heure par l'effet de l'allongement du spiral, qui a 40 centimètres de longueur; enfin que la variation due au changement de l'élasticité de ce dernier, voisine de 13<sup>s</sup> par heure, est très prépondérante, « fait d'expérience dont il abandonne l'explication à ces philosophes heureux pour qui la nature n'a rien de caché », ajoute-t-il. (On pensait alors que l'élasticité d'un corps était produite par un fluide emprisonné dans ses pores.) Dans un de ses premiers projets, il a construit des balanciers au moyen de verges droites d'acier et cuivre portant deux lentilles, système qu'il est difficile de rendre symétrique; mais il aime mieux effectuer la compensation en agissant sur la longueur du spiral; et, dans son n° 6, il emploie à cet effet une grille composée de 8 tringles d'acier et autant de cuivre, alter-

nées et solidaires deux par deux et destinées, sous un faible encombrement, à produire, par la différence des dilatations des deux métaux, un déplacement notable de l'extrémité libre; système imaginé par Harrison en 1725 pour ses pendules. L'extrémité libre appuie sur le bout du petit bras d'un levier à deux branches très inégales, dont la grande branche porte deux chevilles entre lesquelles passe le spiral. Tout le mouvement était enfermé dans un tambour cylindrique de cuivre beaucoup plus long que large. L'appareil est suspendu à la cardan, le point de suspension passant par le milieu du balancier. Sous l'enveloppe, la machine a 36 centimètres de hauteur et 14<sup>cm</sup>,5 de large. Enfin la cardan est supportée par une fourche maintenue dans un pied et un ressort à boudin atténue la transmission des chocs et des vibrations du pied à l'horloge.

L'horloge n° 8 ressemble beaucoup à la précédente. Elle est faite pour la plus grande exactitude possible. Le rouage est plus simple; le balancier a 55 lignes 7/12 (125 mm.) de diamètre. Il décrit des arcs de 240°. Le spiral est long de 9,5 pouces (26 cm.) et il a une largeur de 1 ligne 1/6 (2<sup>mm</sup>,6). Il fait 7,25 tours et une vibration par seconde. L'échappement est encore à cylindre et la compensation à grille. Elle marche 32 heures. Berthoud a supprimé les crémaillères de retenue du poids, jugées inutiles. Il a toujours considéré cette horloge comme une de ses meilleures. Elle était trois fois plus encombrante que celle de Le Roy, à cause du poids surtout.

Au total, on voit que ces horloges étaient entièrement différentes de celles de Le Roy. Quant au moteur, à l'échappement et à la compensation, elles étaient en quelque sorte leur antithèse.