Version 4/ 25/12/2024

L'additionneur - Multiplicateur

de *Christian Huygens*

Le chaînon manquant ?

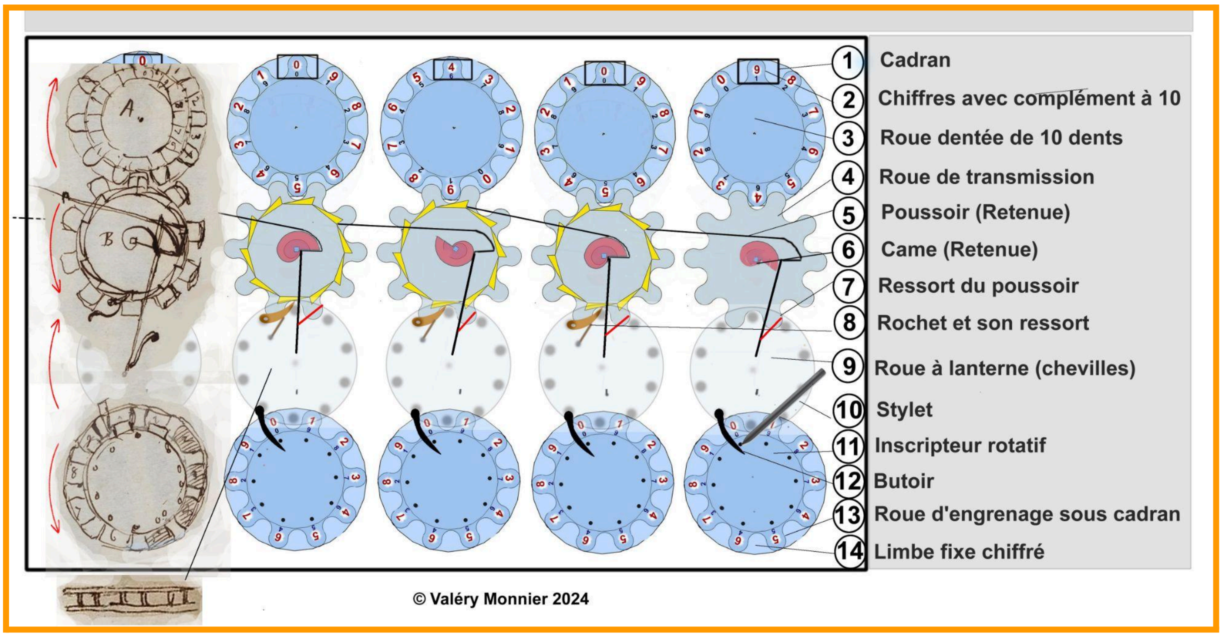
A Walter Szrek, mon ami disparu

/ Valéry Monnier

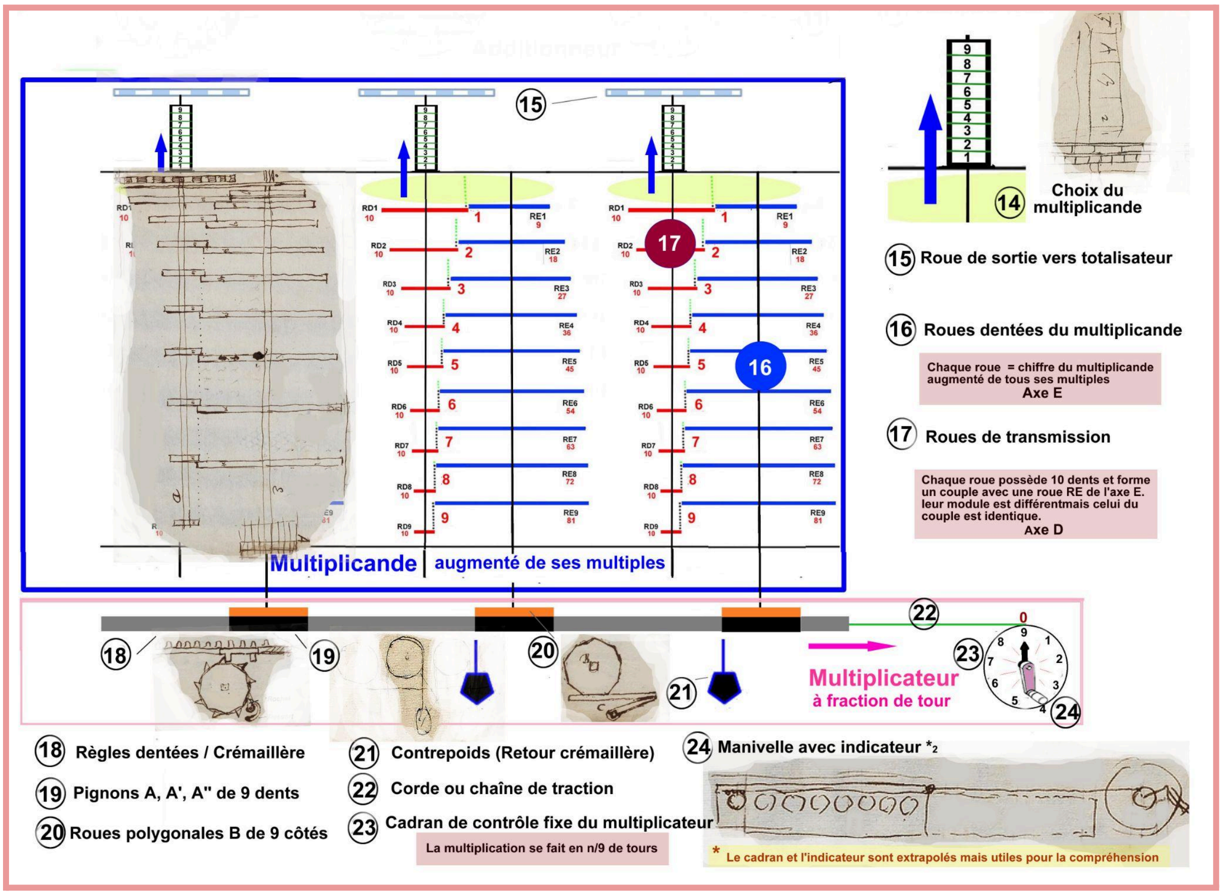
2024

Schématisation de l'additionneur et du multiplicateur de Huygens

L'additionneur



Le multiplicateur



SOMMAIRE

L’additionneur-multiplicateur de *Christian Huygens* (Circa 1660)

/ Valéry Monnier

1. Introduction

L’objectif de cette étude est de mettre en lumière le génie de *Christian Huygens*[1] (1629-1695) dans le domaine du calcul mécanique. J’ai retrouvé, dispersés parmi des milliers de notes, plusieurs feuillets exceptionnels qui témoignent du vif intérêt que *Huygens* porta, dans les années 1660, à la machine arithmétique de *Blaise Pascal*. Certains dessins ont été publiés en 1932 dans le tome XVII des œuvres complètes de Huygens[2] sous le titre évocateur de “*Modification de la machine de Pascal”*[3]. En réalité, il s'agit de bien plus que cela. *Huygens* a conceptualisé une machine à calculer complètement nouvelle qui propose d’une part un additionneur compact disposant d'un mécanisme de retenue performant, et d'autre part, d'un multiplicateur étonnamment moderne. Il est le premier, du vivant de *Blaise Pascal*, ou juste après, à avoir imaginé un tel mécanisme. Malheureusement, les quelques dessins imprimés dans le tome XVII étaient de mauvaise qualité et ne permettaient pas d'approfondir la recherche.

C'est en consultant les archives numérisées de *Huygens* (Codices Hugeniani online)[4], dont les manuscrits sont conservés à la bibliothèque de Leyde[5], que son génie créateur s'est révélé. La première étape du travail a été de retrouver les documents originaux. Au fil du temps, les milliers de pages manuscrites ont été réunies dans une cinquantaine de recueils. Certains d'entre eux sont datés et parfaitement indexés, tandis que d'autres sont de simples assemblages sans organisation chronologique ni description détaillée. Le feuilletage méthodique des pages a vite fait ressortir que de nombreux feuillets contenant des dessins d’engrenages n'étaient pas rattachés à un instrument en particulier et encore moins à une machine à calculer. Les efforts de recherche ont porté leurs fruits, et la surprise a été de taille car ce n'est pas quatre ou cinq dessins que *Huygens* a réalisés, mais plus de 60, répartis sur plusieurs feuillets, et provenant de différents manuscrits.

Nous présenterons dans un premier temps l’**additionneur** de *Huygens*, qui est tout à fait remarquable. Il possède un mécanisme de retenue basé sur une combinaison came-ressort-sautoir incroyablement moderne qui permet à la machine d’être plus compact et de s'affranchir de la contrainte de pesanteur.

---

[1] Mathématicien, physicien, astronome, ses inventions et découvertes ont marqué l’histoire des sciences Inventeur de l’horloge à pendule (1657), de la montre à ressort spirale, d’instruments d'optique. Considéré comme un alter ego de Galilée, il a découvert la planète Titan et a décrit le système de Saturne. Sa théorie ondulatoire de la lumière a jeté les bases de l’optique moderne.
[2] Publiées par la *Société hollandaise des sciences* entre 1888 et 1950 (Ed. Martinus Nijhoff, La Haye).
[3]Chapitre **V** des *Travaux divers de physique, de mécanique et de technique* rédigés de 1650 à 1666
[4] *Codices Hugeniani Online.* Advisors: André Bouwman, Mart van Duijn, Joella G. Yoder. Brill, Leiden – Boston - Singapore, 2016. <http://primarysources.brillonline.com/browse/codices-hugeniani>
[5] Leiden University Library, Witte Singel 27, 2311 BG Leiden, The Netherlands

Mais le véritable joyau, c'est son **multiplicateur**. Il dispose d'une technologie innovante ressemblant à une “boîte de vitesses”. En couplant des engrenages de tailles différentes, on obtient un rotation proportionnelle du totalisateur correspondant au chiffre du multiplicateur. Si l'idée est révolutionnaire, plusieurs esquisses témoignent de la difficulté rencontrée par Huygens dans l'élaboration de ce nouveau concept.

Pris individuellement, l'additionneur et le multiplicateur semblent fonctionnels, mais la combinaison des deux conduirait irrémédiablement à un dysfonctionnement.

Quelle place donner à cette découverte qui rebat les cartes de l'Histoire du calcul mécanique ?. Entre la machine arithmétique de Pascal et la multiplicatrice de Leibniz, c'est peut-être le chaînon manquant.

2. Huygens et la machine arithmétique de Pascal

Le 17 mars 1648, *Christian Huygens* prend connaissance de l'invention de Pascal par le biais d'une lettre envoyée par *Mersenne* à son père *Constantin*. En post-scriptum, l'auteur précise : “*Votre Archimède*[6] *verra l'invention dudit Pascal pour supputer sans peine et sans rien savoir*”[7]. Son intérêt pour la machine arithmétique ne se manifestera que plus tard, en 1659. Afin de l'étudier, il demande à *Charles Bellair*, gentilhomme du *duc de Luynes*, de lui envoyer un exemplaire. Le 4 juillet 1659[8], *Bellair* l'informe que l'envoi a pris du retard, mais il a la bonne idée d'accompagner sa lettre de dessins fort bien réalisés. Ce sont d'ailleurs les plus anciennes représentations de la Pascaline connues à ce jour. Le 16 juillet, il annonce à *Huygens* que le Libraire *Petit* est sur le point de lui envoyer la machine. Il précise par ailleurs qu'il pourra la garder le temps qu'il lui plaira et en faire une copie s'il le souhaite[9]. Mais la mort de *Charles Bellair* et les soucis personnels de *Petit* avec les Jésuites retardèrent la livraison. La machine arrive finalement à la fin du mois de février 1660 avec 6 mois de retard[10]. On sait par une lettre à son frère *Constantin* qu'il la gardait précieusement dans un coffre, aux côtés de ses objets les plus précieux[11]. Il la gardera plus de 2 ans. A la mort de *Blaise Pascal*, survenue le 19 août 1662, il décide de renvoyer la machine au libraire Petit le 31 du même mois[12].

Huygens a donc disposé de suffisamment de temps pour étudier la machine arithmétique de Pascal. Mais il s'en affranchit très rapidement. Toutes les esquisses recensées nous dévoilent une machine d'un genre nouveau.

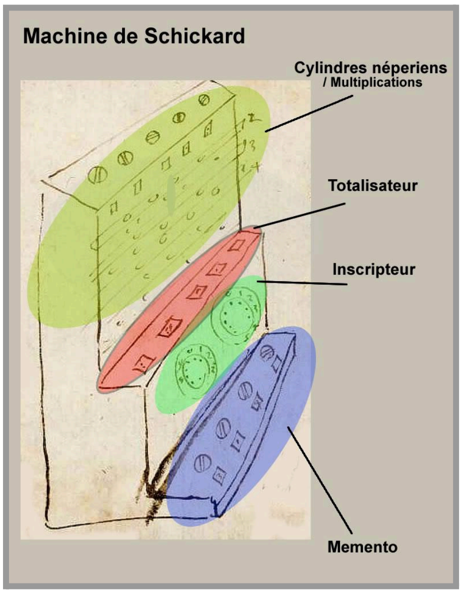
[6] Il s'agit de Christian Huygens
[7] Oeuvres complètes de Huygens, T.1, *p.86*
[8] T.II, p.426
[9] T.II, p.439
[10] T.III, p. 28
[11] T.III, p.265
[12] T.IV, p. 213

3. Mise en perspective : le calcul mécanique au 17e siècle.

Pour mieux apprécier l'approche novatrice de *Huygens*, il semble utile de présenter ici les grandes étapes qui ont conduit à l'avènement de la machine arithmétique. Ces contributions sont pour certaines isolées, tandis que d'autres sont nées de l'émulation provoquée par l'invention de *Blaise Pascal*.[13]

3.1. *Wilhelm Schickard* (1592-1635) : le précurseur sans écho

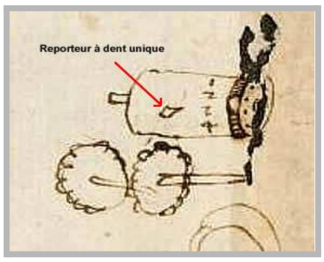
Wilhelm Schickard est un pasteur universitaire souabe connu pour ses nombreux travaux scientifiques (mathématiques, astronomie, cartographie, etc..). On a retrouvé dans la correspondance de l'astronome *Kepler* une lettre de *Schickard*, datée du 20 septembre 1623, dans laquelle il décrit une horloge à calcul "automatique" (**Fig.1**).



La machine se compose de quatre parties distinctes :

Des **cylindres Népérien,** qui permettent, avec facilité, d'effectuer des multiplications.
Un **inscripteur**, composé de roues chiffrées. L'opérateur inscrit avec un stylet les nombres en tournant les roues une à une.
Un **totalisateur** d'une capacité de 5 chiffres.
Un **mémento**, qui permet de garder en mémoire un résultat intermédiaire.

Le mécanisme de retenue est assez primitif. Il se rapproche de celui qu'on retrouve dans les podomètres de l'époque. Sous chaque roue, une "dent unique" va, au passage de 9 à 0, faire tourner d'un cran la roue du rang décimal supérieur **(Fig.2)**



Malheureusement, l'année suivante[14], *Schickard* déclare avoir perdu son horloge à calcul dans un incendie. Était-ce un malheureux accident ? La peur d'être considéré comme un hérétique dans une Allemagne encore très obscurantiste ? Ou un aveu implicite que sa machine ne fonctionnait pas ? Quoi qu'il en soit, aucune machine n'a jamais été retrouvée. Mais les faits sont là : en 1617, un homme a dessiné les contours de la machine à calculer moderne, avec une **interface utilisateur** (inscripteur et totalisateur) et un **mécanisme de report automatique des retenues**, aussi perfectible soit-il[15].

---

[13] Pour ne pas alourdir la présentation, certaines d'entre elles seront décrites en annexe.
[14] Lettre du 25 février 1624
[15] Que son idée n'ait eu aucun écho dans le monde scientifique de l'époque n'enlève rien au génie de sa création.

3.2. *Blaise Pascal* (1623-1662)

Blaise Pascal est né le 16 juin 1623 à Clermont-Ferrand. En 1639, son père est nommé Commissaire député pour la levée des impôts en Haute-Normandie. Afin d'alléger sa charge de travail, il a l'idée de construire une machine arithmétique[16] fonctionnelle avec report automatique des retenues.

L'**inscripteur** et le **totalisateur** se situent sur la platine supérieure (**Fig.3**). Pour inscrire un chiffre, l'opérateur place son stylet entre 2 rayons, et tourne la roue jusqu'à ce qu'il soit arrêté par le butoir. Un rayon correspond à une unité de l'ordre décimal ou monétaire choisi.[17]

Dessin de la Pascaline par C. Bellair (1659)

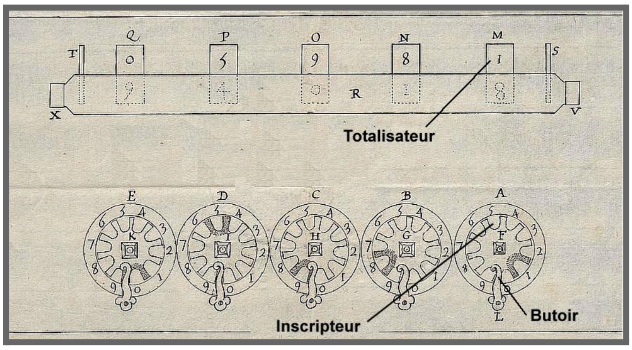


Fig.3 - HUG45

Machine de Durant Pascal

© Musée Lecoq, Clermont-Ferrand

La rotation de la roue entraîne le mécanisme, qui est en **prise directe**. On y retrouve des roues à chevilles, qui assurent la transmission des données au totalisateur; des cliquets, permettant aux différentes roues de bien se positionner; et des sautoirs, dont la mission est de transmettre la retenue à l'ordre décimal supérieur.

Lorsque le totalisateur tourne, le sautoir se lève progressivement **(Fig.4)**. Au passage de 9 à 0, il tombe sous l'effet de la pesanteur, et ajoute une unité au rang décimal supérieur (**Fig.5**).

Ce mécanisme de report automatique des retenues est une **innovation majeure**. A la différence de Schickard, dont le reporteur à dent unique limite considérablement la capacité de la machine, l'accumulation d'énergie[18] sur chaque rang décimal autorise la construction de grands modèles à 5,6,8 ou 10 chiffres, avec une gestion des retenues beaucoup plus fiable.

---

[16] On pense qu'il en a fabriqué une cinquantaine, vendues entre 100 et 400 livres l'unité, soit plusieurs mois d'un salaire confortable. Neuf exemplaires ont été conservés : **4** au *Musée des Arts & Métiers*, **2** à Clermont-Ferrand (Musée Henri Lecoq), **1** au Musée de Dresde en Allemagne, **1** dans la collection IBM aux USA (exposée actuellement à l'Arithmeum de Bonn), **1** dans une collection privée en Europe.

[17] Pour les deniers, on a des roues à 12 rayons ; pour les sols, des roues à 20 rayons ; et pour le système décimal, des roues à dix rayons.

[18] Energie de pesanteur

Le sautoir en position haute (= 9)	Passage de la retenue (= 1-0)

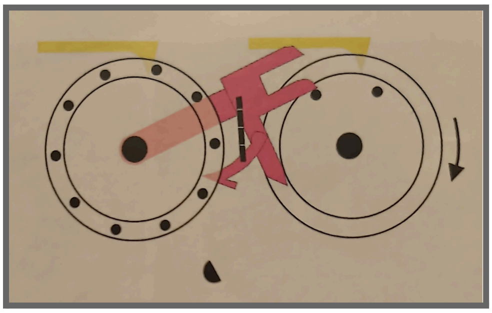


Fig.4 - © Institut Français de Mécanique Avancée / *Christophe Bascoul*

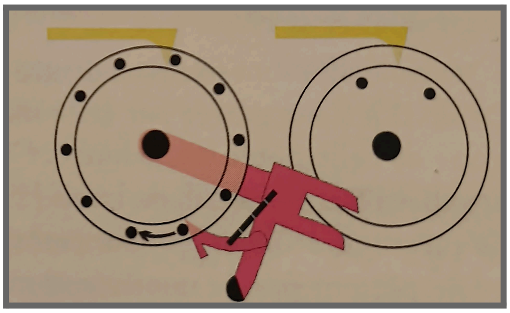


Fig.5 - © Institut Français de Mécanique Avancée / *Christophe Bascoul*

3.3. Leibniz réinvente la machine arithmétique (1672-....)

Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) est un esprit polymathe dont le champ de connaissance est considérable. Ses premières réflexions sur le calcul mécanique remontent aux années 1671-1672[19]. Pendant cette période, il esquisse un concept de machine arithmétique combinant un additionneur simple et un **multiplicateur à roues proportionnelles**[20]. Cette invention sera détaillée au chapitre III.

Très rapidement, le système évolue vers une externalisation du multiplicateur avec emploi d'un **compteur de tours**. Le principe est simple : on ajoute "pas à pas" le multiplicande au totalisateur autant de fois que nécessaire. C'est un peu l'idée de Pascal en ce sens que la multiplication procède par somme d'additions, mais il y a une différence fondamentale, c'est que l'opérateur n'a plus besoin de réinscrire **à chaque fois** les chiffres du multiplicande. Ceux-ci sont pour ainsi dire gardés en mémoire. Leibniz a dû pour cela séparer physiquement l'inscripteur du totalisateur, et introduire un nouvel élément intermédiaire.

Il dessine dans un premier temps une "**roue à dents mobiles**"[21] dont les dents extractibles définissent la valeur d'un chiffre, Une fois que celui-ci est posé, chaque rotation ajoute la même valeur au totalisateur.

L'idée est rapidement abandonnée au profit d'un autre organe qui portera le nom de l'inventeur : le **cylindre de Leibniz**[22]**.**

Dans sa première conceptualisation[23], le cylindre est divisé en 9 tranches dont chacune porte un nombre croissant de dents, allant de 1 à 9.

[19] Il s'installe à Paris à l'automne 1672 et découvre par l'intermédiaire de Pierre de Carcavy la machine arithmétique de Pascal
[20] Dans cette configuration, plus la valeur du multiplicateur est élevée, plus le diamètre de la roue motrice est important.
[21]Aussi appelé "Roue à nombre variable de dents". On retrouve ce système sur de nombreuse machines à calculer (Poleni, Braun, Odhner)
[22] Voir p.43-44
[23] Par la suite le cylindre évoluera et prendra l'apparence d'un cylindre cannelé

Imaginons un pignon coulissant sur un axe carré relié mécaniquement au totalisateur. Si on positionne ce pignon[24] le long du cylindre et qu'on effectue une rotation, celui-ci va tourner et transmettre autant d'unités au totalisateur qu'il y a de dents sur la portion dentée. Le nombre de dents rencontrées équivaut tout simplement à la valeur du chiffre posé ! Pour le chiffre 1, une dent. Pour le chiffre 2, deux dents et ainsi de suite.

Le cylindre est donc l'organe répétiteur de la machine de Leibniz. Il équipera toute une lignée de machines à calculer dont le grand représentant est l'arithmomètre de Thomas de Colmar[25].

L'autre grande amélioration apportée par Leibniz à sa machine arithmétique est le **décalage** possible entre l'inscripteur et le totalisateur. Pour multiplier un nombre par 99, l'opérateur déplace l'inscripteur de 2 rangs vers la gauche, puis tourne la manivelle une fois (= x100). Il lui suffit de replacer l'ensemble en position initiale et de retrancher le multiplicande une fois.

Leibniz[26] passa beaucoup de temps à finaliser sa machine (1694) et dépensa des sommes considérables[27]. Malgré les efforts consentis, la machine n'est pas exempte de défauts. Son mécanisme de retenue en particulier gère assez mal les retenues en cascade[28]. Mais ce sera la bête noire de tous les inventeurs de machines à calculer !

La machine arithmétique de Leibniz, vers 1694

© Gottfried Wilhelm Leibniz Bibliothek, Hannover

[24] Pignon monté sur un axe carré et relié mécaniquement au totalisateur
[25] Cf www.arithmometre.org
[26] Pour plus d'informations sur ses machines à calculer, nous renvoyons le lecteur vers le livre d'*Ariane Walsdorf* : "*Die Leibniz-Rechenmaschine*, publié en 2020.
[27] 10000 florins
[28] 96 + 4 ne donnait pas 100 comme il se devrait mais 000 ! Un système de roues dodécagonales indiquait à l'opérateur où la retenue n'était pas passée. Il lui fallait alors remettre les inscripteurs à zéro et refaire un tour de manivelle pour terminer le processus.

4. L’additionneur-totalisateur de *Huygens*

4.1. Introduction

Replacé dans son contexte historique, l’additionneur-totalisateur de Huygens constitue une avancée technique remarquable. Il faut avoir à l’esprit que dans les années 1660, peu de machines à calculer ont été fabriquées. On pourrait bien sûr citer celles de Tito Livio Burattini (1658)[29], Samuel Morland (1666)[30], ou encore René Grillet (1673)[31], mais nous n'avons, pour l’un, aucune description détaillée, et pour les autres, il est établi qu’aucune ne possède de report automatique de retenue.

Le seul point de comparaison antérieur est donc la machine arithmétique de Pascal que Huygens a pu étudier à loisir.

4.2. Description de l'additionneur-totalisateur

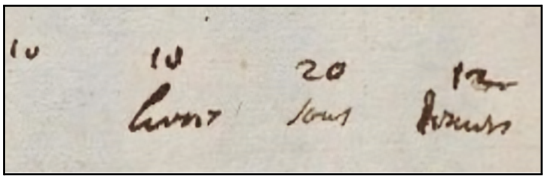
Le nombre significatif de dessins retrouvés permet de retracer le cheminement cognitif de l’inventeur. Tous les éléments nécessaires à la fabrication d'un additionneur-totalisateur sont représentés.

En voici le détail :

- Inscripteur.
- Totalisateur.
- Mécanisme de retenue.
- Roues intermédiaires diverses.
- Cliquets, ressorts.
- Assemblage

4.2.1. L’inscripteur

L’inscripteur se compose d'une série de disques sur lesquels on a percé des trous de manière uniforme tout au long de la circonférence **(Fig.13)**. Le nombre de trous dépend de la base utilisée. La ligne **7D** (**Fig.12**) du feuillet **HUG26-ff.93r** suggère que l’additionneur est configuré en base 10 pour le calcul arithmétique, mais également, sur les deux derniers rangs, en base 20 (Sous) et 12 (Deniers) pour le calcul monétaire. Cette disposition se retrouve sur plusieurs exemplaires de la machine de *Pascal*.



[29] Voir Annexe II
[30] Ibid
[31] Ibid

Inscripteur + roue d'engrenage (Vue partielle, 3 dents /10)	Limbe et butoir	Superposition de l'inscripteur et du limbe

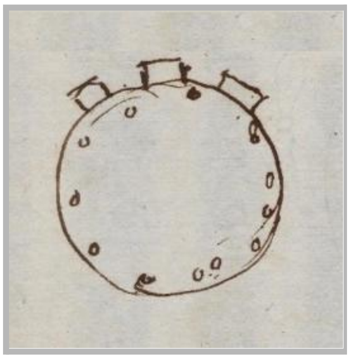


Fig.13 - HUG26-ff.093r

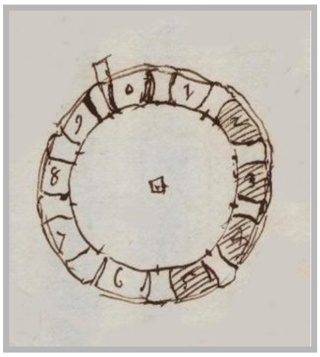


Fig.14 - HUG26-ff.093r

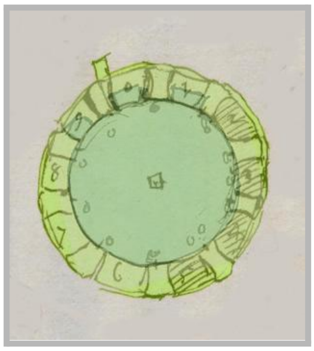


Fig.15 - HUG26-ff.093r / Coloriage par V. Monnier

Une couronne circulaire numérotée, le limbe, entoure chaque inscripteur (**fig.14**). Le butoir est positionné sur la partie haute, entre 0 et 9. Comme le précise *Huygens*[32], les nombres sont directement gravés sur la platine[33]. En comparaison, cela nous rapproche plus de l'inscripteur dit de *Lépine*[34](**Fig.17**) que de celui de *Pascal* (**Fig.16**).

Inscripteur de Pascal Avec roues et limbes extériorisés	**Inscripteur de Lépine*** Avec roues et limbes intégrées

Fig.16 - © Musée des Arts et Métiers

Fig.17 - © Musée des Arts et Métiers

Pour entrer un chiffre, l'opérateur enfonce la pointe du stylet dans le trou correspondant à la valeur désirée et tourne la roue de l'inscripteur jusqu'à ce qu'elle soit stoppée par le butoir (**Fig.15**). Montée sur le même axe, une roue d'engrenage[35] de 10 dents[36], visible partiellement sur la **fig.13**, est connectée au totalisateur par le biais de roues tierces[37]. La valeur transmise est égale au chiffre entré sur l'inscripteur.

[32] *"Nombres gravés sur la plaque"*. - Ligne 11D du feuillet HUG26-ff.93r

[33] A la différence de la Pascaline dont la roue d'inscription et le limbe sont posés sur la platine supérieure

[34] Une étude en cours (Valéry Monnier - Lépine 2025) indique que la "machine de Lépine" a été fabriquée antérieurement.

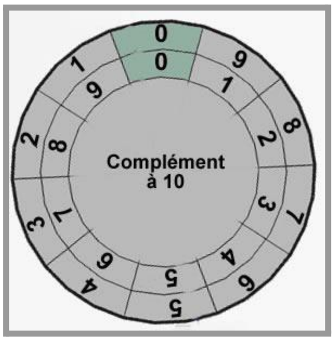
[35] La roue d'engrenage est partiellement représentée avec 3 dents, mais elle en comporte 10.

[36] Notons que le nombre de dents de cette roue dépend de la base de numération choisie.

[37] Soit un via les roues à chevilles horizontales, soit en connection semi-directe avec la roue du reporteur

4.2.2. Le totalisateur

Chaque cadran du totalisateur comporte une double série de chiffres, disposée en cercle concentrique, allant pour l'une, de 0 à 9 et pour l'autre, de 9 à 0. Cette numérotation, dite complémentaire, permet d'opérer des additions, mais aussi des soustractions, sans qu'on ait besoin de tourner les roues dans l'autre sens. *Huygens* semble avoir privilégié la méthode du “complément à 10”, plutôt que celle du “complément à 9” utilisée par *Blaise Pascal* sur ses machines. Mais cela revient au même : pour soustraire un nombre à un autre, on prend le complément à 9 ou à 10 du premier nombre, on l'additionne au second, celui-là même que l'on voulait soustraire, et on obtient une somme dont le complément donne le résultat de la soustraction.



Prenons l'exemple suivant : **364-27**

- **364 - 27** = (complément à 9 de 364) + 27 = 635 **+** 27 = **662**
- **Résultat de la soustraction**= (complément à 9 de 662) = **337**

Cela fonctionne non seulement pour le complément à 9, mais pour n'importe quelle base (12, 20 par exemple)

- **364 - 27** = (complément à 10 de 364) + 27 = 746 **+** 27 = **773**
- **Résultat de la soustraction**= (complément à 10 de 662) = **337**

Chiffre(s)	**3**	**6**	**4**	**2**	**7**
Complément à 9	**6**	**3**	**5**	**7**	**2**
Complément à 10	**7**	**4**	**6**	**8**	**3**

Cette technique résout de manière fort habile l'impossibilité qu'ont ces machines de tourner dans les deux sens. Ce handicap est lié à la structure même du mécanisme de retenue. Il faut donc jouer avec les compléments en occultant l'un ou l'autre des chiffres, soit par une lecture attentionnée, soit en utilisant des “caches” de type réglette ou autre.[38]

[38] Il existe heureusement des solutions : **Leibniz** a complexifié son mécanisme de retenue pour pouvoir opérer dans les deux sens ; **Thomas de Colmar** a contourné le problème en créant un inverseur de marche spécifique au totalisateur

a) Roues dentées sous cadran

Chaque cadran est fixé sur une roue de 10 dents (**Fig.18)**, calée par un ressort[39]. Des lucarnes ont été percées sur la platine pour que l'opérateur puisse lire le résultat (chiffre + complément) (**Fig.19**). Il n'est pas fait mention d'un quelconque système facilitant la lecture[40] comme c'est le cas sur la Pascaline.
Les figures ci-dessous illustrent parfaitement le travail de recherche de Huygens. La disposition des chiffres évolue au fil des dessins, de même que la fenêtre de lecture. Les engrenages à picots" **(Fig.20-21)** sont remplacés par des dents plus larges, mécaniquement plus adaptées.

Totalisateur & roue dentée plate
avec fenêtre supérieure

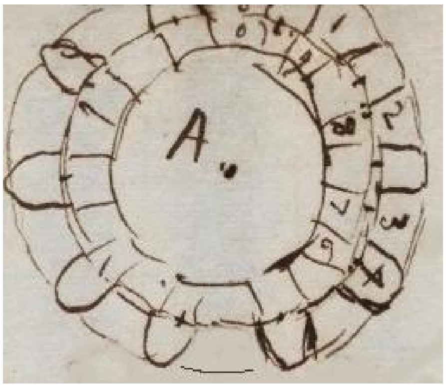


Fig.18 - HUG26-ff.093r

Totalisateur & roue dentée plate
avec fenêtre supérieure

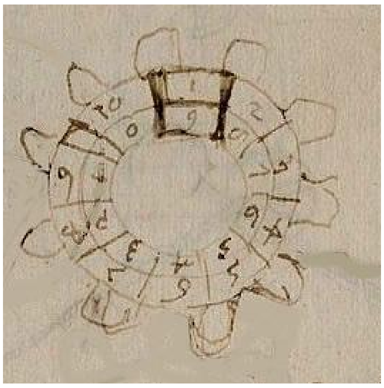


Fig.19 HUG10-ff.115r

Totalisateur et roue à picots
avec fenêtre inférieure

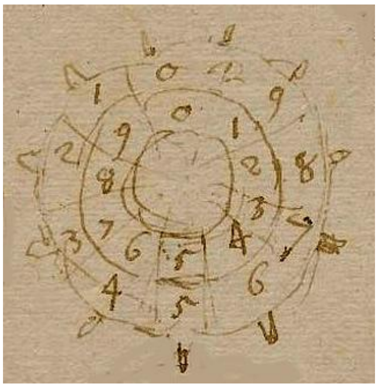


Fig.20 - HUG26-ff.096r

Totalisateur et roue à picots
avec fenêtre inférieure

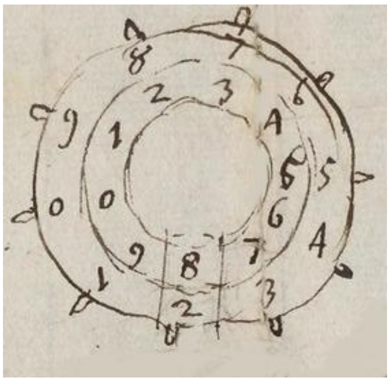


Fig.21 - HUG28-ff-114r

[39] Le ressort est mentionné par Huygens, mais non représenté.
[40] Du nombre ou de son complément

4.3. Le mécanisme de retenue

La gestion mécanique des retenues a toujours été un problème majeur pour les constructeurs de machines à calculer. Un mauvais fonctionnement impacte directement la justesse du calcul et rend toute commercialisation impossible[41].

On trouve déjà des "reporteurs" dans les podomètres du 16e siècle. Leur mécanisme à "dent unique" est bien adapté à ce type d'instrument au fonctionnement très linéaire. Mais c'est plus compliqué en revanche sur une machine à calculer où les nombres qui s'additionnent peuvent générer des retenues en cascades (99999+1 ; 94678+5322).

Dans ce cas précis, le cumul des forces en présence rend difficile la rotation simultanée des roues, surtout s'il y en a beaucoup. Par ailleurs, si les roues ont un peu de jeu, les petits décalages angulaires successifs vont bloquer de manière intempestive le mécanisme[42].

Certains inventeurs en ont fait l'amère expérience et l'ont parfois reconnu : *Hillerin de Boistissandeau* (1704-1776), qui fabriqua trois modèles[43] de machine arithmétique (**Fig.21**) le dit en ces termes: "*Outre les frottements dans la première [machine], elle se trouve encore bornée au point de ne pouvoir calculer que des livres, sols et deniers*". Au-delà de deux ou trois reports, "le fonctionnement du mécanisme devenait erratique"[44]

Mécanisme à dent unique de la première machine de Hillerin de Boistissandeau

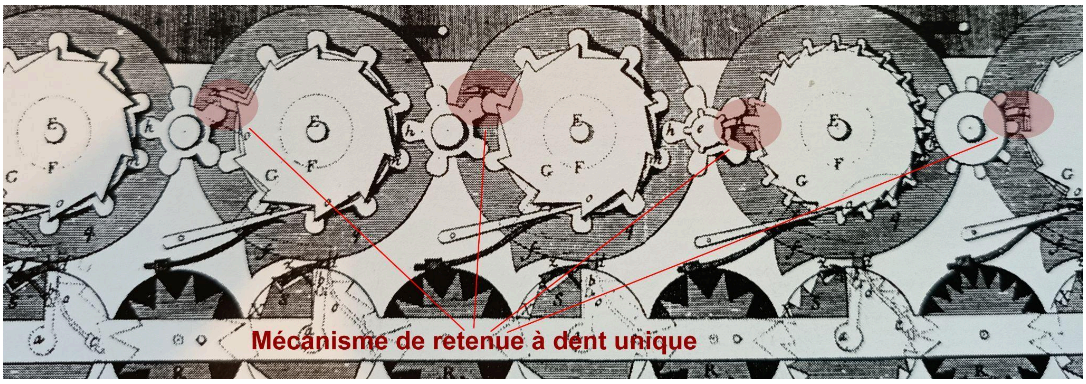


Fig.21 - in "*Machines approuvées par l'académie royale des sciences*", vol. 5, 1735

L'apport technique de *Pascal est* sur ce point très intéressant. Pour pallier cet inconvénient, il utilise l'énergie de pesanteur pour la convertir en énergie cinétique. Lorsque l'opérateur fait tourner le cadran du totalisateur, le sautoir, décrit précédemment, s'élève progressivement avant d'être libérée d'un coup, au passage de 9 à 0.

[41] Il faudra attendre la seconde moitié du 19e siècle pour avoir des machines techniquement parfaites
[42] Ce problème a été relevé sur les répliques de la machine de Schickard qui possède justement ce reporteur "primitif"
[43] Vers 1730
[44] Jean Marguin, *Histoire des instruments et des machines à calculer*, p.81, Hermann, 1994

Les retenues s'effectuent en douceur, sans forcer, à condition que la machine soit posée à l'horizontale ! **(Fig.21 bis)**

Reporteur de la Pascaline

Fig.21 bis © Arithmeum, Bonn, 2024

4.3.1. Le reporteur de *Huygens*

Le reporteur de *Huygens* garde de *Pascal* les principes de répartition et de cumul de l'énergie sur chaque rang décimal tout en s'affranchissant de la contrainte de gravité. Il se compose d'un ensemble de pièces disposées sur un même axe dont voici le détail :

- Roue de transmission
- Roue à rochet
- La came
- Le sautoir

a. Roue de transmission

La roue de transmission a une double fonction. Elle établit un lien mécanique entre l'inscripteur et le totalisateur, et elle fait tourner la came qui arme le sautoir. Les dessins ci-dessous **(Fig.26-27)** montrent deux variantes de cette même roue dont la plus avancée techniquement est représentée **fig.26.**

Roue d'entraînement
Lien Inscripteur / Totalisateur

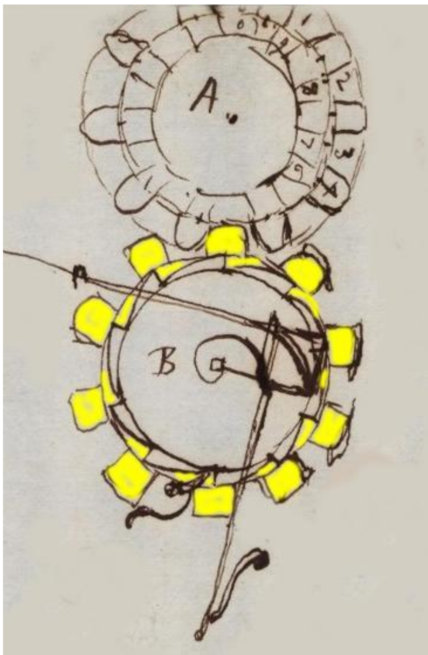


Fig.26 - HUG26-ff.093r

Roue d'entraînement
Lien Inscripteur / Totalisateur

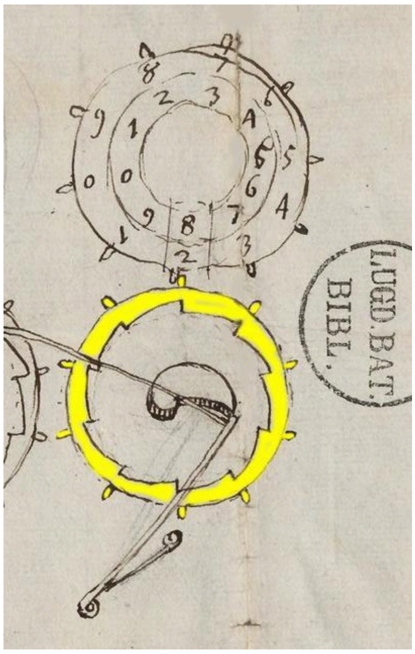


Fig.27 - HUG28-ff.114r

b. Roue à rochet

Placée sous la roue de transmission, la roue à rochet a également une double fonction. C’est d’une part un dispositif anti-retour qui empêche le mécanisme de tourner dans l’autre sens. Mais c’est aussi la pièce qui reçoit la retenue du rang décimal inférieur via “le sautoir”(**Fig.28-29**). Une fois encore, Huygens a imaginé différents agencements possibles[45].

Roue à rochet à double fonction

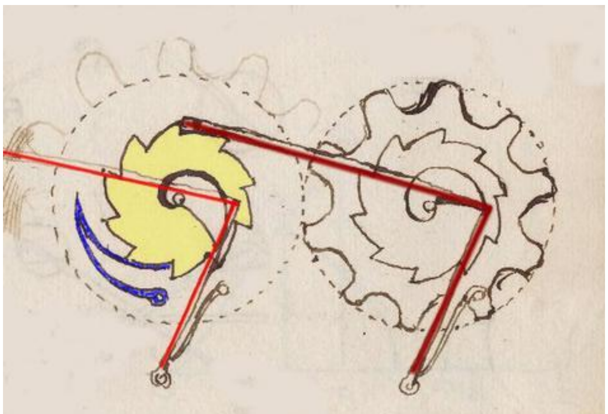


Fig.28 - HUG10-ff.115r / Coloriage par V. Monnier

Roue à rochet à double fonction

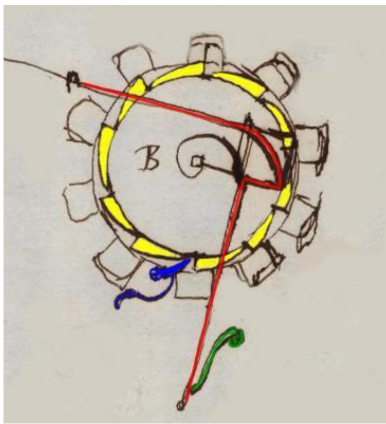
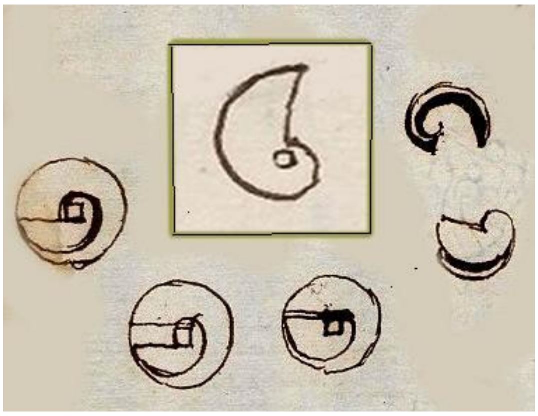


Fig.29 - HUG26-ff.093r

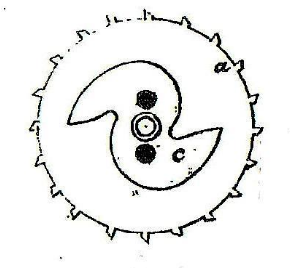
[45] La **fig.29** la plus aboutie.

c. La came

La came est fixée sous la roue à rochet. Sa forme particulière **(Fig.30-31)** lui permet de tendre le “sautoir” qui est contraint par un ressort. Lorsque le totalisateur passe de 9 à 0, le sautoir est libéré d’un coup, et fait tourner la roue à rochet de la décade supérieure, ajoutant ainsi une unité au totalisateur.

Came ou limaçon	**Esquisses de limaçons**
	
Fig.30 - HUG10-ff.115r	**Fig.31 - HUG26-ff.093r + HUG10-ff.115r**

L'utilisation d'une came à effet tenseur est un apport technique exceptionnel qu'il convient ici de souligner. On pensait que son intégration dans une machine à calculer datait des années 1840[46]. L’inventeur, *David-Didier Roth* était docteur en médecine et avait une passion pour le calcul mécanique. Au terme de nombreux essais[47], il réussit en 1843 à commercialiser de petits additionneurs dont le report de retenue fonctionnait avec une “double came”[48] (**Fig.24-25)**. *Roth* se plaisait à dire, en parlant de son reporteur, que “*sa machine faisait un feu de file*” car elle gérait parfaitement les retenues en cascade[49].

Mécanisme à double came, de l’inscripteur et du sautoir de *David-Didier Roth*	**Dessin de la double came et de l’inscripteur *David-Didier Roth***
	
Fig.24 - © Photo V. Monnier 2024	**Fig.25 - © www.ami19.org (V. Monnier)**

[46] Notons que la deuxième et troisième machine d’Hillerin de Boistissandeau (1730) possédait déjà un mécanisme à came dentée. Cette variante était plus fragile et plus complexe.
[47] Voir l’article sur Roth sur le site www.ami19.org
[48] La double came permet d’agrandir le cadran car il sert également d’inscripteur. Cela nécessite de fait le doublage de la numérotation sur les cadrans (0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,0,1,2,3,4,5,6,7,8,9)
[49] Il disait également que la machine de Pascal “faisait un feu de bataillon” (retenue simultanée), ce qui est inexact.

d. Le sautoir

Le sautoir ressemble à une grande tige pliée en deux comme une équerre. Huygens a beaucoup travaillé cette pièce, comme on peut le voir sur les nombreux dessins qu'il a laissés. Pour que la retenue opère, il faut que le ressort puisse pousser le sautoir **sans** qu'il ne soit gêné par la came. C'est ce qui explique sa forme si particulière, visible sur les **fig.32-33**.

Détail du sautoir en position	**Autres exemples de sautoirs**	

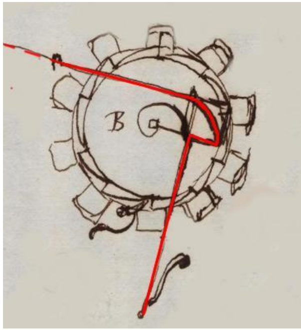
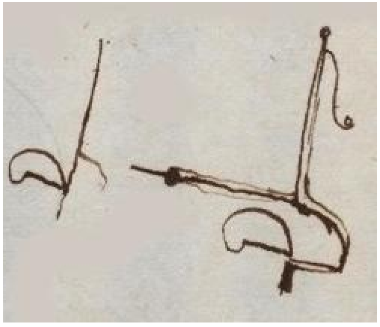
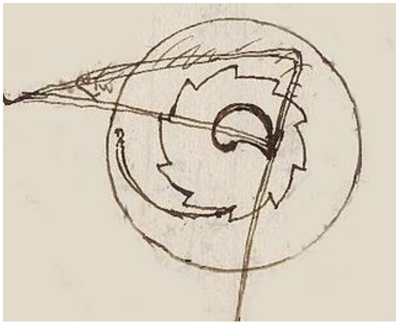

		

Fig.32 - HUG26-ff.093r-Fig1	**Fig.33 - HUG 26-fr.093r**	**Fig.34 - HUG26-ff.093r**

e. Evolution du mécanisme de retenue

Les figures ci-dessous donnent une idée du travail de représentation mentale de *Huygens* (**Fig.35-49**). Elles sont disposées ici selon leur niveau de technicité estimé et ne tiennent pas compte de leur datation supposée.

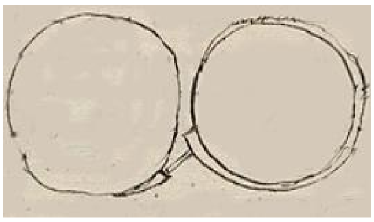


Fig.35 - HUG3-ff.056r

Fig.36 - HUG3-ff.056r

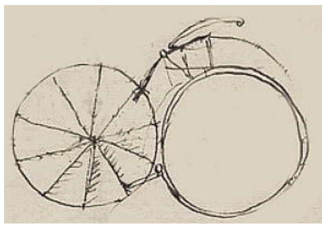


Fig.37 - HUG3-ff.056r

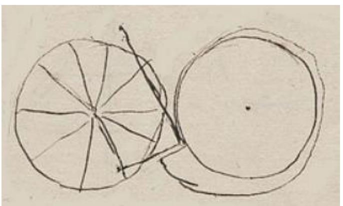


Fig.38 - HUG3-ff.056r

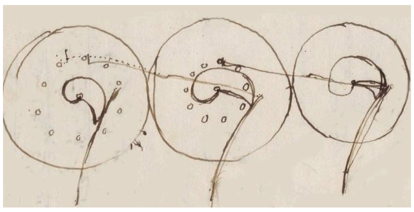


Fig.39 - HUG10-ff.115r

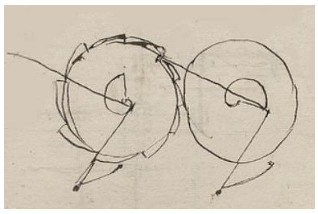


Fig.40 - HUG3-ff.056r

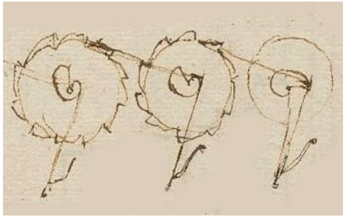


Fig.41 - HUG3-ff.107v

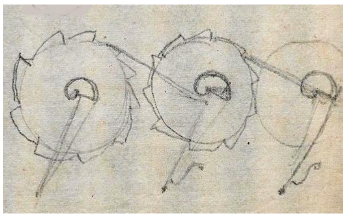


Fig42 - HUG26-ff.093r

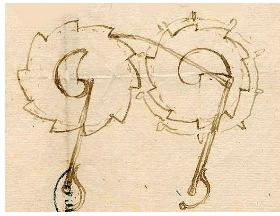


Fig.43 - HUG26-ff.096r

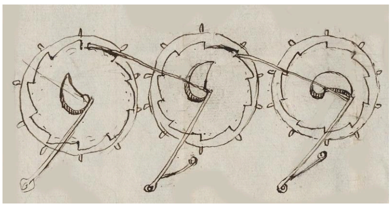


Fig.44 - HUG28-ff.114r

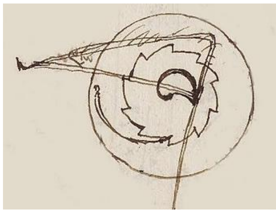


Fig.45 - HUG10-ff.115r

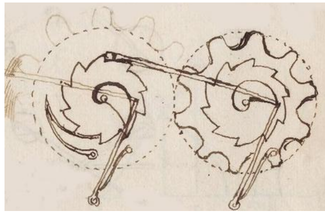


Fig.46 - HUG10-ff.115r

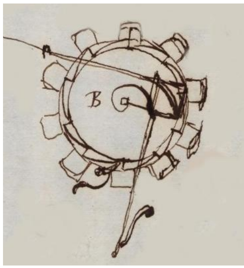


Fig.47 - HUG26-ff.093r

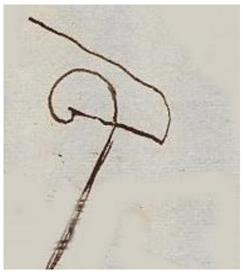


Fig.48 - HUG26-ff.096r

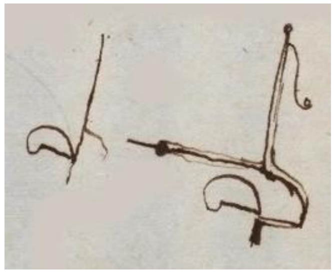


Fig.49 - HUG 26-fr.093r

4.4. Roues intermédiaires et sens de rotation

Lorsque deux roues dentées engrènent l'une avec une autre, elles tournent dans un sens opposé. Certaines ont, de par leur fonctionnement, un sens de rotation contraint. C'est le cas de la roue de transmission (**Fig.50**) dont la came arme le sautoir. Elle ne peut agir que dans un sens, ici antihoraire.

Sens de rotation de la roue de transmission

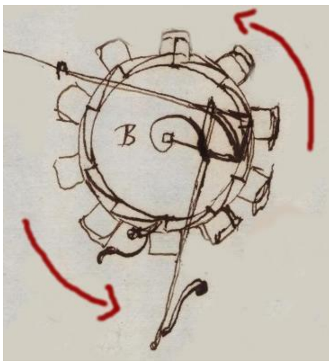


Fig.50 - HUG26-ff.093r

Il en résulte que les **roues du totalisateur** doivent tourner dans le sens contraire (horaire). L'ordre des chiffres varie selon les esquisses. Dans sa description, Huygens précise que "*le complément à 10*" est placé dans le cercle intérieur[50]. Cela signifie concrètement que la série de chiffres gravée sur le cercle extérieur passe progressivement de 0 à 9, tandis que son complément fait l'inverse. La **Fig.52** est en parfaite adéquation avec cette idée. La **fig.51,** pourtant plus récente, ne répond en revanche pas à cette logique. En soi, ce n'est pas très important car cela reste une esquisse[51]. Il suffirait de dire que le complément s'affiche sur le cercle extérieur pour que cela fonctionne.

Disposition des chiffres sur le totalisateur	Autre dessin de totalisateur

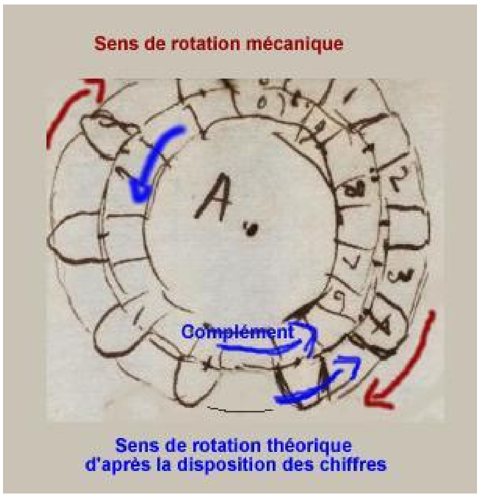
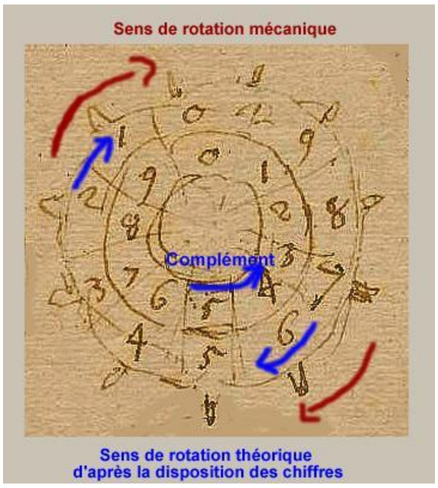

	

Fig.51 - HUG26-ff.093r	Fig.52 - HUG26-ff.096r

Concernant l'**inscripteur**, l'ordre des chiffres sur le limbe, ainsi que la structure du butoir, nous indiquent qu'il tourne dans un sens antihoraire (**Fig.53**). Il ne peut donc être en prise directe avec la roue de transmission, qui tourne dans le même sens.

L'inscripteur

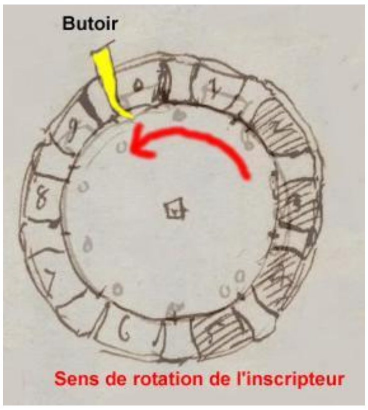


Fig.53 - HUG26-ff.093r

---

50 *"le complément à 10 sera dans un cercle intérieur" in* **HUG26-ff.093r**

51 On remarque également que les quelques chiffres inscrits sur le cadran ne sont pas uniformément répartis (**Fig.51**) : les chiffres 3 et 4, ainsi que leurs compléments 7 et 6, sont collés alors qu'ils devraient être décalés chacun d'un rang.

L'ajout d'une roue intermédiaire entre l'inscripteur et la roue de retenue s'avère donc indispensable (**Fig.54-55**).

Sans ajout de roue intermédiaire	Avec ajout d'une roue intermédiaire

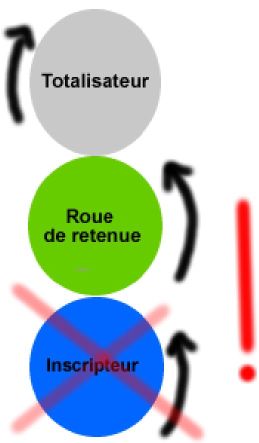


Fig.54 - V. Monnier 2024

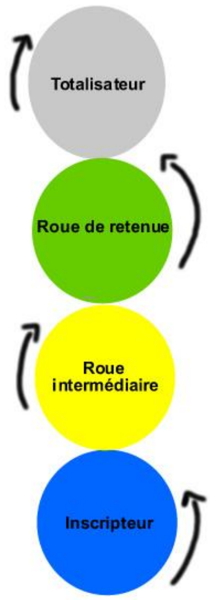


Fig.55 - V. Monnier 2024

a) La roue à lanterne

Cette "roue intermédiaire" pourrait bien être la "roue à lanterne" représentée **Fig.56**. Elle est visible également dans la vue latérale de l'additionneur (**Fig.57**).

Roue à lanterne	Vue latérale de l'additionneur avec sa roue à lanterne

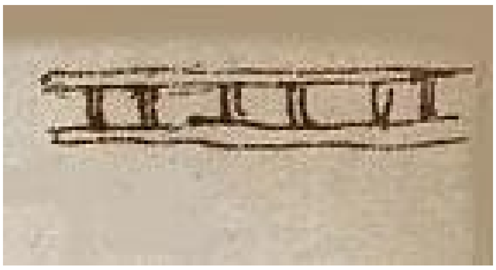


Fig.56 - HUG26-ff.093r

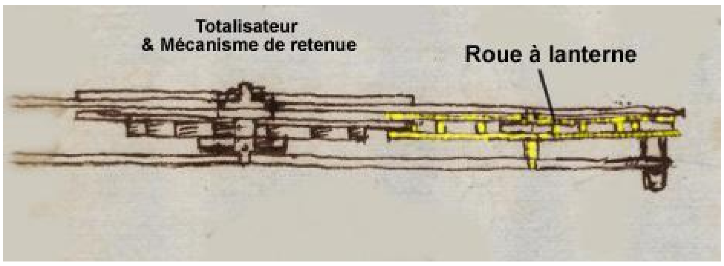


Fig.57 - HUG26-ff.093r

Mais ce choix interroge. Dans leur usage classique, les roues à lanterne engrènent avec des roues à cheville dans le but de transformer une rotation verticale en une rotation horizontale ou inversement.

- **Hypothèse n°1**

On pourrait ainsi imaginer que l’inscripteur est connecté à la roue à lanterne par le biais d’une axe horizontal portant à chaque extrémité deux roues à cheville. Malheureusement, les quelques dessins retrouvés manquent de pertinence et ne suffisent pas à valider l’hypothèse (**Fig.58-59**).

Roue à simili-chevilles taillées dans la masse	Roue à chevilles doublées

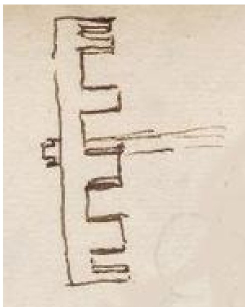
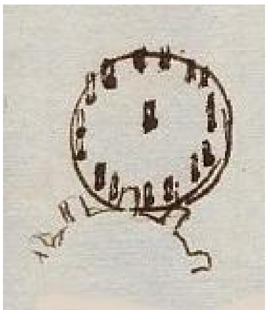

	

Fig.58 - HUG10-ff.115r	**Fig.59 - HUG26-ff.093r**

- **Hypothèse n°2**

Seconde hypothèse, la roue à lanterne permettrait de “**sécuriser**” l’engrènement avec la roue de transmission. Comme le précise *Huygens*, ses dents sont “minces” et “plates”. Le fait qu’elles s’insèrent entre les fuseaux de la roue à lanterne rendrait la rotation plus sûre en évitant que les dents ne se chevauchent en tournant.

4.5. Ressorts et cliquets

La majorité des ressorts représentés dans les feuillets **(Fig.60-65)** sont liés au mécanisme de retenue. Certains servent à tendre le sautoir, tandis que d'autres ont une fonction anti-retour. Dans sa version la plus avancée **(Fig.65)**, un cliquet supplémentaire est ajouté. Cette disposition est toujours d'usage aujourd'hui.

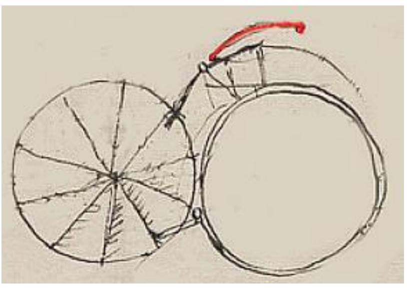


Fig.60 - HUG3-ff.056r

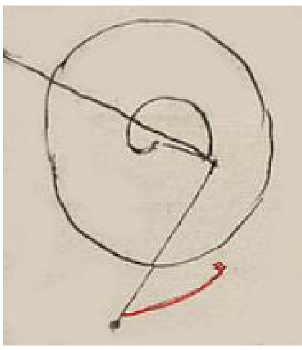


Fig.61 - HUG3-ff.056r

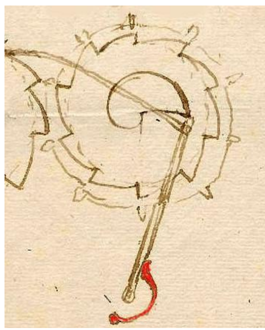
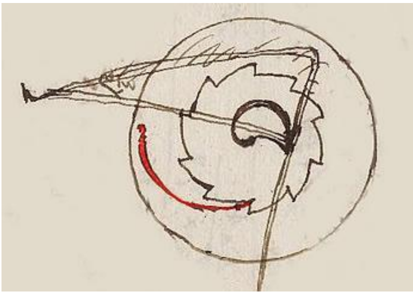
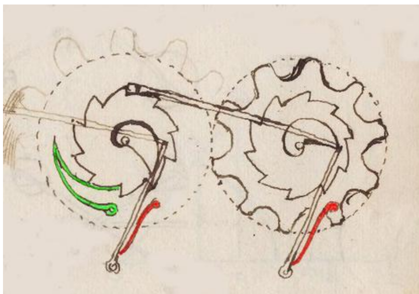


Fig.62 - HUG26-ff.096r





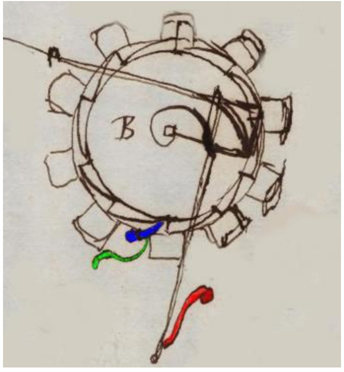


Fig.63 - HUG10-ff.115r

Fig.64 - HUG10-ff.115r

Fig.65 - HUG26-ff.093r

4.6. Assemblage

La **fig.66** nous renseigne sur la manière dont l'additionneur est conçu. Le mécanisme est maintenu par deux plaques fixées entre elles par des piliers. Des goupilles sécurisent l'ensemble. Ce qui impressionne, c'est la faible épaisseur de la machine. Comparée à la Pascaline, la différence est vraiment notoire.
On distingue assez nettement la roue à lanterne qui engrène avec la roue de transmission. Celle-ci est comme prise en "sandwich", ce qui empêche tout chevauchement. Son positionnement en "extrême" bordure autorise une connexion à l'inscripteur[52], soit horizontale, soit verticale via une roue à chevilles[53]. Le cliquet, le poussoir, et les ressorts additionnels ne sont pas représentés sur la figure.

Vue latérale de l'additionneur

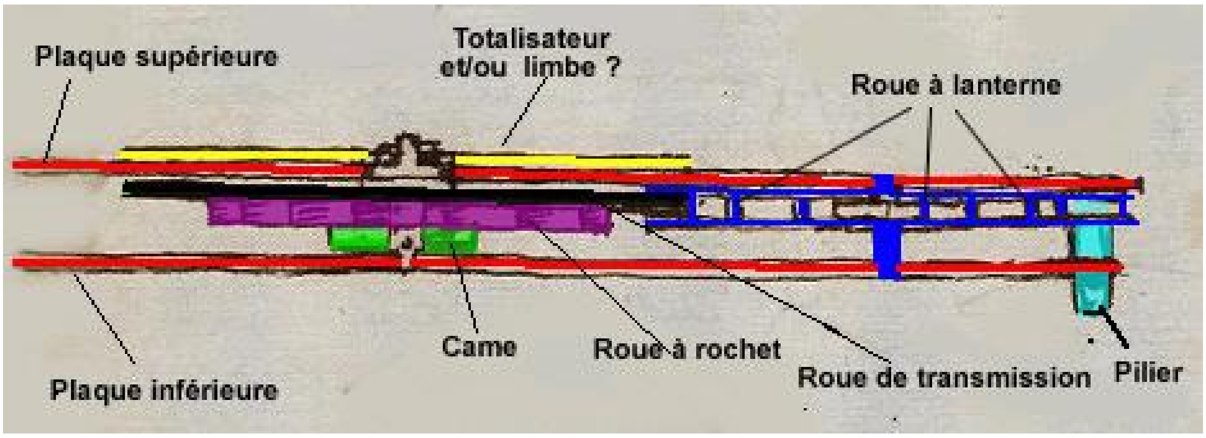


Fig.66 - HUG26-ff.093r / Coloriage par V. Monnier

[52] Non représenté
[53] On manque de précision à ce sujet

La vue latérale de l'additionneur donne l'impression que le totalisateur est placé sur le même axe que le mécanisme de retenue. C'est probablement un effet de perspective[54] car l'ensemble des dessins recensés les représente côte à côte et mécaniquement connectées.

4.7. Capacité opératoire

La capacité opératoire d'une machine à calculer est déterminée par le nombre de chiffres à l'inscripteur et au totalisateur. La Pascaline, par exemple, en comporte 5, 6, 8 ou 10 de chaque, selon les modèles. Dans sa configuration maximale, elle peut donc afficher un résultat inférieur ou égal à 9 999 999 999.
Le problème avec l'additionneur de *Huygens*, c'est qu'il n'est que partiellement représenté. Il n'y a donc à ce jour aucune certitude. Néanmoins, le **Multiplicateur**, qui sera décrit dans le prochain chapitre, nous laisse imaginer une machine à 8 ou 9 chiffres au totalisateur.

4.8. Conclusion : un bond vers la modernité

L'étude des feuillets de Huygens a permis de mettre en lumière un additionneur-totalisateur d'une grande modernité. Il présente des caractéristiques techniques que l'on retrouve sur des machines beaucoup plus récentes comme celle construite par *David-Didier Roth* au 19e siècle. Sa compacité la rend également plus facilement transportable.
A la différence de *Pascal*, *Huygens* a développé des compétences certaines dans le domaine de l'horlogerie. Rappelons qu'il est l'inventeur de l'horloge à pendule (1657) et du ressort spiral[55] (1675). Les tâtonnements successifs observables sur les dessins l'ont amené à des solutions techniques que personne à cette époque n'a été en mesure d'apporter. La qualité des détails fournis donnerait bien envie de croire qu'un prototype, même incomplet, a été construit. Mais cela reste bien sûr de la pure hypothèse.

4.9. Configuration possible de l'additionneur

La figure **66 bis** représente une vue possible de l'additionneur de Huygens. Comme décrit précédemment, il possède un totalisateur complet avec mécanisme de retenue, et d'un inscripteur circulaire de type Pascalien. La connexion entre les deux se fait par l'intermédiaire de roues à lanterne[56]. Sa capacité a volontairement été limitée à 4 chiffres pour faciliter la lecture[57]. En référence, des figures originales ont été insérées sur le côté gauche.

[54] Il serait intéressant d'étudier cette disposition car elle pourrait très bien fonctionner.
[55] En 1675, Huygens propose sa première montre à ressort-spiral dans le "Journal des Savans", il confie sa réalisation à Isaac Thuret, l'un des meilleurs horlogers de Paris. Cette invention est également revendiquée par l'abbé Hautefeuille.
[56] Huygens parle même d'une roue à double lanterne.
[57] L'additionneur pourrait avoir une capacité de 9 chiffres

L’additionneur-totalisateur de Huygens / Schéma Valéry Monnier 2024

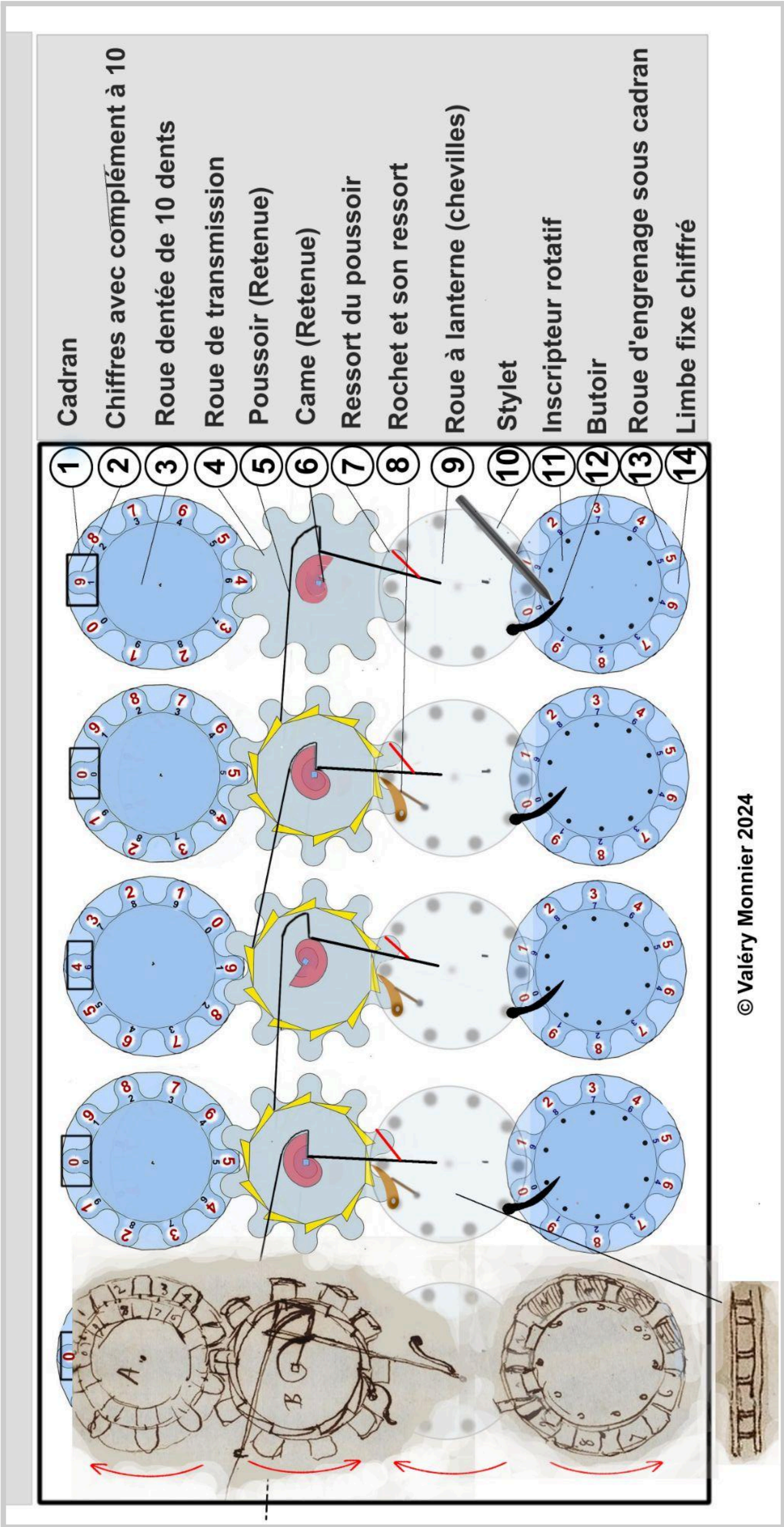


Fig.66 bis

5. Le multiplicateur de *Huygens*

5.1. Introduction

Si l'additionneur-totalisateur constitue déjà une avancée technique remarquable, le multiplicateur de Huygens est encore plus exceptionnel. Sa conception unique permet d'opérer des multiplications avec une grande rapidité, sans qu'on ait besoin à chaque fois de réintroduire les chiffres du multiplicande, comme c'est le cas sur la machine arithmétique de Pascal.
Les nombreuses esquisses retrouvées nous éclairent par ailleurs sur le cheminement cognitif de l'inventeur. Malheureusement, aucune description détaillée n'a été retrouvée, et seules quelques notes sont disponibles. L'étude va donc porter essentiellement sur l'analyse comparative des dessins et sur l'observation des lois élémentaires propres à la mécanique.

5.2. Description du multiplicateur

La **Fig.67** représente une vue du multiplicateur **pour un rang décimal**. Il sera donc monté en série autant de fois qu'il y a de chiffres au multiplicande.

Un "**bloc**" est constitué de 2 axes **D** et **E** portant chacun 9 roues dentées. Les chiffres inscrits sur leur tranche correspondent au nombre de dents affectées à chaque roue.

Schéma du multiplicateur de Huygens

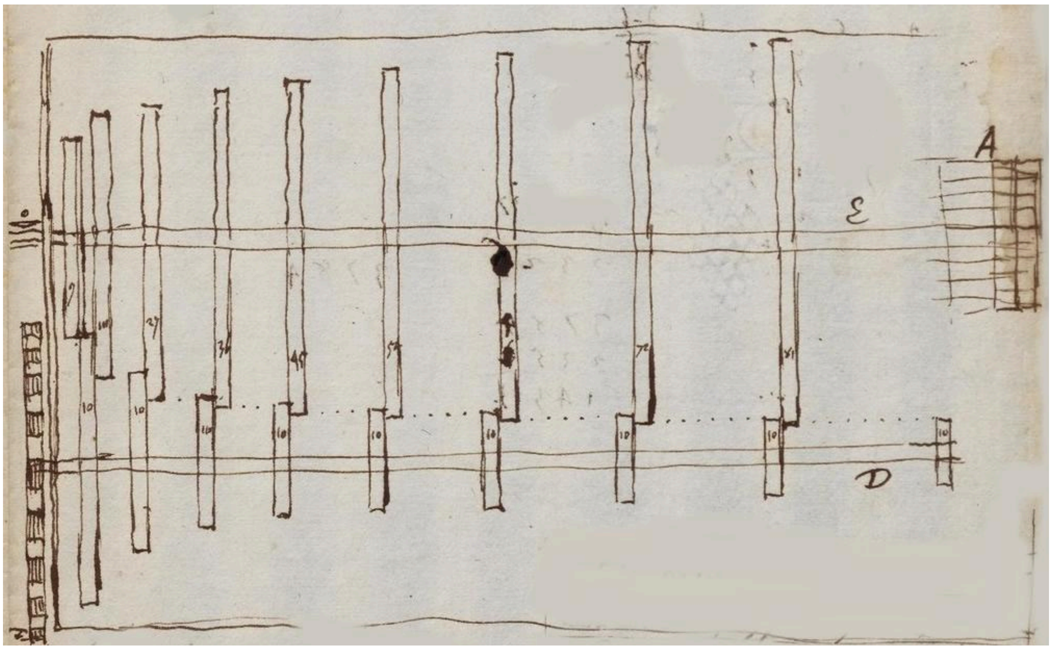


Fig.67 - HUG26-ff.092r

5.2.1. L’axe E

Toutes les roues de l’axe **E** donnent des **multiples de 9** (9,18,27,36,45,54,63,72,81). Curieusement, leur diamètre n'est pas proportionnel au nombre de dents[58] (**Fig.71**). Cela peut signifier deux choses : soit le dessin est mal réalisé ; soit les roues dentées n’ont pas le même module[59]. En soi, ce n’est pas un problème. Elles peuvent très bien avoir un même diamètre et ne pas avoir le même nombre de dents. C’est juste que leur taille est différente. Mais il y a une contrainte : chaque roue devra engrener avec une autre de même module. Cet aspect sera développé plus loin.

Non proportionnalité des roues (multiples de 9)

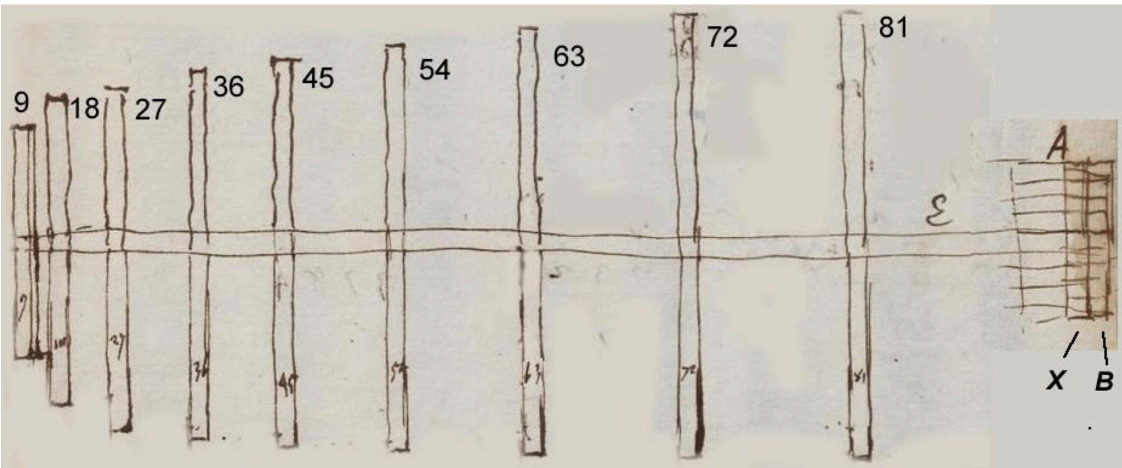


Fig.71 - HUG26-ff.092r

Sur le côté droit, connecté à l’axe **E,** on distingue un pignon **A**. Il est constitué d’une roue **X** dotée de 9 dents obliques réparties uniformément sur la circonférence (**Fig.72)**. Un cliquet à ressort maintient la roue et l'empêche de revenir en arrière. Jointe à elle, une roue polygonale **B** de 9 côtés plats est contrainte par un ressort fort **C** (**Fig.73**).

Roue X à 9 dents obliques et crémaillère

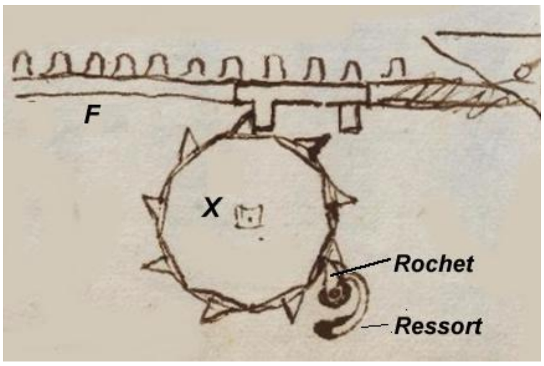


Fig.72 - HUG26-ff.092r

Roue polygonale B

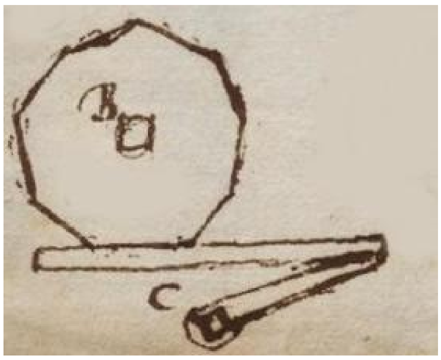


Fig.73 - HUG26-ff.092r

---

58 La roue de 9 dents devrait être 9 x plus petite que celle de 81 dents, par exemple.

59 Le module sert de base aux calculs de dimensionnement de la denture.Il se calcule très facilement en divisant le diamètre du cercle primitif par le nombre de dents (M=D/Z). Pour pouvoir engrener ensemble, deux engrenages doivent avoir le même module (la même taille de denture). Deux engrenages de module différent ne sont pas compatibles.

Une crémaillère **F** fait tourner le pignon **A** par tranche(s) de 1/9. En conséquence, les roues dentées présentes sur l'axe **E** vont tourner de 1/9, 2/9, 3/9 …etc. jusqu'à faire si besoin un tour complet (9/9).

5.2.2. L'axe D

Toutes les roues de l'axe **D** possèdent 10 dents (**Fig.74**). Le fait que leur diamètre soit différent suggère que leur module l'est également. Il reste donc à étudier la compatibilité avec les roues de l'axe **E**[60].

Non proportionnalité des roues de 10 dents

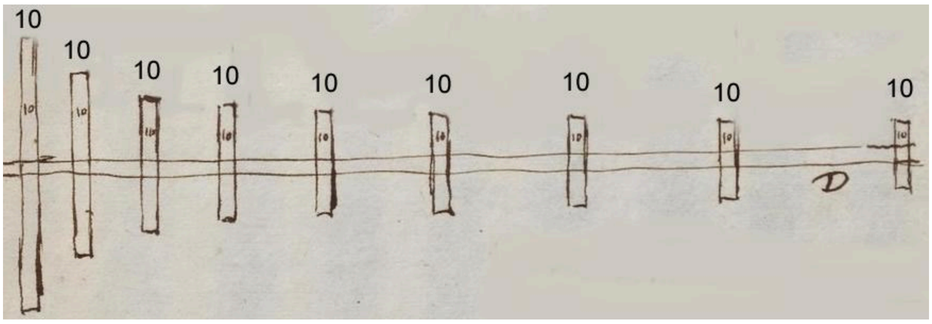


Fig.74 - HUG26-ff.092r

5.2.3. Connectivité entre les roues des 2 axes A et D

Le schéma ci-dessous (**Fig.75**) montre, qu'en position neutre, les roues de l'axe **D** ne sont pas en prise avec celles de l'axe **E**. De petits pointillés, ici volontairement coloriés, suggèrent que l'axe **D** est mobile et qu'il se déplace horizontalement de droite à gauche. Le nombre de points entre chaque roue diminue à mesure qu'on se déplace vers la gauche.

Mobilité de l'axe D

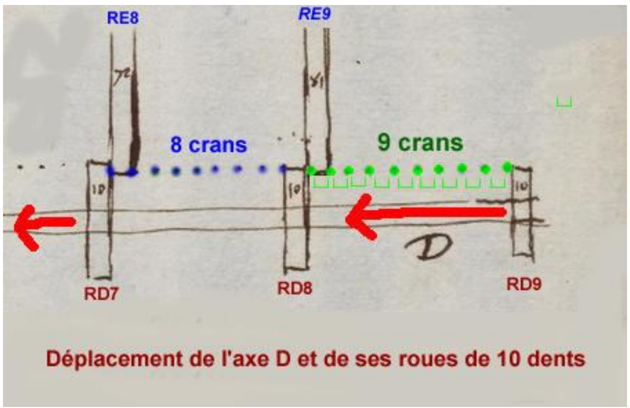


Fig.75 - HUG26-ff.092r / Coloriage par V. Monnier

[60] Le module sert de base aux calculs de dimensionnement de la denture.Il se calcule très facilement en divisant le diamètre du cercle primitif par le nombre de dents (M=D/Z). Pour pouvoir engrener ensemble, deux engrenages doivent avoir le même module (la même taille de denture). Deux engrenages de module différent ne sont pas compatibles.

5.2.4. Multiplicateur et Multiplicande

Concrètement, cela veut dire que si l'opérateur déplace l'axe **D** de 8 crans vers la gauche, seule la roue **RD8** va entrer en prise avec la roue **RE8**. Les autres restent déconnectées. Si maintenant il tire la crémaillère **F**, le pignon **A** va tourner de 1/9, 2/9; 3/9, …9/9. La roue **RE8,** qui a 72 dents, tourne en conséquence de 8,16,24,32,40,48,56,64, ou 72 équivalent-unités (1 dent = 1 unité).

Nous avons donc ici deux éléments essentiels dans la création d'une multiplicatrice, à savoir un **multiplicateur**, et **un multiplicande.**

Le tableau ci-dessous donne toutes les configurations possibles de la table de pythagore, que Huygens a réussi à matérialiser.

	Multiplicateur								
Multiplicande	**x1** 1/9 de tour	**x2** 2/9 de tour	**x3** 3/9 de tour	**x4** 4/9 de tour	**x5** 5/9 de tour	**x6** 6/9 de tour	**x7** 7/9 de tour	**x8** 8/9 de tour	**x9** 1 tour
1 (roue de 9 dents)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2 (roue de 18 dents)	2	4	6	8	10	12	14	16	18
3 (roue de 27 dents)	3	6	9	12	15	18	21	24	27
4 (roue de 36 dents)	4	8	12	16	20	24	28	32	36
5 (roue de 45 dents)	5	10	15	20	25	30	35	40	45
6 (roue de 54 dents)	6	12	18	24	30	36	42	48	54
7 (roue de 63 dents)	7	14	21	28	35	42	49	56	63
8 (roue de 72 dents)	8	16	24	32	40	48	56	64	72
9 (roue de 81 dents)	9	18	27	36	45	54	63	72	81

V. Monnier 2024

5.2.5. Avantage de la constante à 10 dents sur l'axe D

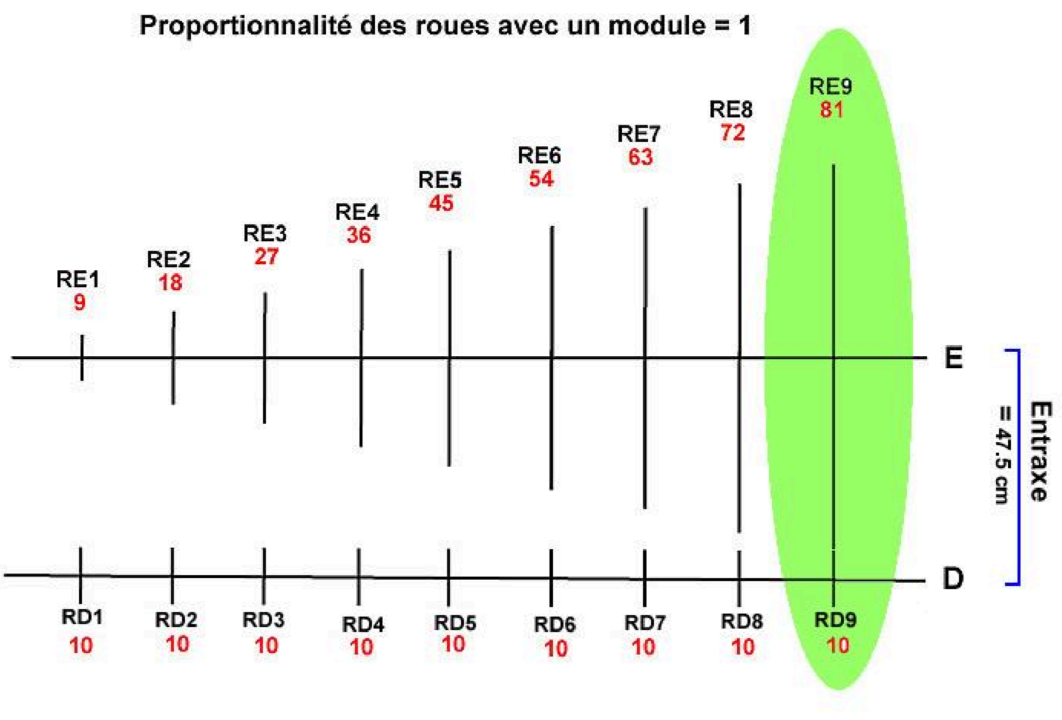
Pour qu'un produit soit correctement transmis au totalisateur, il faut que les roues de l'axe **D** aient le même nombre de dents. Si leur nombre varie, le résultat est différent. Prenons l'exemple de 24, qui est le produit de 8x3, 3x8, 6x4, ou 4x6. On obtient, avec une roue de 10 dents, **2,4** rotations ; avec une roue de 12 dents, **2** rotations, et avec une de 24 dents, **1** rotation. Dans ces conditions, la roue de transmission, placée à l'extrémité de l'axe **D** ne transmettra pas la même valeur au totalisateur, d'où la nécessité d'avoir cette constante de 10.

5.2.6. La contrainte du module

Le fait que les roues dentées d'un même axe ne possèdent pas le même module n'a pas d'incidence puisqu'elles n'engrènent pas entre elles. En revanche, il est indispensable que les couples de roues **RE1/RD1, RE2/RD2, ….RE9/RD9** aient le même module.

5.2.7. Calcul du diamètre des roues

En prenant en considération cette contrainte mécanique, la question de la faisabilité se pose. Pour bien comprendre la problématique rencontrée par Huygens, il semble utile dans un premier temps de réaliser un schéma avec les bonnes proportions (**Fig.56**). Dans cette configuration[61], les roues dentées de l'axe **E** ont un diamètre qui suivent une progression parfaitement arithmétique[62]. Les roues de l'axe **D**, quant à elles, sont identiques puisqu'elles ont le même nombre de dents.



V. Monnier 2024

RE1 (9 dents) = 11mm	**RE2** (18 dents) = 20mm	**RE3** (27 dents) = 29mm	**RE4** (36 dents) = 38mm
RE5 (45 dents) = 47mm	**RE6** (54 dents) = 56mm	**RE7** (63 dents) = 65mm	**RE8** (72 dents) = 74mm
RE9 (81 dents) = 83mm		**RD** (10 dents) = 12mm	

61 On prendra pour l'exemple un module = 1

62 allant de 11mm à 83mm.

A l’évidence, 8 des 9 couples ne sont pas connectés, ce qui rend inopérant le mécanisme[63]. *Huygens* a réalisé plusieurs dessins qui témoignent d'une réelle recherche de solutions. La **Fig.79** par exemple propose une solution d'entraxes multiples avec des supports d’axes différenciés.

Entraxes multiples avec supports d’axes

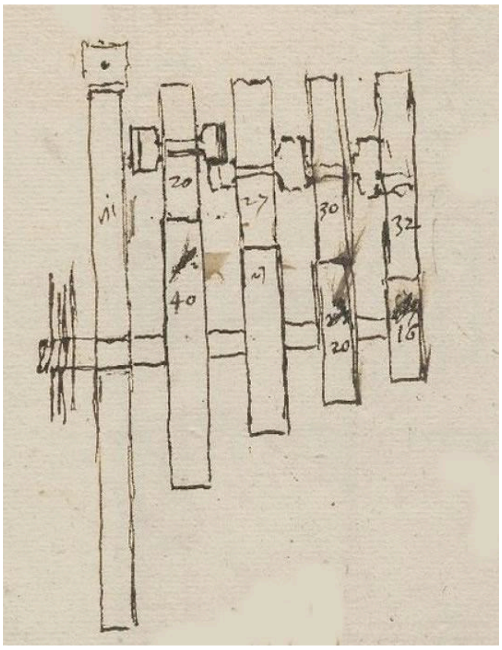


Fig79 - HUG3-ff.107v

Il est possible également d’augmenter proportionnellement le diamètre de chaque couple **RE*n*/RD*n*** afin d’obtenir un même entraxe. Pour ce faire, il suffit de diviser l’entraxe de référence **RE9/RD9** par l'entraxe théorique de chaque couple. Le ratio obtenu est ensuite multiplié par le rayon de chaque roue.

Cela nous donne les ajustements suivants :

Pour **RE1/RD1** : 47,5mm (11mm+12mm)/2] = **4,13** **RE1’** = 11mm x 4,13 = **45,44mm** **RD1’** = 12mm x 4,13 = **49,56mm** **Entraxe** = [(45,44mm+49,56mm)/2] = **47,5mm** 👍	Pour **RE2/RD2** : 47,5mm / [(20mm+12mm)/2] = **2,97** **RE2’** = 20mm x 2,97 = **59,4mm** **RD2’** = 12mm x 2,97 = **35,6mm** **Entraxe** = [(59,4mm+35,6mm)/2] = **47,5mm** 👍
Pour **RE3/RD3** : 47,5mm / [(29mm+12mm)/2] = **2,32** **RE3’** = 29mm x 2,32 = **67,2mm** **RD3’** = 12mm x 2,32 = **27,8mm** **Entraxe** = [(67,2mm+27,8mm)/2] = **47,5mm** 👍	Pour **RE4/RD4** : 47,5mm / [(38mm+12mm)/2] = **1,9** **RE4’** = 38mm x 1,9 = **72,2mm** **RD4’** = 12mm x 1,9 = **22,8mm** **Entraxe** = [(72,2mm+22,8mm)/2] = **47,5mm** 👍

[63] Seul le couple **RE9/RD9** est fonctionnel

Pour **RE5/RD5** : 47,5mm / [(47mm+12mm)/2] = **1,61** **RE5'** = 47mm x 1,61 = **75,67mm** **RD5**' = 12mm x 1,61 = **19,33mm** **Entrax**e = [(75,67mm+19,33)/2] = **47,5mm** 👍	Pour **RE6/RD6** : 47,5mm / [(56mm+12mm)/2] = **1,4** **RE6'** = 56mm x 1,4 = **78,2mm** **RD6'** = 12mm x 1,4 = **16,3mm** **Entraxe** = [(78,2mm+16,3mm)/2] = **47,5mm** 👍
Pour **RE7/RD7** : 47,5mm / [(65mm+12mm)/2] = **1,234** **RE7'** = 65mm x 1,234 = **80,2mm** **RD7'** = 12mm x 1,234 = **14,8mm** **Entraxe** = [(80,2mm+14,8mm)/2] = **47,5mm** 👍	Pour **RE8/RD8** : 47,5mm / [(74mm+12mm)/2] = **1,104** **RE8'** = 74mm x 1,104 = **81,75mm** **RD8'** = 12mm x 1,104 = **13,25mm** **Entraxe** = [(81,75mm+13,25mm)/2] = **47,5mm** 👍
Pour **RE9/RD9** : **base de référence** **RE9 = 83mm** **RD9 = 12mm** **Entraxe = 47,5mm** 👍	

5.2.8. Schéma avec les nouvelles valeurs

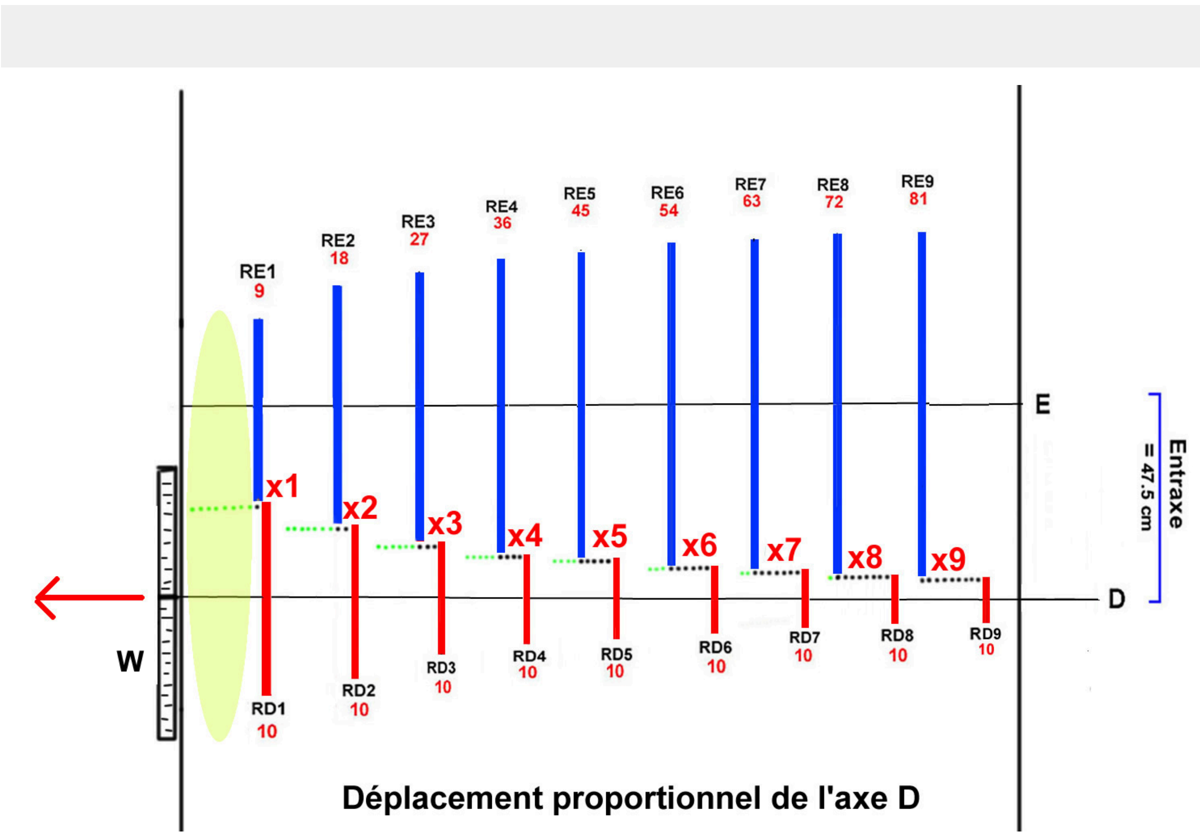


Fig.81 © V. Monnier 2024

En comparant ce nouveau schéma (**Fig.81**) avec l'original de Huygens ci-dessous (**Fig.82**), la ressemblance est frappante. Les contraintes de connectivité sont respectées et les couples de roues gardent le même module, ce qui est essentiel pour le bon fonctionnement du multiplicateur.

Multiplicateur de Huygens pour comparaison

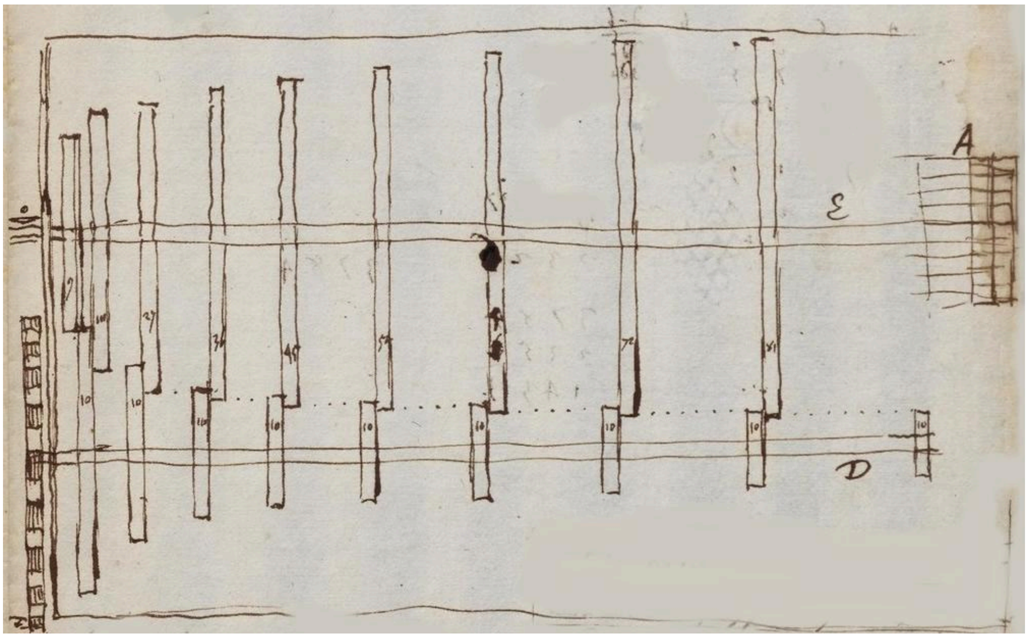


Fig. 82 - HUG26-ff.092r

5.2.9. Erreur dans le schéma

Il convient néanmoins de signaler une erreur dans la **fig.82** qui est sans doute dûe à la limite imposée par la largeur du feuillet manuscrit. Pour que l'axe **D** et ses 9 roues dentées puissent se déplacer vers la gauche, il est nécessaire qu'un espace soit réservé entre la cage et la roue **RD1**. La **fig.81** propose donc une vue corrigée du multiplicateur avec l'espace obligé.

5.2.10. Déplacement physique de l'axe D

La manière dont l'axe **D** se déplace mécaniquement n'est pas précisée[64]. Il est possible qu'en tirant la grande roue **W** vers la gauche (**Fig.81)**, l'axe **D** se décale, cran par cran. Mais on pourrait contre-argumenter en disant que c'est une roue dentée servant à transmettre les données au Totalisateur.
La **fig.84** propose une autre version avec un axe **D**[65] muni d'une sorte de tirette chiffrée. Ce système[66] permet à l'opérateur de contrôler facilement la valeur du multiplicande.

[64] Dans les quelques indications manuscrites de *Huygens*, il est précisé que l'axe **D** **"***est plutôt mobile***"** que **E**
[65] L'axe **D** est placé ici en position supérieure
[66] Il a été utilisé sur un certain nombre de machines à calculer comme l'Arithmaurel de Maurel et Jayet (1849-1854) ou encore l'arithmomètre de Shires (vers 1900) à

Indicateur chiffré (à tirette ?)

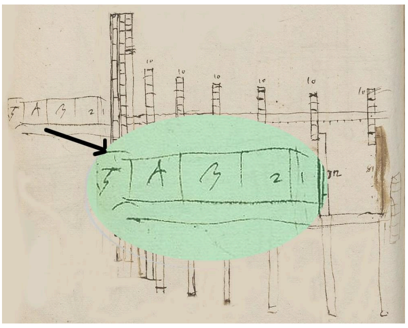


***Fig. 84** - HUG3-ff.106v / Coloriage par V. Monnier*

5.3. Le mécanisme d'entraînement

Le feuillet **HUG-ff.092r** offre une description manuscrite peu explicite du mécanisme d'entraînement : *"Le pignon A de cuivre doit être long pour recevoir 9 règles dentées [...]. Une roue de plomb pour tirer par son pignon les règles, de **f** vers **g**, lesquelles seront en crémaillère par-dessus tout du long, [texte raturé], ou plutôt on les tirera par une corde ou chaîne".*

Difficile de comprendre ce que Huygens a voulu dire précisément. Qu'entend-il par "règles dentées"[67] ? Et en quoi le pignon **A** doit être long ?

5.3.1. Les différentes versions de règles dentées

Si les différentes versions de crémaillères dessinées par *Huygens* (**fig.87-92**) témoignent d'une véritable recherche de solutions, aucune ne nous renseigne directement sur l'emploi de ces "9 règles dentées".

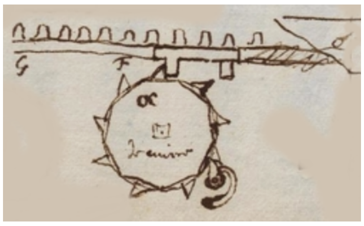


Fig.87 - HUG26-ff.092r

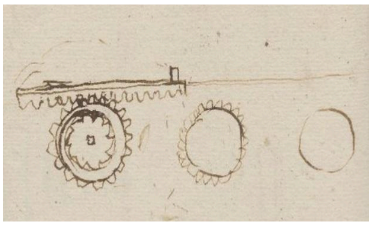


Fig.88 - HUG3-ff.107v

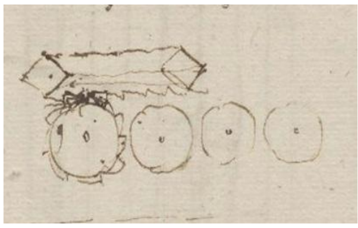


Fig.89 - HUG3-ff.107v

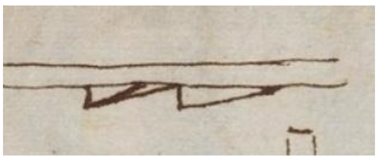


Fig.90 - HUG26-ff.092r

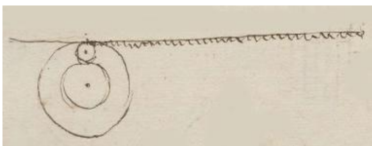


Fig.91 - HUG3-ff.107r

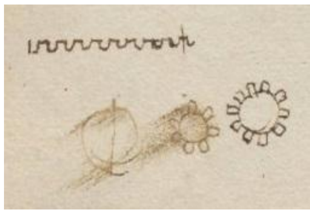


Fig.92 - HUG3-ff.106v

[67] Le dictionnaire de l'Académie Française la définit comme une "*pièce métallique rectiligne munie de dents qui engrène sur un pignon, transformant un mouvement circulaire en mouvement rectiligne ou inversement.*"

5.3.2. Vue latérale du multiplicateur

Le verso du feuillet **HUG-ff.092r** nous présente, en vue latérale, le multiplicateur et son système d'entraînement **(fig.93)**.

Vue latérale de la multiplicatrice

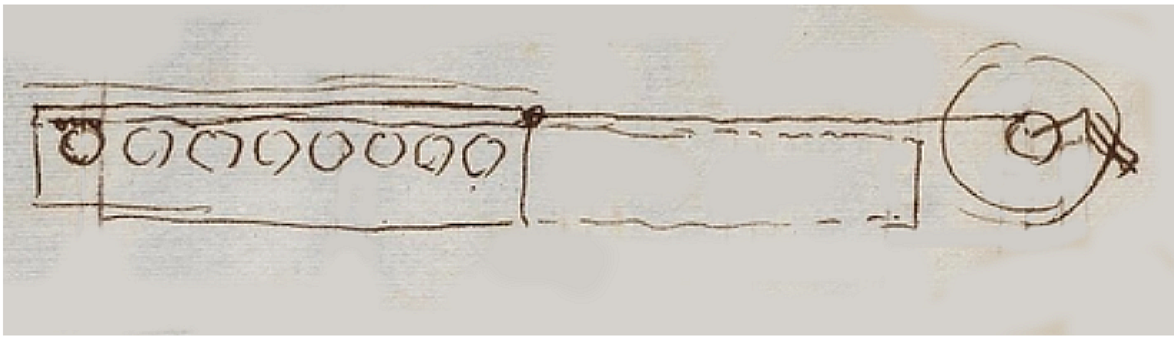


Fig. 93 - HUG26-ff.92v

On y voit une série de pignons **A** disposés horizontalement sur le côté de la boîte. Les axes **E** et **D** sont disposés en série[68] à l'intérieur et ne sont pas visibles. Une longue crémaillère passe au-dessus de ces pignons et court jusqu'à une grande roue munie d'une manivelle. Cette grande roue est sans doute "*la roue de plomb*" mentionnée par *Huygens*.
Le dessin, très sommaire, montre une crémaillère qui n'est dentée que sur le premier pignon de gauche, comme si elle devait engrener tour à tour avec les autres. Cette configuration n'est pas cohérente avec l'idée même du multiplicateur. Pour multiplier par 7 un nombre quelconque (multiplicande), la manivelle doit faire 7/9 de tours et s'arrêter. Mais ici, seul le premier pignon va tourner de 7/9, et pas les autres. Le résultat est donc faussé.

Il est probable que Huygens ait juste dessiné quelques dents pour représenter l'idée même d'une crémaillère dentée tout du long. Dans ce cas, Les pignons **A** tournent simultanément et transmettent en même temps les produits partiels de chaque rang décimal au totalisateur[69].

crémaillère dentée tout du long

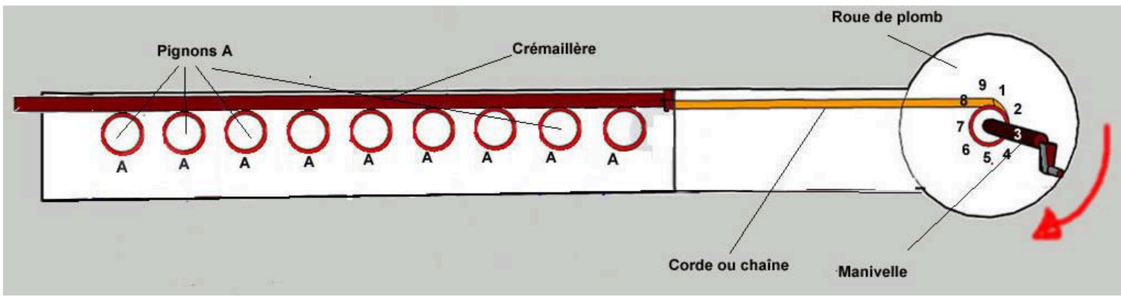


Fig.94 - © V. Monnier 2024

[68] Autant qu'il y a de chiffres au multiplicande
[69] Nous verrons que le transfert simultané des produits partiels au totalisateur provoque un dysfonctionnement de la retenue.

5.3.3. Le mystère des 9 règles dentées

Mais alors, comment expliquer le texte de Huygens qui indique que *“le pignon A de cuivre doit être long pour recevoir 9 règles dentées”?* Cela semble bien différent d’une crémaillère unique.

5.3.4. Usage de contrepoids

Ce système primitif mais astucieux permettrait au mécanisme de crémaillère de revenir dans sa position initiale (**Fig.95**). L’ensemble est tiré par une “*corde ou une chaîne*” et ne peut revenir en arrière sous le seul effet de la manivelle. Huygens a bien représenté l’idée[70] dans la **fig.96** mais il ne donne pas de précision sur la manière dont la crémaillère peut revenir sans faire tourner les axes **D** et **E**.

Utilisation de contrepoids pour le retour de crémaillère

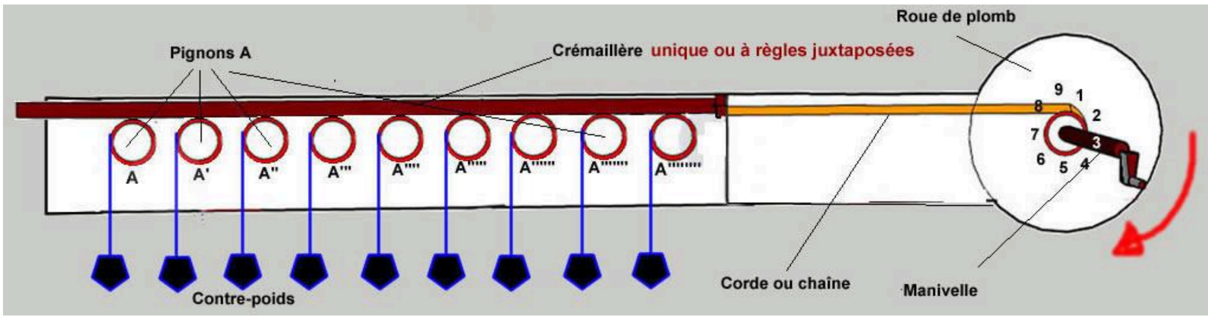


Fig. 95 - © V. Monnier 2024

contrepoids dessiné par Huygens

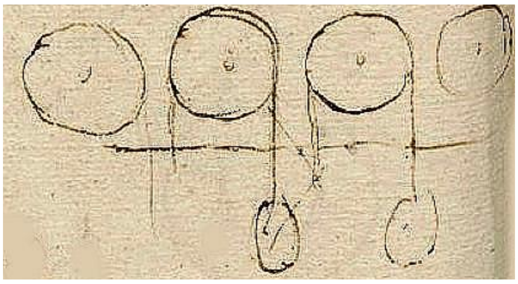


Fig.96 - HUG3-ff.107v

5.3.5. Un multiplicande à 8 ou 9 chiffres ?

L’usage de 9 règles dentées suggère la présence de 9 pignons. *Or* la vue latérale de la multiplicatrice (**fig.93**) n’en montre que 8, ce qui semble être une erreur. Même si on a pas de détail sur la disposition de ces 9 règles dentées, il est légitime de penser qu'il y a une corrélation entre le nombre de règles et le nombre de pignons.

[70] L’usage de contrepoids est hérité de l’horlogerie, domaine dans lequel Huygens excella quelques années plus tôt avec l’invention de l’horloge à pendule (1657).

L'opérateur peut donc multiplier un nombre de 9 chiffres (Multiplicande) par un multiplicateur à un chiffre (x1,x2, X3, …, x9) en une fraction de tours de manivelle (1/9, 2/9…..8/9, 9/9)

5.4. Mode opératoire

Depuis le 17ème siècle jusqu'au milieu du 20e siècle, la quasi-totalité des machines à calculer mécaniques opère, pour la multiplication, par des sommes d'additions, et pour la division, par des suites de soustractions !

257 x 8 = 257 +257 +257 +257……. répétés 8 fois !!

C'est le principe de fonctionnement de la Pascaline, de la machine de Leibniz, mais aussi de l'arithmomètre de Thomas de Colmar, d'Odhner, et de bien d'autres !

Le multiplicateur de Huygens ne déroge pas à cette règle. Une fois que le multiplicande est posé, il suffit de tourner la manivelle d'une fraction de tours pour l'ajouter au totalisateur. En 8/9 de tour, le multiplicande a été ajouté 8 fois (**=2056**)

5.4.1. Exemple de multiplication :

257 x 8 = 2056

- Pose du multiplicande :
  - Déplacement de l'axe **D*u*** (rang des unités**)** de 7 crans (connexion des roues **RD*u*7/RE*u*7**)
  - Déplacement de l'axe **D*d*** (rang des dizaines) de 5 crans (connexion des roues **RD*d*5/RE*d*5**)
  - Déplacement de l'axe **D*c*** (rang des centaines) de 2 crans (connexion des roues **RD*c*2/RE*c*2)**

- Choix du multiplicateur
  - Rotation de la manivelle de **8/9** (= la roue **X** tourne de 8/9)

- Sortie vers totalisateur
  - La roue **RDu7** (63 dents) tourne de 8/9, soit **56**
  - La roue **RDd5** (45 dents) tourne de 8/9, soit **40(0)**
  - La roue **RDc2** (18 dents) tourne de 8/9, soit **16(00)**

TOTAL = 2056

5.5. Les apports de Huygens et de Leibniz

C. Huygens

G.-W. Leibniz

En 1672, le jeune *Leibniz* rencontre *Huygens*. Ce dernier deviendra pendant quelque temps son mentor dans des domaines aussi variés que les mathématiques, la géométrie, et la mécanique. La même année, *Pierre de Carcavy* lui montre la machine arithmétique de *Pascal*. Très rapidement, il élabore un concept de multiplicateur venant s'ajouter à un additionneur de type *Pascalien*.

5.5.1. La première esquisse de *Leibniz* (circa 1672)

C'est sans doute l'une des premières représentations conceptuelles de la multiplicatrice de Leibniz **(Fig.97-98)**. Elle est composée d'une série de roues disposées sur 3 niveaux. Le multiplicateur **X** est connecté au multiplicande **M** par un jeu de courroies, lesquelles font tourner les roues du multiplicande de manière proportionnelle. Ces dernières engrènent ensuite avec les roues du totalisateur **T**.

Concept de multiplicateur à courroie

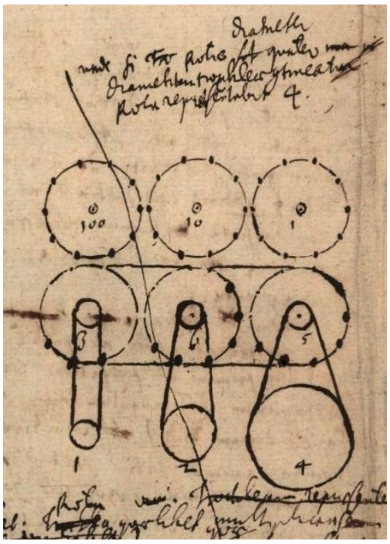


Fig.97 - Machina Arithmetica, LH XLII, 5, p.1v.
GWLB Hannover

Multiplicateur, Multiplicande et Totalisateur

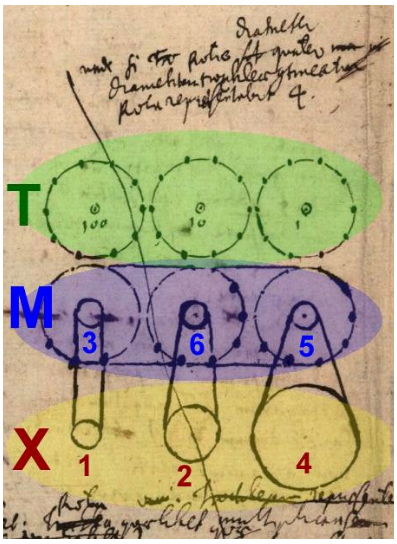


Fig.98 - Machina Arithmetica, LH XLII, 5, p.1v.
GWLB Hannover / Coloriage par V. Monnier

Prenons l'exemple du multiplicateur **x4,** visible sur le rang des unités. Sa poulie est 2 fois plus grosse que le multiplicateur **x2**, et 4 fois plus grosse que le multiplicateur **x1.** La transmission est proportionnelle **:** une rotation complète de la poulie va provoquer 4 rotations du côté du multiplicande.

Le fait que plusieurs multiplicateurs soient connectés en même temps au multiplicande est une manière didactique de visualiser la taille des poulies et les rapports qu'elles génèrent. Vu d'une manière plus large, c'est aussi une possibilité d'avoir à disposition tous les multiplicateurs sous la main, pour peu qu'on ait 9 roues au multiplicande **(Fig.99)**.
L'opérateur choisit alors son multiplicateur et tourne la poulie correspondante avec une manivelle. Comme les roues du multiplicande sont connectées par une poulie, elles tournent ensemble avec la même proportionnalité. Quant aux roues du multiplicateur, elles tournent librement sans impacter le résultat[71].

Représentation possible du Multiplicateur de *Leibniz*

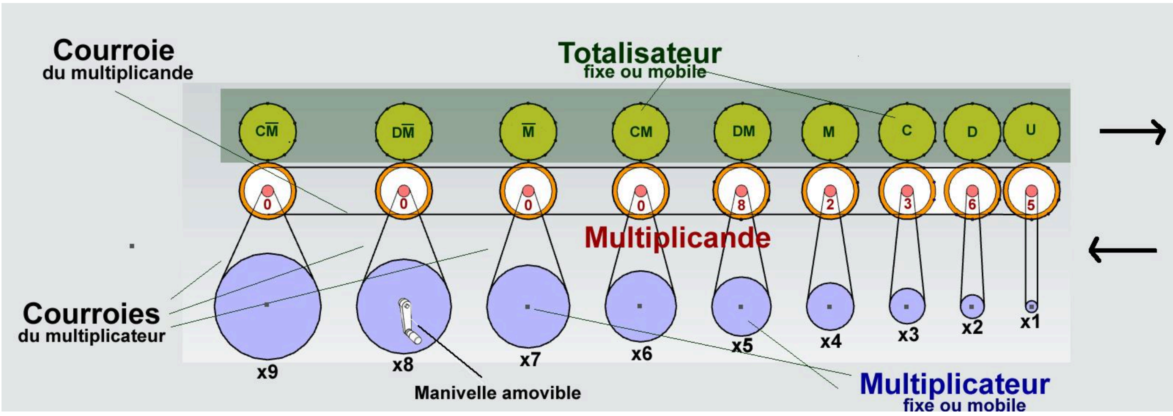


Fig.99 - © V. Monnier 2024

Une autre manière de concevoir le multiplicateur est de disposer 9 poulies de taille croissante sur un même axe et de relier l'ensemble à l'une des roues du multiplicande. Mais dans cette configuration, il est nécessaire de changer de courroie lorsque l'on change de multiplicateur, car elles n'ont pas les mêmes longueurs. Cela semble donc compliqué à employer.

Quelque soit l'option choisie, la multiplication doit être progressive[72] : on multiplie d'abord par 4, puis par 20, et enfin par 100 en prenant soin de décaler d'un cran soit le totalisateur, soit le bloc multiplicateur-multiplicande.

[71] Il conviendra néanmoins de les repositionner au point 0, car leur taux de rotation est différent.
[72] Dans cette configuration, trois tours (équivalent tour de manivelle) suffisent pour effectuer l'opération.

a) Points de convergence avec le multiplicateur de Huygens

C'est la première fois dans l'histoire du calcul mécanique que des multiplicatrices sont conceptualisées. Comme la machine de *Pascal*, elles sont capables d'effectuer des multiplications par sommes d'additions, mais il n'y a plus besoin ici de réintroduire à chaque fois les chiffres du multiplicande. Cette différence est fondamentale car elle augmente considérablement les capacités opératoires de la machine.

On ignore à ce jour si *Leibniz* a eu vent des travaux de *Huygens* sur le sujet. Il est légitime de se poser la question car une dizaine d'années seulement séparent les deux projets. Ils se sont rencontrés en 1672 à Paris et ont peut-être discuté de la machine de *Pascal* et des améliorations éventuelles à y apporter.

Les deux "machines" utilisent un multiplicateur de type "boite de vitesse" qui va modifier le cycle de rotation des roues du multiplicande.

Chez ***Huygens***, chaque roue (du multiplicande) possède un nombre de dents égal à la valeur d'un chiffre (1 à 9) augmentée (x) par son plus grand multiple. La roue **RE7**, par exemple, a 63 dents (Multiplicande = 7x9); la roue **RE3** a 27 dents (3x9). La multiplication se fait en tournant la manivelle de n/9 de tours.

- Si on souhaite multiplier 365 par **124**, on pose dans un premier temps le multiplicande (365), puis on tourne la manivelle de **4/9** de tours. Celle-ci revient en position neutre sous l'effet des contrepoids[73]. On décale ensuite d'un rang décimal le totalisateur, et on tourne la manivelle de **2/9** de tours. L'opération est répétée autant de fois qu'il y a de chiffres au multiplicateur.

Chez ***Leibniz***, les couples varient également dans un rapport de 1 à 9, mais ici, c'est le choix de la poulie à laquelle est attaché l'organe de rotation (manivelle?) qui fait office de multiplicateur. Le multiplicande, quant à lui, est plus "classiquement" constitué de roues à 1,2,3,..., 8 ou 9 dents. Une grande courroie provoque la rotation simultanée de l'ensemble des roues du multiplicande. Quelque soit le multiplicateur, l'opération se fait en un tour complet de manivelle.

- Pour multiplier 365 par **124**, il faut poser le multiplicande et choisir la roue correspondant au multiplicateur **4**. Un seul tour de manivelle suffit. On décale ensuite d'un rang le totalisateur[74] (ou le bloc multiplicateur-multiplicande). L'opération continue de la même manière pour chaque chiffre du multiplicateur.

[73] Le type d'engrenage du pignon A (roue à rochet) autorise en théorie un retour de la crémaillère. Mais cet aspect n'est pas explicité par Huygens.
[74] Après repositionnement des roues du multiplicateurs en position initiale.

5.5.2. La seconde esquisse de *Leibniz* (1673)

Le second dessin (**fig.100**) présente une version différente du multiplicateur. Ce n'est plus une configuration “**boîte de vitesses**” comme décrite précédemment. La multiplication est en quelque sorte “externalisée”, c'est-à-dire que le multiplicande est ajouté au totalisateur lorsque l'opérateur tourne une fois la manivelle. Un compteur de tours lui permet de suivre l'avancement de l'opération[75].

Seconde esquisse de l'additionneur-Multiplicateur de *Leibniz*

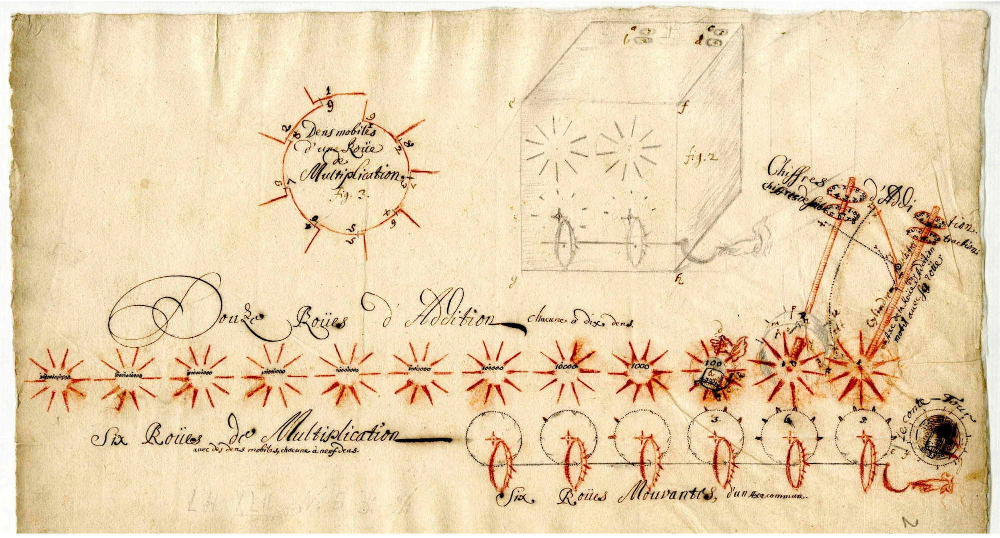


Fig.100 - GWLB, LH XLII_5_Bl_29r

Ce qui est très intéressant, c'est qu'on retrouve, condensé dans ce dessin, les deux types d'entraîneurs qui ont marqué l'Histoire du calcul mécanique:

- **Roues à dents mobiles[76] :** Ce sont des roues dont on peut changer manuellement le nombre de dents. Le principe a été utilisé par de nombreux inventeurs comme *Giovanni Poleni, Anton Braun, Philippe Vayringe, Israël Abraham Staffel, Frank Baldwin*, et surtout *Willgodt Theophil Odhner*. Le schéma de *Huygens* n'est pas suffisamment détaillé pour qu'on puisse en faire une description précise, mais l'idée en tout cas est là.

- **Cylindre dentée mobile :** le cylindre **primitif** de *Leibniz* est constitué d'une série de tranches dont chacune possède un nombre décroissant (ou croissant) de dents. On le voit représenté assez sommairement dans la **fig.100** et de manière plus détaillée dans la **fig.101.** Il sera par la suite modifié pour prendre la forme d'un cylindre muni de *“cannelures de longueurs inégales”*. Ce système sera privilégié par *Leibniz* et équipera toute une lignée de machines à calculer[77] dont le plus grand représentant est l'arithmomètre de *Thomas de Colmar.*

[75] Notons que pour un multiplicateur à plusieurs chiffres, il convient également de décaler progressivement le multiplicateur vers la gauche.
[76] Egalement appelées “Roues à nombre variable de dents”
[77] Philipp-Matthaüs Hahn, J.C. Schuster, Johann-Helfrich Müller, Maurel & Jayet etc…

Mais il y a une incohérence frappante, c'est qu'il ne peut y avoir qu'un seul multiplicande. Leur utilisation combinée est impossible.

a) un rajout possible

L'observation du schéma donne l'impression que les cylindres positionnés sur les roues d'additions ont été ajoutés ultérieurement au crayon, de même que le dessin de la boîte. On remarque également que certains éléments descriptifs n'ont pas la même couleur d'encre. Le terme "*Cylindre… de chiffres*" semble avoir été ajouté ainsi que certains autres petits caractères.

Il s'agit donc probablement d'une "autre proposition". En retirant cet "ajout", la machine redevient fonctionnelle.

5.5.4. La troisième esquisse de *Leibniz*

Le troisième dessin **(fig.101)** reprend exactement l'idée du multiplicande unique. Le système de roues à dents mobiles a été abandonné au profit des cylindres qui avaient été ajoutés.

Troisième esquisse de l'additionneur-Multiplicateur de *Leibniz*

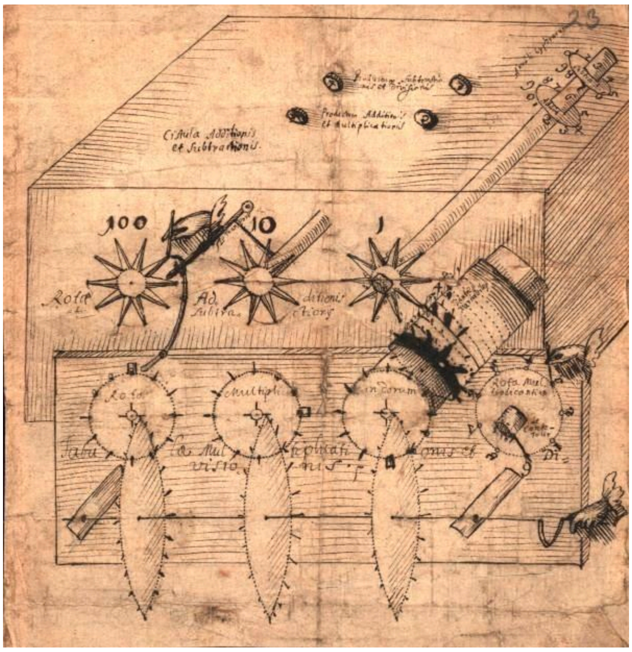


Fig.101 - GWLB, LH XLII, 5, Bl 23r.

5.5.4. Evolution du multiplicateur : Exemple 8 x6

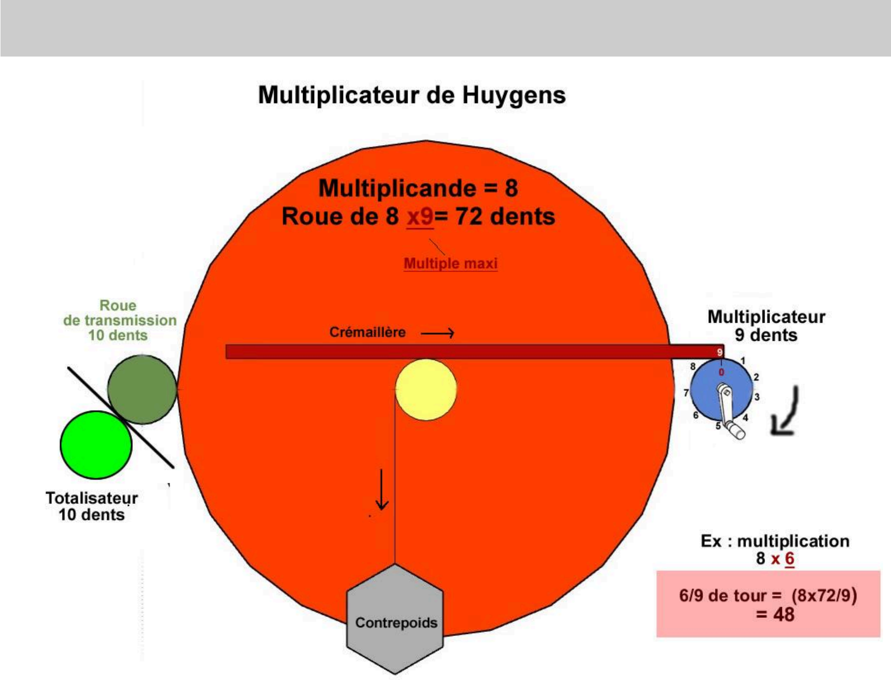


Fig.102 - © V. Monnier 2024

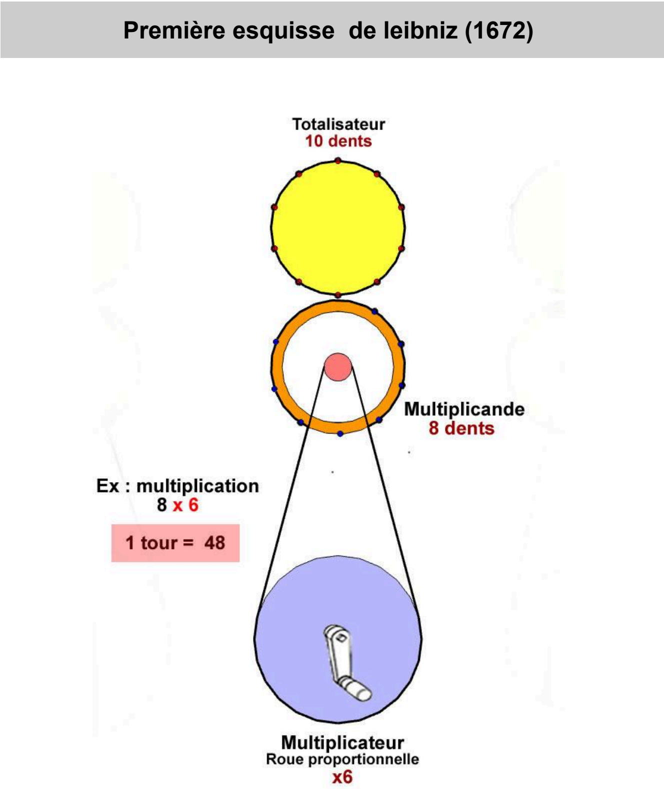


Fig.103 - © V. Monnier 2024

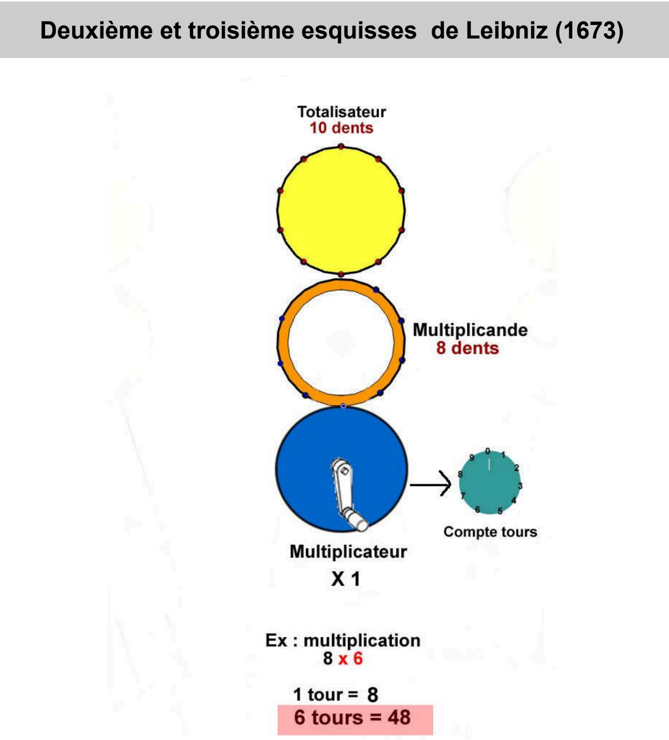


Fig.104 - © V. Monnier 2024

5.6. Configuration possible du multiplicateur

La **fig.104 bis** représente une vue possible du multiplicateur avec les différents éléments nécessaires à son fonctionnement. On y retrouve comme décrit précédemment les roues du multiplicande augmentées de leur multiple,les tirettes pour choisir le multiplicande, les roues de transmission, le système d'entraînement et le multiplicateur à fraction de tours.

L'additionneur-totalisateur de Huygens
/ Schéma Valéry Monnier 2024

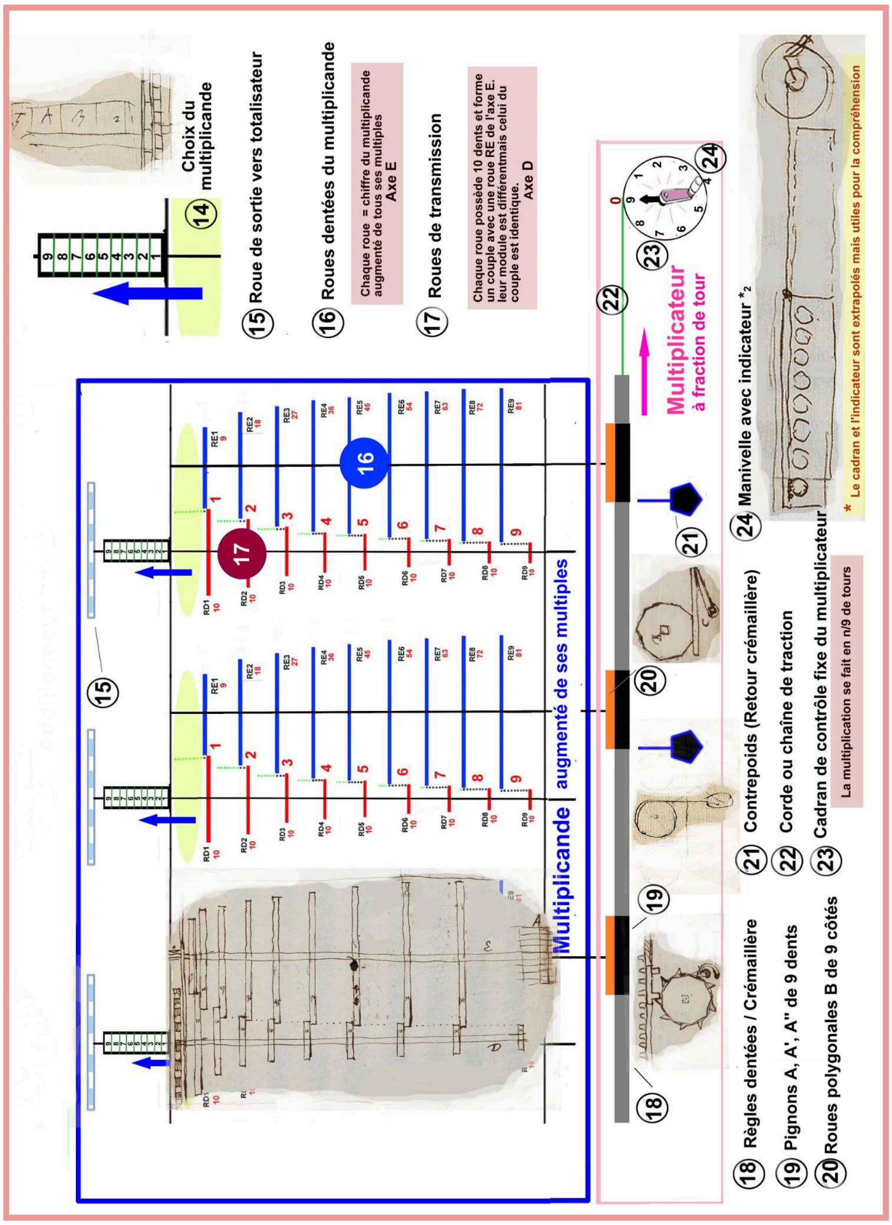


Fig. 104 bis

6. Connexion entre l’additionneur et le multiplicateur

6.1 Quelques indices

A ce jour, aucune figure, ni aucun texte ne donnent d'éclairage sur la manière dont le multiplicateur est connecté au totalisateur. Un indice peut néanmoins aider à mieux comprendre leur liaison. Huygens l’appelle “*Le triangle qui fait avancer la Paschaline*”[78]. C’est en fait une roue à trois côtés (**Fig.85),** dont la rotation va déplacer latéralement, par soulèvement, un élément[79].

“Le triangle qui fait avancer la Paschaline”	**Système similaire**

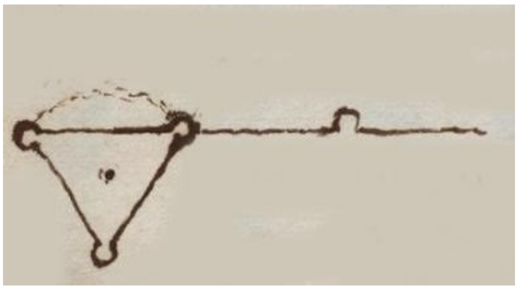
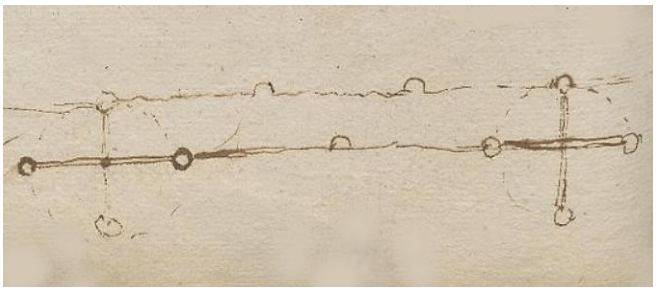

	

Fig.85 - HUG26-ff.092r	**Fig.86 - HUG3-ff.107v**

Ce système permettrait, lors de la multiplication, de décaler mécaniquement, cran par cran, le totalisateur du multiplicateur[80]. La manœuvre est similaire à celle que l’on fait lorsque l’on pose l'opération sur le papier : chaque produit partiel est décalé d’un cran. Cela s’avère d’autant plus utile que l’opérateur n’a plus à rentrer les chiffres du multiplicande comme sur la Pascaline. **En théorie[81]**, la multiplication se fait en un temps record. Le tableau ci-dessous montre la différence entre Huygens et Pascal.

Huygens
Ex : 1267 x 354

- Introduction du multiplicande 1267
- 4/9 de tours de manivelle
- Décalage du Totalisateur / Multiplicande
- 5/9 de tours de manivelle
- Décalage du Totalisateur / Multiplicande
- 3/9 de tours de manivelle

Pascal
Ex : 1267 x 354

- Introduction du multiplicande **4 fois** de suite

  1257 + 1257 + 1257 +1257

- Introduction du multiplicande **5 fois** de suite avec décalage d’un rang décimal

  12570 + 12570 + 12570 + 12570 + 12570

- Introduction du multiplicande **3 fois** de suite avec décalage d’un rang décimal

  125700 + 125700 + 125700

[78] C’est la seule fois que *Huygens* utilise le terme de “Paschaline” dans les textes attenants aux figures.
[79] Il peut s’agir d’une tringle ou d’une platine.
[80] Ou inversement
[81] Voir le chapitre 7

7. La machine arithmétique de Huygens et ses limites

Il convient de rappeler que l'objectif de cette étude est de mettre en lumière le génie de Huygens dans le domaine du calcul mécanique.

7.1. Limites de l'interprétation

Les feuillets qui ont été retrouvés sont riches en illustrations, mais pauvres en description. Les quelques lignes manuscrites ne suffisent pas à décrire précisément la machine arithmétique de Huygens dans son ensemble. L'essentiel du travail a donc porté sur l'analyse descriptive des dessins et sur leur interprétation. Leur quantité significative a permis néanmoins de comprendre le cheminement intellectuel de Huygens dans sa recherche de solutions, ce qui est déjà extraordinaire.

7.2. Limites mécaniques

Huygens a fait preuve d'une grande modernité dans la conceptualisation de sa machine arithmétique. C'est un peu une fusée à étage avec un totalisateur, un additionneur, et un multiplicateur. Pris séparément, ils semblent tout à fait fonctionnels. Mais c'est le mariage entre le multiplicateur et le totalisateur qui pose un problème.

7.2.1 La transmission simultanée des produits au totalisateur

L'analyse du multiplicateur a mis en évidence que les produits partiels[82] de la multiplication étaient transmis de manière simultanée au totalisateur. Chaque roue totalisatrice, sauf celle des unités, reçoit à la fois des données directes (produit partiel) et des retenues, parfois à grande vitesse[83] et en grande quantité. La multiplication de *29 par 8* va par exemple générer en moins d'une rotation[84] sept passages de retenues dans le totalisateur des “dizaines”[85], alors que celui-ci reçoit en même temps le produit en continu de 2x8.

Dans ces conditions, le totalisateur ne peut pas gérer correctement l'opération. C'est le point critique de la machine arithmétique de Huygens et on comprend peut-être pourquoi Leibniz abandonna cette idée.

---

[82]Produits de chaque chiffre du multiplicande par un multiplicateur à un chiffre (63x7 = 21 + 420)
[83]C'est le principe des roues proportionnels, en une rotation, la roue de 81 dents fera tourner le totalisateur de 10 dents plus vite que la roue de 63, ou 27 dents
[84]8/9 de rotation du pignon A, et des roues R
[85] Rang des dizaines

8. Conclusion

L’analyse des feuillets de *Christian Huygens* vient rebattre les cartes de l’Histoire du calcul mécanique. Le 17e siècle, berceau de l’invention, s’enrichit d’un nouveau contributeur. Il ne s’agit pas d’une simple amélioration de la machine de *Pascal*, mais bien d’un nouveau concept. L’idée de créer un multiplicateur capable de gérer les opérations sans réintroduction du multiplicande était initialement attribuée à *Leibniz* (1672), mais *Huygens* en a défini les contours 10 ans plus tôt, peut-être déjà même du vivant de *Pascal*.
L'utilisation de roues proportionnelles vient modifier le rapport entre la valeur d’un nombre posé et le produit qui s’affiche au totalisateur. Selon le multiple choisi, le multiplicande sera ajouté 1 à 9 fois au totalisateur en n/9 de tour.
Si l’approche de *Leibniz* est assez similaire au début[86], le mécanisme évolue rapidement vers une “externalisation” du multiplicateur. La multiplication devient tout simplement une somme d’additions que l’on matérialise avec un compteur de tours[87]. La quasi-totalité des machines à calculer mécaniques construites au fil des siècles procéderont de cette manière[88].
Huygens a également innové en dessinant un additionneur d'une grande modernité. Il a parfaitement compris le fonctionnement du reporteur de *Pascal* et l’a même sublimé. L’utilisation d'une came en remplacement du contrepoids réduit la taille de l’additionneur et l'affranchit de la contrainte de pesanteur. On se rapproche étonnamment de l'invention de *David-Didier Roth*, quelque 180 années plus tard..

Il est probable que *Huygens* n'ait jamais construit de machine arithmétique malgré toutes les améliorations qu'il a pu apporter à ses dessins. Sa grande curiosité intellectuelle l'a sans doute conduit à jouer avec des idées et à voir où cela le mènerait. C’est peut-être dans ce cheminement qu’il en a perçu les limites.

La datation des feuillets reste pour l’instant problématique. Il est raisonnable de penser qu’ils ont été réalisés dans les années 1660, et peut-être même du vivant de Pascal. Le fait qu’ils soient dispersés dans plusieurs manuscrits complique les choses, d’autant que leur datation[89] ne cadre pas avec leur niveau de technicité. Une étude plus poussée[90] des mécanismes permettra de mieux les situer les uns par rapport aux autres.

En espérant que de prochaines études viendront compléter ce travail de recherche.

[86]Première esquisse
[87]La quasi-totalité des machines à calculer utilisent ce principe.
[88]Seuls quelques inventeurs proposeront des solutions différentes
[89]Par exemple, certains textes datés de 1666 sont placés au-dessus des dessins. Ils n'ont aucun lien avec les dessins..
[90] Voir en annexe “L’inventaire des feuillets”