

**Modélisation et construction
de l'arithmomètre Thomas
(Brevet N° 1420 de 1820)**

/

**Valéry Monnier
&
Michel Bardel**

**Association « Les amis de l'arithmomètre »
© www.arithmometre.org 2006**

Sommaire

I) Introduction

- Une histoire de rencontre
- Petit aperçu historique
- Le projet

II) Présentation de la machine

- Aspect général
- Fonctionnement de la machine

III) Description des différents mécanismes

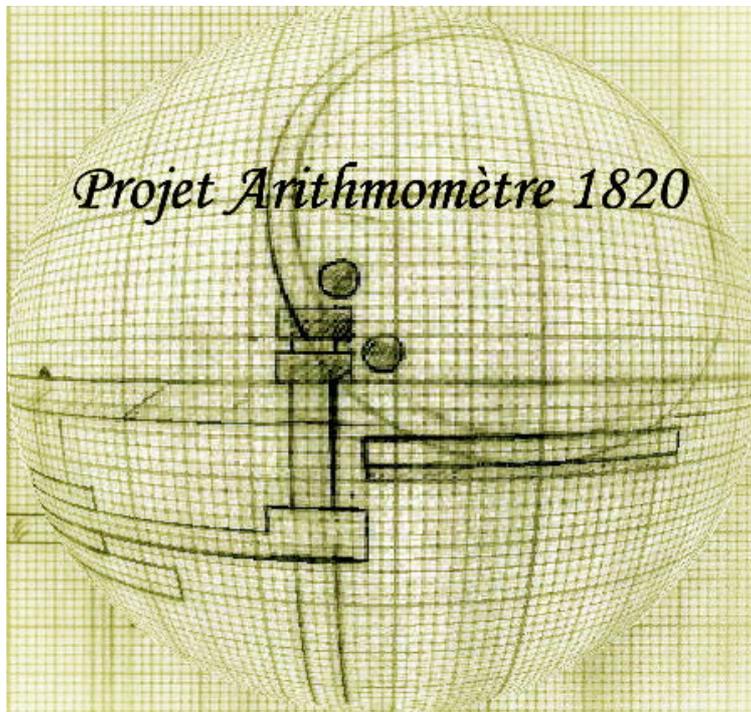
- Les cylindres de « Leibniz »
- Mécanisme d'entraînement
- Les pignons **k,p,m,n**
- Dispositif de retenue
- La roue multiplicatrice
- Le chariot mobile

IV) Organisation du projet

- Modélisation 3D
- Soutien du projet
- Recherche de partenariats
- Commercialisation

V) Annexes

- Brevet corrigé avec nouvelles planches
- Brevet original



Introduction

**Une histoire de rencontre
Petit aperçu historique
Le projet**

~

Introduction

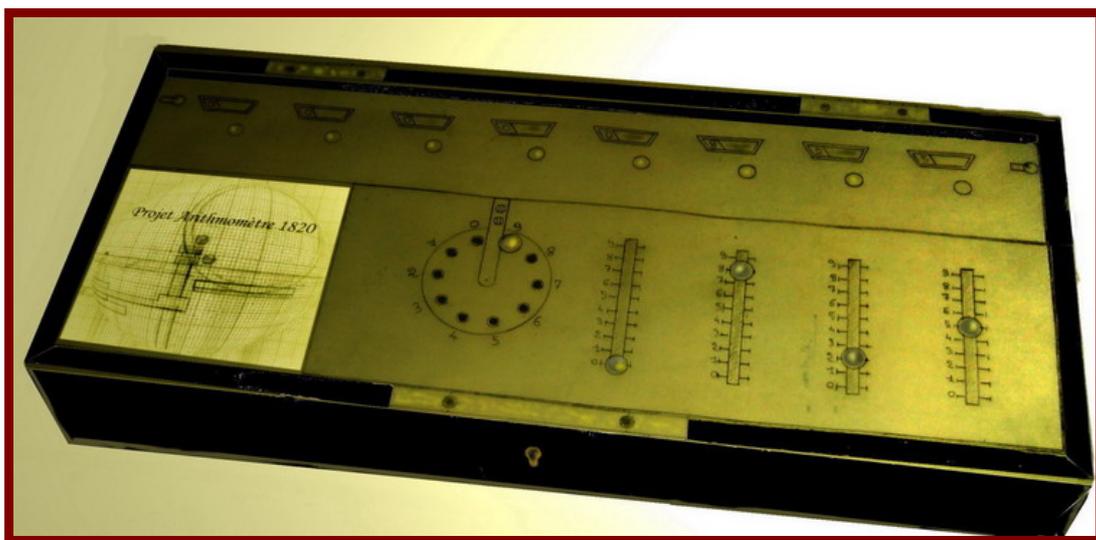
I) Une histoire de rencontre

Le projet « **arithmomètre 1820** » est né de notre rencontre, celle de deux passionnés. A la suite de nombreux échanges, nous nous sommes intéressés aux techniques mises en œuvre dans les premières machines de Thomas de Colmar (1820-1822-1850).

L'étude approfondie du brevet de 1820 nous a permis de mettre en évidence un certain nombre d'incohérences. Nous avons rapidement démontré qu'une machine construite en suivant aveuglément ce brevet ne pouvait pas fonctionner. Il s'en est suivi un certain nombre de questions : Thomas a-t-il délibérément introduit des erreurs dans son brevet pour tromper une éventuelle concurrence ? Ces erreurs sont-elles le fait du rédacteur ou du dessinateur du brevet ? Thomas a-t-il commis des erreurs de conception ? Dans ce cas, a-t-il construit une machine en 1820, avant ou après la rédaction du brevet ? Cette machine fonctionnait-elle ? Pourquoi la machine de 1822 est-elle si différente de celle décrite dans le brevet de 1820 ? Aurait-il pu exister une machine intermédiaire, plus proche de celle du brevet ? Quelles en auraient été les caractéristiques, les défauts ?.

C'est pour tenter de répondre à ces questions que nous avons entrepris d'apporter quelques corrections au brevet de 1820. Sans toucher à l'esprit même de la machine, nous avons recherché les modifications, les moins intrusives possibles, qui suffisent à la rendre viable.

Voici donc la description de cette machine hypothétique, mais fonctionnelle. Elle se révèle aujourd'hui à nous dans toute sa dimension historique ; la machine est magnifique !



Vue artistique de l'arithmomètre 1820
Photomontage de Valéry Monnier

II) Petit aperçu historique

Le 18 novembre 1820, Charles-Xavier Thomas de Colmar, dépose le brevet N° 1420 d'une machine « propre à suppléer à la mémoire dans toutes les opérations d'arithmétique » :

l'arithmomètre est né !

Sa vie durant, Thomas ne cessera d'améliorer sa machine. Plusieurs modèles se succéderont. Des brevets seront déposés.

Pour en assurer la promotion, il n'hésitera pas à offrir aux grandes têtes couronnées d'Europe de magnifiques machines aux boîtes richement décorées. Un spectaculaire modèle à 30 chiffres, surnommé « Piano arithmomètre » fut même présenté à l'exposition universelle de 1855.

Les sommes dépensées seront probablement considérables, et les retombées commerciales encore limitées.

Finalement, de son vivant, Thomas de Colmar récoltera plus de distinctions et de prix que de dividendes liés la vente de ses machines !

Mais son immense fortune le mettait à l'abri ...

C'est plus tard, vers 1880-1900 que l'arithmomètre connaîtra son âge d'or, avant de disparaître peu à peu, vers 1915, victime de la concurrence.

III) Le projet

Le projet « **Arithmomètre 1820** » a pour objectif la modélisation et la construction de la machine dessinée par Thomas de Colmar dans son premier brevet de 1820.

Ses caractéristiques sont uniques !

« En mettant en œuvre, sous une forme nouvelle, certains organes antérieurement connus, combinés à d'autres, nouveaux, il est parvenu à établir une machine excellente au point de vue pratique, ce à quoi nul n'avait réussi avant lui » / **Maurice d'Ocagne**

Trop souvent confondue avec le modèle 1822, dont un exemplaire est conservé au *Smithsonian Institute* de Washington (NMAH), le moment est venu de lui redonner la place d'honneur qui lui est due !

Sur le plan technique, elle est pourtant si différente !

Sans vouloir rentrer ici dans le débat, on considèrera que le modèle 1822, très avancé par rapport au brevet initial, est un modèle de 2^{ème} *génération*, dont le *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale* de novembre 1822 définit les caractéristiques détaillées.

Une analyse comparative des deux machines fera l'objet d'une étude prochaine !

La machine de 1820 a-t-elle été construite ?

Deux hypothèses s'offrent à nous :

- Celle-ci n'a jamais vu le jour, car les plans révèlent de nombreuses incohérences et rendent la machine inconstructible.

- Une machine « primitive » a été construite !

Le rapport fait par Mr Francoeur, en Février 1822 va dans ce sens : « ... Il [Thomas] a même successivement employé et abandonné plusieurs mécanismes qui ne remplissaient pas assez bien leur objet, avant de s'arrêter à celui qu'on voit dans la machine pour laquelle il sollicite le suffrage de la Société d'Encouragement ».

Mais nous n'en saurons sans doute jamais plus !

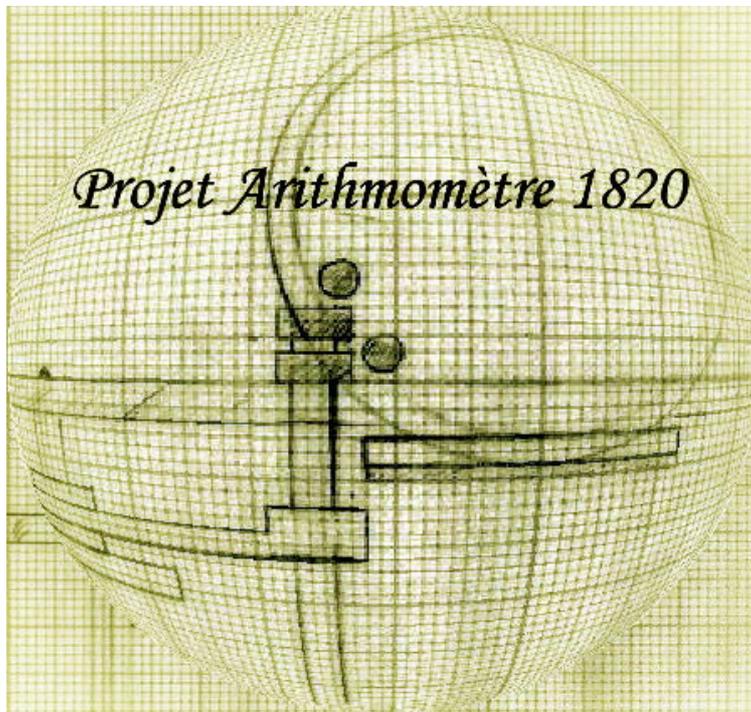
Notre passion s'est muée en mission : **redonner vie à ce fantôme mécanique.**

Ce document est le premier volet du projet

Il vise à valider les idées originales du brevet de 1820

Suivons le chemin de Thomas de Colmar ...





Présentation de la machine

**Aspect général
Fonctionnement**



Présentation de la machine

► Voir planche générale.

I) Aspect général

« Deux plaques de cuivre (*fig. 8 et 9*) assemblées par quatre colonnes, forment la cage principale (*fig. 6 e 7*), dans laquelle sont renfermés trois systèmes de mouvement, celui du **multiplicateur**, celui du **multiplicande** et enfin celui des **retenues**.

A l'extérieur de cette cage et au revers de la plaque (*fig. 10*) est adaptée une seconde cage (*fig. 3 et 4*) appelée chariot, parce qu'elle se meut de droite à gauche, et réciproquement, traînant avec elle tout son système de mouvement. Ce chariot renferme des cadrans montés sur des arbres à pivots, sur lesquels sont gravés des chiffres pour indiquer les résultats des opérations. »

II) Fonctionnement de la machine

« Supposons qu'on veuille multiplier 2907 par 3068, on commence par poser, en tournant les boutons **f'** (*fig. 1*) tous les chiffres à zéro, en cas qu'ils eussent été dérangés ; on tire le bouton **e'** à multiplication , on pousse les bouton **q'** aux chiffres indiqués par le multiplicande, ainsi qu'ils sont déjà posés sur les fentes **p** (*fig. 1*); on pose ensuite la cheville **g** (*fig. 1, 13 et 14*), sur le chiffre 8 du multiplicateur **e** (*fig. 1*), et on tire alors le cordon de soie , jusqu'à ce que cette cheville s'arrête à zéro. Ce mouvement fait tourner la roue **c** (*fig. 7 et 9*), quatre fois, et celle-ci fait faire huit tours aux cylindres **i** (*fig. 2 et 7*), et comme les roues **k** (*fig. 2 et 6*), ont été menées par les boutons **q'** (*fig. 1*), aux points où les cylindres n'avaient que le nombre de dents indiqué par les chiffres sur lesquels ils sont placés, il est clair que ces roues ont fait huit fois autant de crans que chaque cylindre avait de dents. Comme, sur les mêmes arbres, il existe de semblables roues, qui engrènent dans celles des cadrans du chariot, ces divers mouvements ont été transmis aux cadrans qui ont., successivement montré les chiffres correspondant au nombre de crans faits par chaque roue, et toutes les fois, en passant sur un zéro, les petites chevilles **t** (*fig. 2 et 4*), ont tendu les ressorts à boudin, et les cliquets **s** (*fig. 2, 18, 19, 21 et 24*), ont aussitôt empêché les ressorts de se détendre et ont gardé, par ce moyen, les roues **p** (*fig. 2, 6 et 18*), dans la direction de la dent isolée des cylindres, pour que, ceux-ci leur fissent faire un cran à chaque révolution quand il fallait exercer une retenue.

Les bras, ou chevilles **v** (*fig. 2*), détendent immédiatement les ressorts de manière qu'à chaque révolution les roues formant les retenues désengrènent : par ce moyen, à chaque passage de zéro, une dizaine se trouve ajoutée au chiffre de gauche: Les cadrans montrent donc le nombre 23,256, qui est le produit de, 2907 par huit.

Le dernier chiffre à droite du produit ne devant plus participer à aucun mouvement, on tire, ainsi qu'il a été dit, le chariot de gauche à droite, pour dégager le dernier cadran, qui porte le chiffre 6, lequel est, par conséquent, remplacé par celui qui porte le chiffre 5; celui-ci l'est par l'autre, et ainsi de suite.

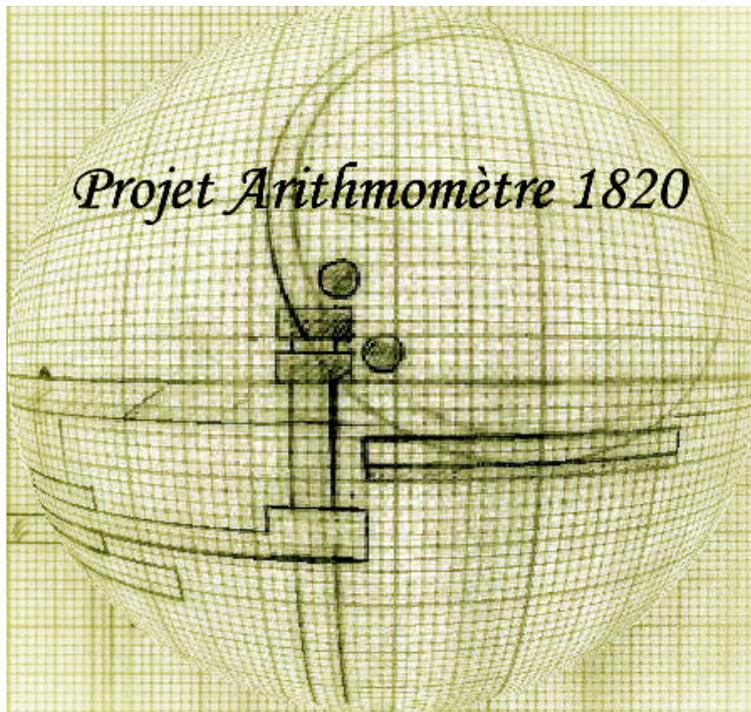
Cette opération terminée, on en fait une semblable pour multiplier par six, qui sont les dizaines du multiplicateur, c'est-à-dire qu'on pose la cheville sur 6, et qu'on tire le cordon , ce qui donne la multiplication de 2908 par six, et comme les cadrans portent déjà la somme de 23,256 le produit de la nouvelle multiplication s'ajoute à cette somme, seulement aux quatre chiffres de gauche, ce cinquième ou l'unité ayant été désengrené; ce qui donne un produit de 197,676, qui est le résultat de la multiplication de 2907 par 68.

On continue ainsi son opération, qui, comme on le voit, est absolument la même qu'en arithmétique.

Le troisième chiffre du multiplicateur étant un zéro, on n'a rien à faire pour ce chiffre, seulement, avant de multiplier par le quatrième chiffre 3, qui est ici le dernier, on fait avancer de deux crans le chariot pour désengrener les trois chiffres de droite, afin que le produit des mille s'ajoute à la somme déjà obtenue, à partir des mille ou du quatrième chiffre, comme cela se pratique dans le calcul ordinaire. L'opération terminée, on voit le produit total de la multiplication de 2907 par 3068, qui est de 1,069,776

Il en sera de même de toutes les opérations d'arithmétique. »

~



Description des différents mécanismes

Les cylindres
Mécanisme d'entraînement
Les roues k,p,m,n
Dispositif de retenue
La roue multiplicatrice
Le chariot mobile

~

Les cylindres

~

Les cylindres de Leibniz

L'entraîneur à cylindres cannelés, inventé par Leibniz dans les années 1670, fut sans doute le plus fécond de toute l'histoire du calcul mécanique. D'abord repris par Hahn en 1770, puis par Thomas de Colmar, on le retrouvera par la suite sur un grand nombre de machines : Burkhardt, Saxonia, Madas, Tim, Archimedes, Austria. Il terminera son histoire en apothéose dans la magnifique Curta de Kurt Hertzstark, produite jusqu'en 1972.

"A la différence de la machine de Leibniz, ces cylindres sont fixes en translation. Ce sont au contraire les pignons qui sont mobiles. Le principe est le suivant : le curseur d'inscription entraîne une fourchette qui déplace un pignon parallèlement à la génératrice du cylindre entraîneur. Suivant la position du curseur, le pignon engrène sur un nombre variable de dents. Comme il coulisse sur un arbre carré, il entraîne le totalisateur, par l'intermédiaire de pignons coniques. A chaque rotation complète de la manivelle, le cylindre entraîneur accomplit une révolution et fait avancer le totalisateur d'une quantité égale au chiffre inscrit au curseur correspondant" / *Jean Marguin*

Au fil de ses brevets, Thomas de Colmar modifia la structure de ses cylindres.

Si les descriptions faites à partir de 1850 sont claires et précises, il n'en va pas de même pour la machine de 1820. Lorsqu'on l'étudie avec minutie, on s'aperçoit que de nombreuses erreurs s'y sont immiscées, rendant incompréhensible le fonctionnement de la machine.

Le rédacteur du brevet disposait sans doute de peu d'éléments, à moins qu'il ne cherchât à détourner de la vérité tout contrefacteur !...

Alors ! **Monsieur Thomas** !! Que s'est-il passé ?

Brevet N° 1420 de 1820

14 dents ? !!!

" sont montés des cylindres i, qui sont découpés dans leur longueur, comme on le voit de manière à présenter quatorze dents pointues, plus ou moins longues ; 4 de ces dents sont coupées dans toute la longueur du cylindre , et les dix autres vont en diminuant, chacune , de la dixième partie de la longueur du cylindre, et les deux dernières sont de même longueur ..."

On ne comprend pas bien à quoi servent ces quatre dents !

I) Anatomie du cylindre

A) Les dix belles dents du cylindre

Dans le brevet, Thomas nous explique que le cylindre possède 4 dents sur toute sa longueur en plus des dents de longueurs inégales. On se retrouve donc avec un cylindre doté de 14 dents ! Ce qui est incompréhensible !

a) Démonstration

Reportons nous à la figure xxxxxxxx

Les roues **n** comportent deux séries de chiffre successives. Quand on veut ajouter **1**, il faut les faire tourner de **1/20e** de tour.

Pour ajouter **1**, on sait maintenant qu'il faut faire avancer la roue **n** d'une dent.

Bon !

C'est la roue **m** qui fait avancer la roue **n** (**fig. D**). Pour ajouter **1**, il faut donc faire tourner la roue **m** d'une dent. La roue satellite **k**, montée sur le même arbre, possède les mêmes caractéristiques : elle tourne aussi d'une dent.

En conséquence, quand le curseur **q** est en position 1, la roue **k** doit rencontrer une seule dent du cylindre **i** au cours d'une rotation complète de celui-ci.

Or, le brevet nous présente un cylindre possédant **quatre dents** sur toute sa longueur en plus des dents inégales.

► En position 1, la roue **k** ne va pas rencontrer 1 dent mais 1+4 dents et avancer de 5 dents au lieu de 1, ce qui fausse totalement le résultat !

Comment expliquer cette erreur ?

- Thomas pense de façon erronée que pour faire avancer une roue **n** de 20 dents avec une roue **m** de 16 dents, il faut ajouter 4 dents sur son cylindre !
- Il dessine un faux brevet pour que ses concurrents ne puissent pas reproduire la machine !
- Le rédacteur du brevet a mal interprété les notes que Thomas lui avait données.

b) Éléments de réponse

En lisant les autres brevets, et plus particulièrement celui de 1850, on a peut-être un élément de réponse !

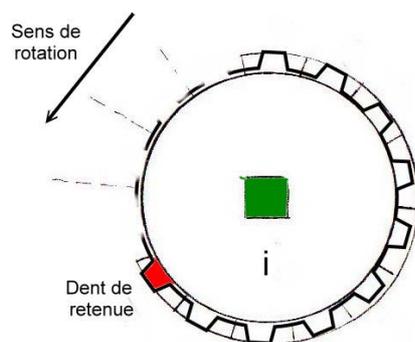
La mention "**on a coupé onze de ces dents sur toute la longueur**" signifie que les 11 dents ont été supprimées !

Quand, dans le brevet de 1820, il dit "**4 de ces dents sont coupées**", c'est peut-être qu'elles ont été **supprimées**¹ !?

Dans ce cas, la mention "**présenter 14 dents pointues**" est fausse ! Et le dessin aussi !

Conclusion :

**Il n'y a pas 14 dents mais 10 dents.
Ces 10 dents occupent 10/14 du cylindre (- 4 dents supprimées).**



¹ Dans notre langage d'aujourd'hui, quand on crée une dent, on la taille. Est-ce l'analogie entre tailler et couper qui nous induit en erreur ? Nous utiliserons la locution « supprimer une dent » pour ne pas entretenir l'ambiguïté.

B) Le pont de report

Pour que le report suscité par le passage à zéro du totalisateur de la décade n se produise, il faut que le pignon p de la décade $n+1$ tourne d'une dent.

Or le pignon p est lié en rotation au pignon k . Il faut donc attendre pour agir sur p que k ait terminé son office, c'est à dire que tout ce qui était à ajouter dans la décade $n+1$ ait été ajouté

et qu'il ne reste plus que le report à faire. Ceci revient à dire que lorsqu'on agit sur p , l'arbre qui le porte doit être devenu libre de tourner, c'est à dire que le pignon k ne doit plus être en prise avec aucune autre dent du cylindre i .

- **1ère conséquence** : la dent supplémentaire de report doit se trouver après les autres dents de la même décade.

Ce report étant exécuté, la roue totalisatrice de la décade $n+1$ est peut-être passée de 9 à 0 sous l'effet du report, ce qui nécessite un report sur la décade $n+2$.

Au moment où ce report se décide, il faut que la dent de report de la décade $n+2$ ne soit pas encore entrée en contact avec son propre pignon p , et que le mécanisme ait le temps d'agir. Ce processus de report en chaîne s'appelle **le pont de report**.

- **2ème conséquence**, le cylindre de la décade $n+2$ doit être décalé en rotation d'au moins une dent par rapport au cylindre $n+1$. La cheville t placée sous la roue totalisatrice doit être aussi proche que possible du chiffre 9 pour laisser un maximum de temps au mécanisme d'agir.

Si la section de pose possède 4 décades le dernier cylindre sera décalé de 3 dents par rapport au premier cylindre.

Il faut donc que la manivelle n'ait pas encore fini son tour quand le quatrième cylindre pose son report. Au moment du début du report de la quatrième décade, le premier cylindre a continué de tourner de trois crans. Il ne doit pas avoir entamé son second tour quand le dernier report se termine (quatre crans).

- **3ème conséquence** : Les cylindres doivent avoir un espace sans dent correspondant au minimum au nombre de décades du registre de pose. Il est donc légitime de supprimer quatre dents sur le cylindre de cette machine.

C) Une dent de retenue décalée

Le décalage de la dent de retenue dérive des principes suivants :

- Il ne faut jamais que les roues **k** puissent rencontrer dix dents, sinon le calcul est faux (on ajoute 10 au lieu de neuf).
- Comme le report peut être mis en mémoire à tout moment du cycle, il ne faut pas que la roue **p** puisse rencontrer plus d'une dent.

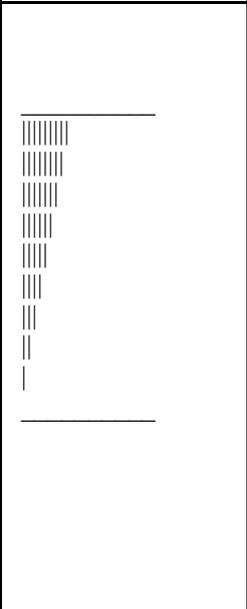
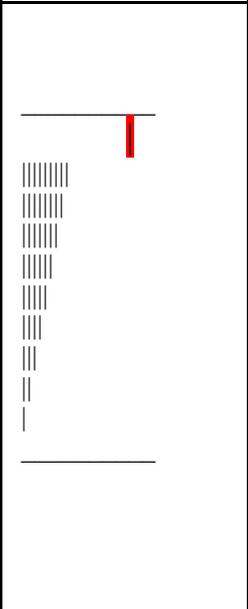
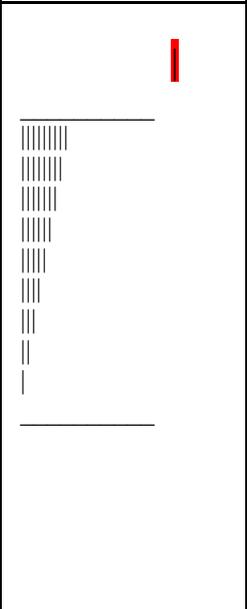
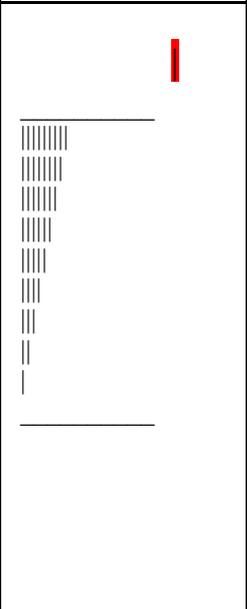
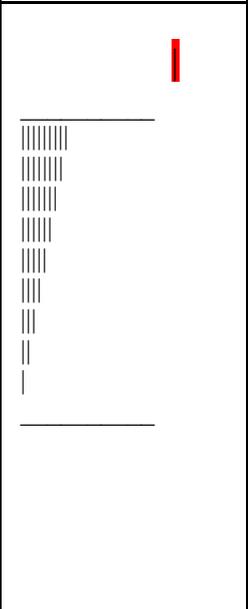
En conséquence, on peut bien avoir « **deux dents courtes de longueurs égales** » mais elles sont tout simplement décalées !

Si on regarde bien ce qui s'est fait plus tard, la dixième dent décalée deviendra **une dent spécialisée externe au cylindre lui-même et située dans le prolongement de son axe**.

Cela réintègre notre machine dans une réelle perspective historique puisqu'elle est LE chaînon manquant entre le cylindre de Leibniz à 9 dents et la préfiguration de ce que sera le système de retenue dans les machines suivantes.

II) Evolution des cylindres chez Thomas

A) Migration de la dent à l'extérieur du cylindre

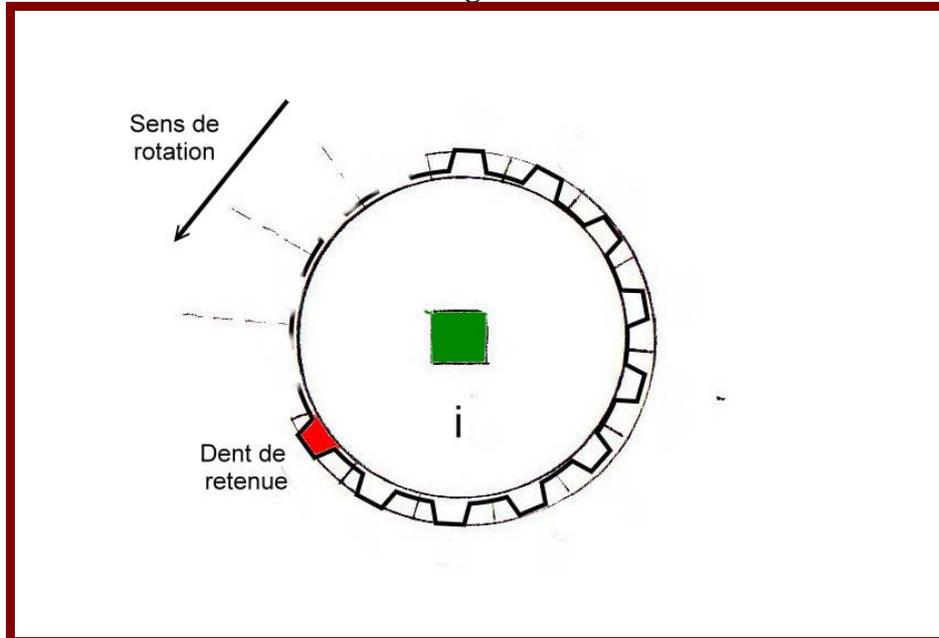
Leibniz	1820	1822	1850	1865-1880
				

B) Evolution du nombre de dents sur les cylindres

Date	Nombre de dents	Description	Occupation du cylindre
Liebniz	9	9 cannelures de longueur croissante	?
1820	10	Dix dents, dont la dernière impliquée dans la retenue (10/14 du cylindre)	10/14
1822	18	18dents, coupées deux à deux, à des longueurs qui forment un neuvième, deux neuvièmes, trois neuvièmes	18/36 moitié de la circonférence
1849	9	"cannelés seulement sur les neuf vingtièmes de leur surface: c'est-à-dire que la circonférence a été divisée en vingt parties et que les cannelures n'occupent que neuf de ces parties, mais elles ne règnent pas sur toute la longueur et sont coupées par neuvièmes en forme d'escalier pour représenter le chiffre du multiplicande de 1 à 9"	9/20
1850	9	11 coupés sur toute la longueur, les 9 autres sont coupés par neuvièmes, en forme d'escalier, pour représenter chaque chiffre du multiplicande, de 1 à 9. (9/20 du cylindre)	9/20
1865	9	11 coupés dans toute la longueur du cylindre, puis les 9 autres sont coupés par neuvièmes en forme d'escalier, pour représenter les chiffres de 1 à 9 (9/20 du cylindre)	9/20
1880	9	11 coupés dans toute la longueur du cylindre, puis les 9 autres sont coupés par neuvièmes en forme d'escalier, pour représenter les chiffres de 1 à 9	9/20

Les cylindres de Leibniz (Illustrations)

Fig. A



Cylindre de 10 dents

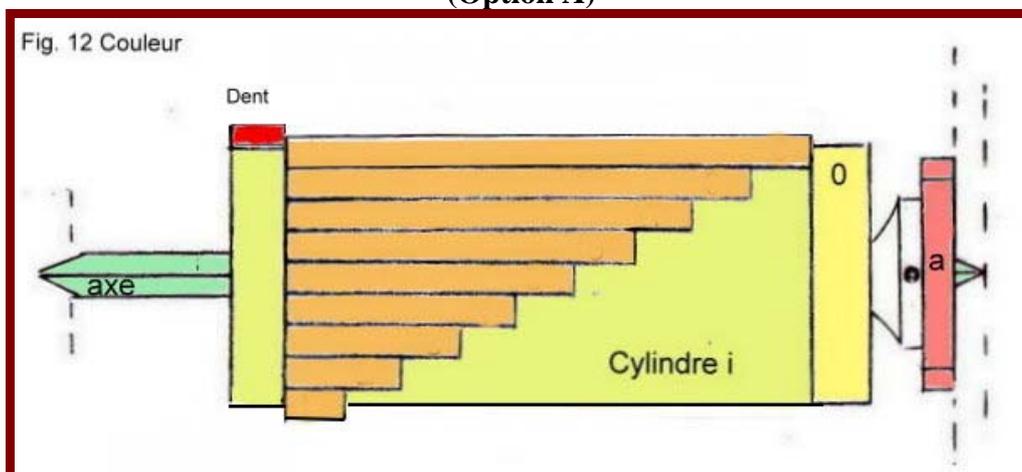
Les 10 dents occupent 10/14 du cylindre.

Le sens de rotation se fait dans le sens inverse des aiguilles d'une montre.

La dent de retenue se situe en dernier.

Chaque cylindre sera décalé d'une dent par rapport à l'autre pour le report des retenues en cascade.

**Fig. B
(Option A)**



Cylindre de profil

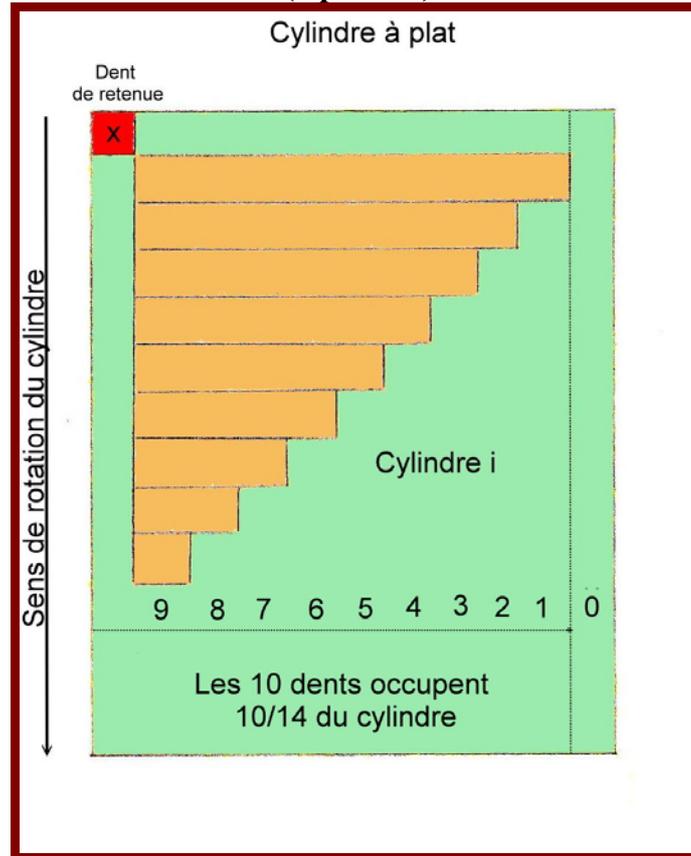
Configuration en escalier inversé (Cylindre type 1865)

Dans la rotation, c'est la plus petite dent qui arrive en premier.

Si on pose la valeur 1 au curseur, le cylindre effectuera près d'un quart de tour avant d'engrener

La dent de retenue se situe toujours en 10^{ème} position.

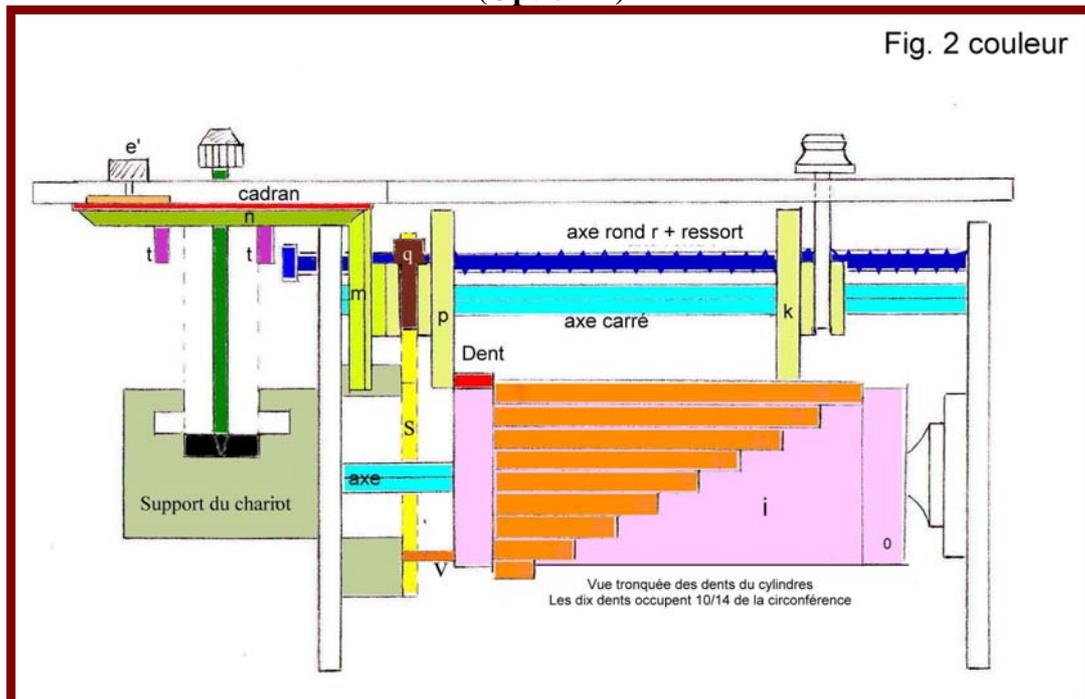
**Fig. C
(Option A)**



Vue à plat du cylindre

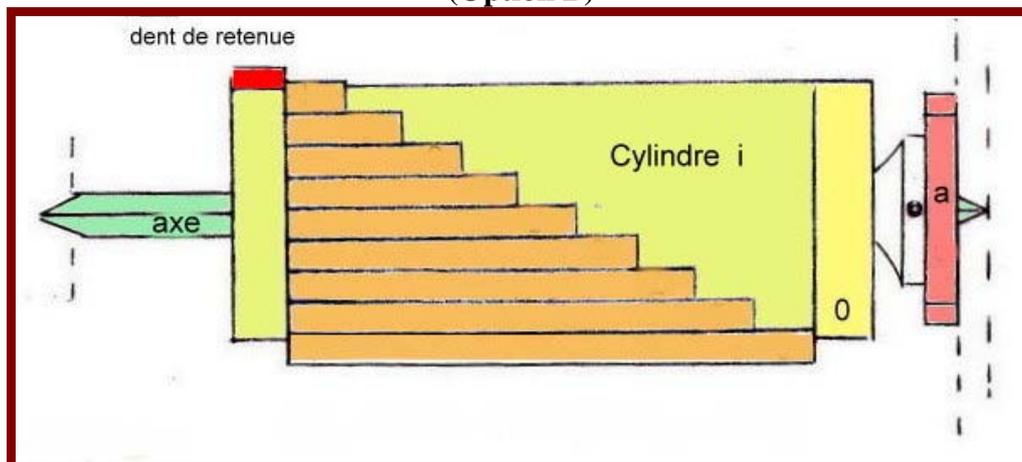
Il conviendra de définir avec précision la hauteur et l'épaisseur des dents, leur pas « primitif » et leur module.

**Fig D
(Option A)**



Positionnement du cylindre dans la machine

Fig. E
(Option B)



Cylindre de profil

Configuration en escalier (Cylindre type 1850)

Dans la rotation, c'est la plus grande dent qui arrive en premier.

Quelle que soit la valeur posée, l'engrenage est immédiat !

La dent de retenue se situe toujours en 10^{ème} position

Fig. F
(Option B)

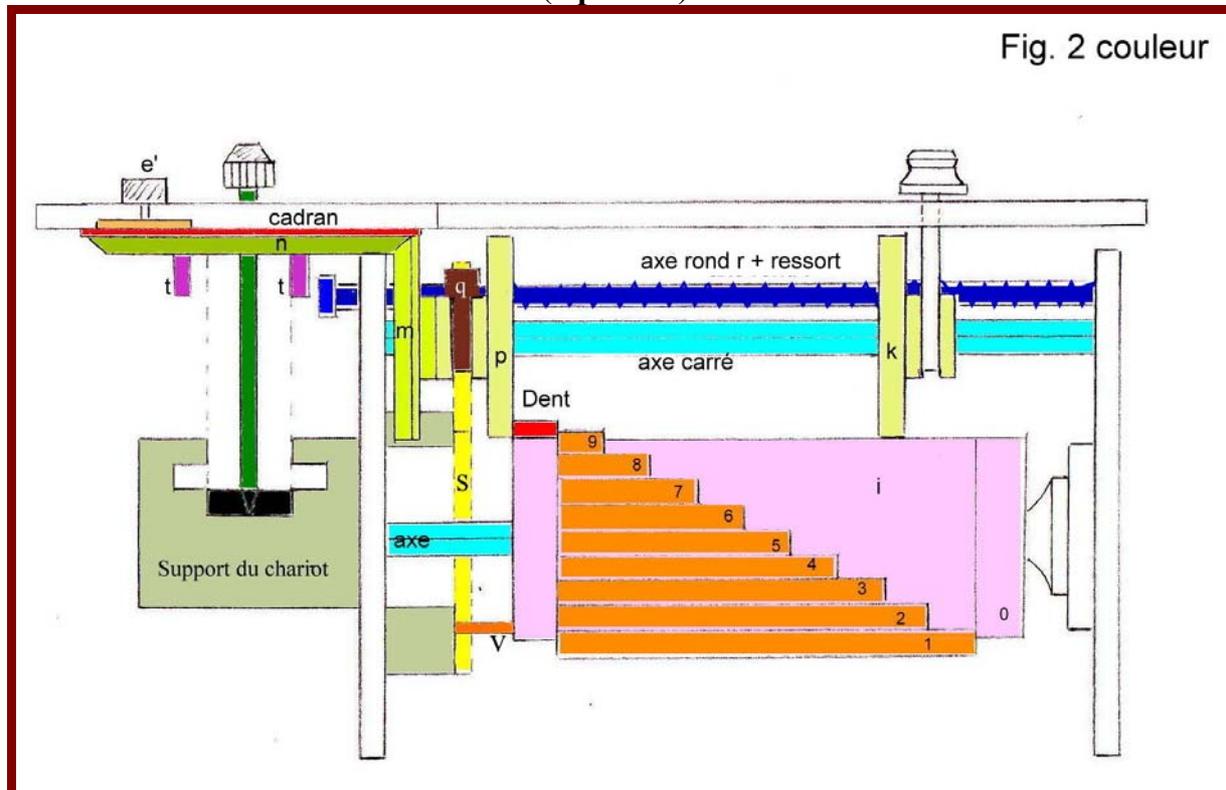


Fig. 2 couleur

Positionnement du cylindre dans la machine

Configuration en escalier (Cylindre type 1850)

Mécanisme d'entraînement

~

Mécanisme d'entraînement

Le calcul aujourd'hui nous paraît si simple ! Il suffit d'appuyer sur une touche pour que le résultat apparaisse, sans fautes : le rêve !

En cette aube du 19^{ème} siècle, Thomas n'imaginait sans doute pas que des moteurs viendraient remplacer la main humaine, ni que de petits circuits imprimés rendraient les machines si transportables !

I) Description du mécanisme d'entraînement

A) Description

Reportons nous aux figures A, B et C des pages suivantes.

Le système se compose d'une suite de roues **a**, **b** de chacune 18 dents, engrenant l'une avec l'autre. Une roue **c** de 36 dents leur transmet le mouvement, qu'elle reçoit elle-même lorsque l'on tire un ruban de soie enroulé autour d'un barillet **d** muni d'un rochet (Fig.C).

Positionné sur le même axe, un ressort spirale, fixé sur la platine, permet au cordon de retrouver sa position première.

Chaque fois que l'on tire le cordon d'**une longueur** correspondant à la **circonférence** du barillet **d**, les roues **a** transmettent aux cylindres **2 cycles de rotation**. Pour obtenir la valeur maximale (9 tours), l'utilisateur devra tirer le cordon de 4,5 fois la circonférence du barillet, soit environ 30 cm de ruban.

B) Les différents pignons en jeu

- Pignons **a**

Dans le brevet de 1820, Thomas a choisi des pignons **a** de 18 dents. Ceux-ci tournent dans le sens inverse des aiguilles d'une montre.

Rappelons nous que les cylindres **i** sont taillés sur une base de 14 dents (dont 4 ont été enlevées). Le montage serait grandement facilité si le pignon d'entraînement **a** du cylindre avait 14 ou 28 dents.

Il suffirait de tous les indexer en rotation de la même manière par rapport aux cylindres, puis de les décaler, au montage, d'une ou deux dents pour que les cylindres aient le bon décalage, et permettre le pont de report (report en cascade).

Dans le cas d'un pignon à 18 dents, c'est plus délicat car il faut ajuster la position angulaire de chacun des pignons **b** par rapport à son cylindre pour avoir le bon décalage ! Ceci implique que chaque couple cylindre-pignon a son propre réglage.

Si la machine doit être démontée pour entretien, il y a intérêt à bien repérer la position de chaque cylindre et de chaque pignon dans la machine, ainsi que la position angulaire de chaque pignon par rapport à son cylindre.

Notons toutefois que cet inconvénient n'est pas rédhibitoire pour le bon fonctionnement de la machine.

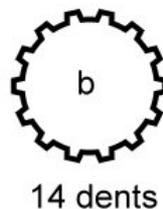
Par souci de standardisation, on retiendra la valeur 14 pour ce pignon



- Pignons **b**

Des pignons intermédiaires **b** font que les cylindres tournent dans le même sens. Le nombre de dents du pignon intermédiaire n'a pas d'importance pour le bon fonctionnement de la machine. Ce nombre dépend uniquement de l'entraxe des cylindres.

Par souci de standardisation, on retiendra la valeur 14 pour ce pignon



- Pignon **c**

La roue **c** entraîne les roues **a** et **b** d'un demi tour par cycle. Elle tourne dans le sens des aiguilles d'une montre.

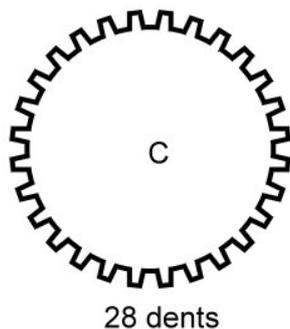
Le rapport de multiplication de l'engrenage (c, a) a deux conséquences sur le fonctionnement de la machine :

1. Plus le rapport est grand, plus l'effort de traction sur le ruban est grand. On est limité par la résistance du ruban de soie et la force que l'on souhaite mettre en oeuvre pour chaque calcul.
2. Plus le rapport est petit, plus il faut de longueur de ruban pour un cycle de calcul.

Le rapport à adopter est donc fonction du compromis que l'on choisit entre force et déplacement du ruban.

Sans aucune expérience préalable, nous adoptons le même rapport que celui de Thomas.

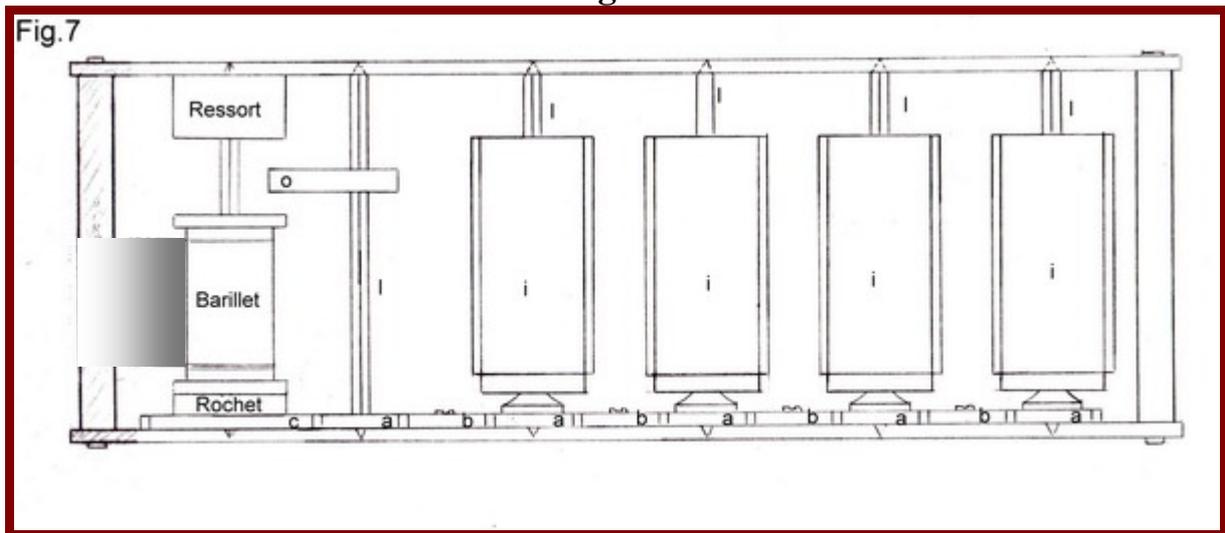
Si l'on réduit le nombre de dents des pignons **a** de 18 à 14 dents, alors la roue **c**, initialement de 36 dents passera logiquement à 28 dents.



Roues & Pignons	Qualité	Quantité	Nombre de dents
a	Pignon intermédiaire	4	14
b	Pignon de d'entraînement des 4 cylindres et de la dent o	5	14
c	Grande roue d'entraînement	1	28

Mécanisme d'entraînement (Illustrations)

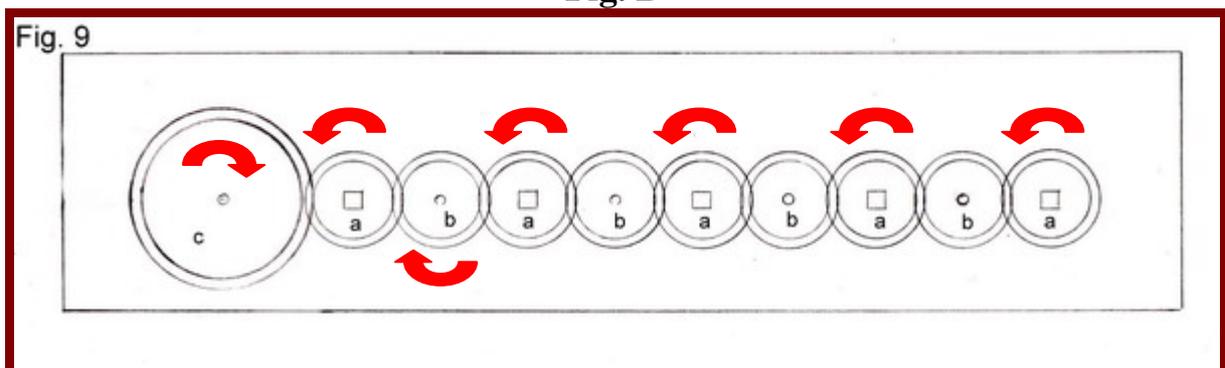
Fig. A



Vue interne de la cage principale

On distingue le système propulseur à gauche, avec le ressort, le barillet sur lequel s'enroule le cordon de soie et la roue à rochet, permettant le retour du cordon en position initiale sans provoquer la rotation des cylindres. Le cordon de soie s'enroule sur le tambour par-dessous, comme le suggère l'ombre sur le dessin.

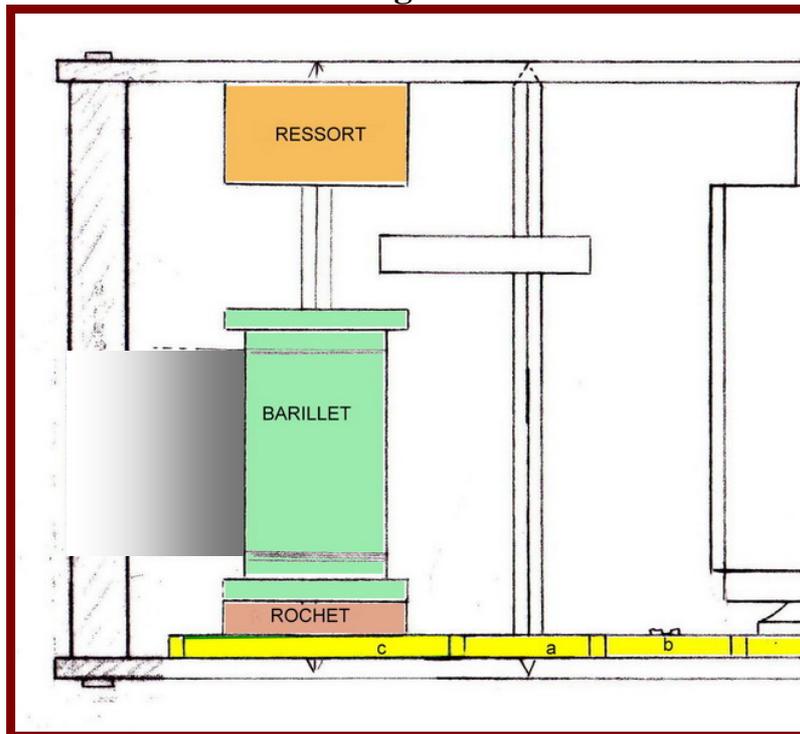
Fig. B



Vue en transparence de la platine avant

Le pignon c de 28 dents entraîne les roues a et b de 14 dents. Un tour de pignon c va générer deux tours des pignons a

Fig. C



Mécanisme d'entraînement (détail)

Les roues k,p,m,n

~

Roues **k**, **p**, **m**, **n**

I) Description

Reportons nous à la figure B de ce chapitre.

Les roues **k**, **p**, **m** tournent dans le sens des aiguilles d'une montre quand on regarde la machine depuis la droite de la figure.

A) Roues **k**

La roue **k** engrène avec les neufs dents du cylindre, mais pas avec la dent de retenue (la 10^{ème}). La roue **k** possède 16 dents. Au premier abord, on ne voit pas de correspondance entre les 9 dents du cylindre et les 16 dents de la roue **k**.

En fait, la roue **k** peut avoir un nombre quelconque de dents pour que cela fonctionne.

A chaque tour du cylindre **i**, la roue **k** rencontre autant de dents du cylindre que la position du curseur l'indique. Par exemple, si le curseur est sur la position 3, la roue **k** avancera de trois dents pour chaque tour de cylindre.

Comme la roue **k** possède 16 dents, quand le cylindre fait un tour, la roue **k**, elle, effectue 0/16, 1/16, 2/16, 3/16 ... de tour.

B) Roues **p**

La roue de retenue **p** n'engrène qu'avec la 10^{ème} dent du cylindre, lorsque la retenue s'effectue. La roue **n** avance que d'une dent maximum par révolution de cylindre. Par contre il est essentiel que la roue **p** ait le même nombre de dents que la roue **k** (pour que le report fasse tourner l'axe carré du même angle qu'une dent de la roue **k**..)

C) Roue **m**

La roue **m**, également de 16 dents, engrène avec la roue horizontale **n**, comptant, elle, 20 dents ! La roue **m** doit aussi avoir le même nombre de dents que la roue **k** pour que 1 dent du cylindre de Leibniz ou 1 report (1/16 de tour de l'arbre) fasse avancer ce pignon d'une dent.

D) Roue **n** (et cadran)

La roue **n** tourne dans le sens inverse des aiguilles d'une montre quand on regarde la platine de la machine de dessus. Elle comporte 20 dents, correspondant aux 20 chiffres du cadran. Elle avance d'1/20ème de tour à chaque unité. Quand elle a avancé de 10 dents, la roue **n** affiche le même chiffre qu'au départ, mais elle n'a fait qu'un demi tour !

Il faut donc bien deux séries de chiffres sur un tour complet.

Soit 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9

Dans ces conditions, deux chevilles **t**, destinées à déclencher le report, sont nécessaires : une pour chaque série de chiffres !

" ... Les roues dentées **n**, engrenant horizontalement avec les roues **p**, sont munies, chacune, de deux chevilles pareilles à celle **t**, dont une heurte, chaque fois que le zéro doit être visible ..."

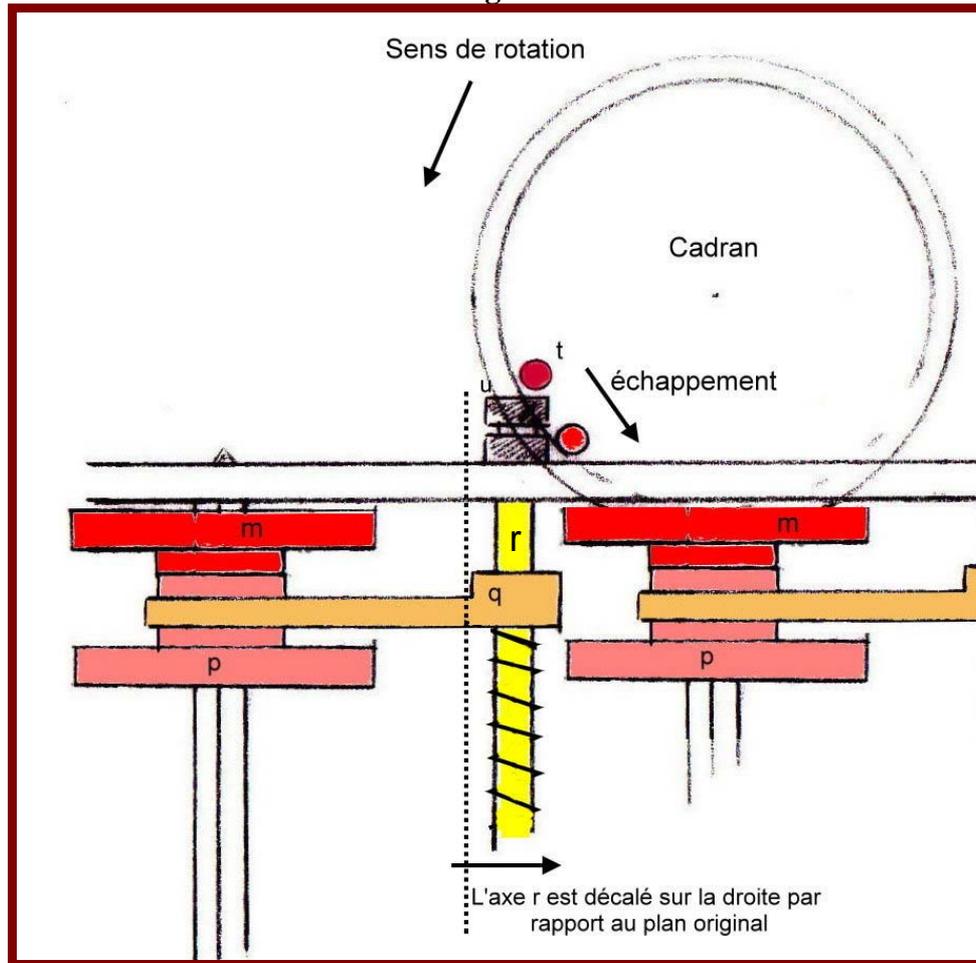
II) Problématique des roues à 16 dents

Dans le brevet initial, les roues **k**, **p** et **m** comportent chacune 16 dents et la roue **n** 20 dents.

Le positionnement de l'axe **r** est conditionné par :

- Le mouvement de rotation de la cheville **t**. Nous ne voulons pas modifier le mécanisme de report
- La poussée qu'elle exerce sur l'axe **r**
- Son échappement après avoir poussé l'axe **r**.

Fig. A



Pour satisfaire ces 3 conditions, il est indispensable de décaler l'axe **r** vers la droite, ce qui limite du même coup le diamètre potentiel de la roue **m**.
D'autre part, lorsque poussée par l'axe **r**, la fourchette **q** avance, elle ne doit pas être gênée par la roue **p** de droite.

Sachant que pour pouvoir engrener, le diamètre des roues est proportionnel au nombre de dents, on se retrouve avec l'équation suivante :

Notre épure montre que la roue **m** ne doit pas dépasser 2.4 cm de diamètre.
La roue totalisatrice **n** fait 3.8 cm environ et comporte 20 dents

La roue **m** peut-elle comporter 16 dents ?

Une simple règle de 3 nous donne le résultat suivant

$$d(3.8) = z(20)$$

$$d(2.4) = z(x)$$

$$x = 48/3.8 = \mathbf{12.6 \text{ maxi}}$$

En arrondissant à la valeur inférieure, on a une configuration de roue à **12 dents maxi** !

Conclusion :

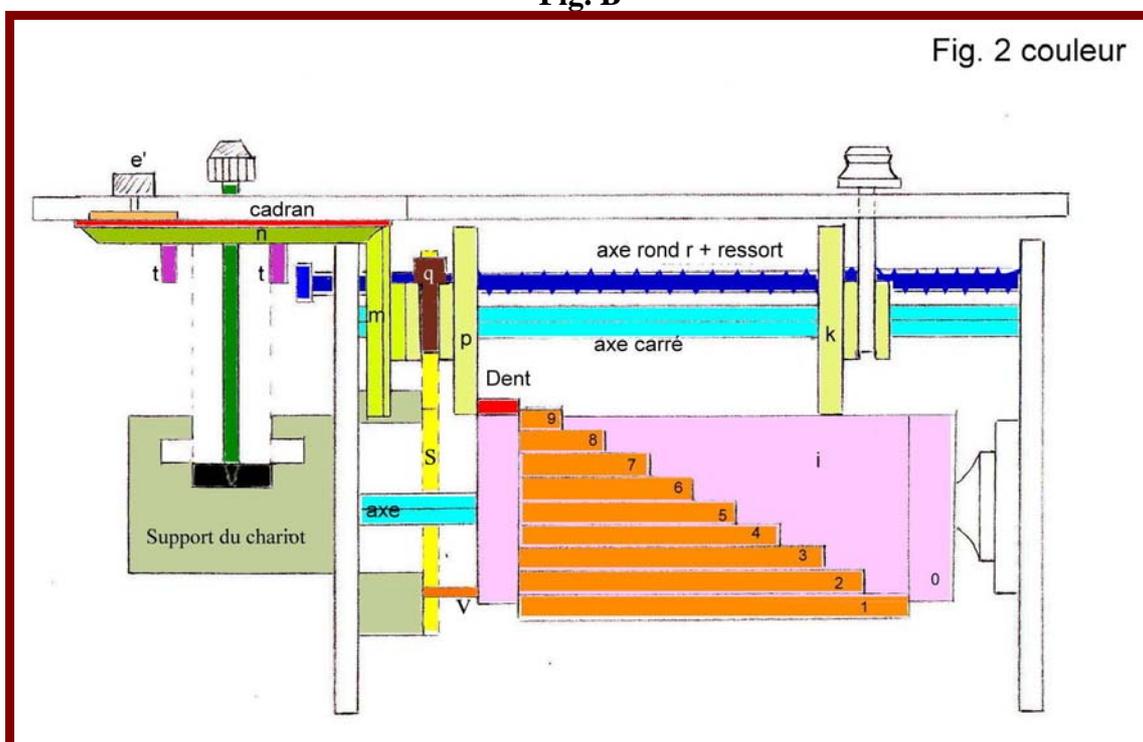
Les contraintes liées au mécanisme de retenue nous obligent à réduire le diamètre de la roue **m**.

Il faudra en conséquence réduire le nombre de dents. Le choix de **12** dents semble être approprié pour cette configuration. Les roues **p** et **k** auront la même valeur.

Nous savons que la taille de pignons de 12 dents est plus difficile que celle de 16 dents. C'est peut-être pour cette raison que Thomas avait choisi a priori 16 dents.

Roues & Pignons	Qualité	Quantité	Nombre de dents
k	Roue coulissante menée par le bouton q	4	12
p	Roue de retenue	4	12
m	Roue de transmission au cadran	5	12
n	Roue du cadran	8	20

Fig. B



Vue en coupe de la machine.

On distingue les roues k, p, m de 12 dents !! et la roue n de 20 dents !

Dispositif de retenue

~

Dispositif de retenue

I) Introduction

"Ce qui distingue la machine arithmétique d'un simple instrument de calcul et en fait véritablement une machine est l'automatisation du report des retenues. Ce sont Schikard et Pascal, qui les premiers ont imaginé des dispositifs mécaniques capables de remplir cette fonction." *Jean Marguin*

Véritable maillon faible, nombre de ces machines demeurèrent boiteuses malgré les sommes considérables dépensées (*Leibniz*).

L'arithmomètre Thomas n'a pas échappé à ce triste sort, et il fallut attendre les années 1860 pour qu'enfin un système fiable soit mis au point (Cf brevet de 1865).

Mais ceci est une autre histoire ...

II) Description du mécanisme de retenue de 1820

Reportons nous aux différentes figures de ce chapitre.

A) Déplacement

La cheville **t**, placée sous le cadran du totalisateur, va, au passage de 9 à 0, pousser un arbre rond **r**, sur lequel est fixé une fourchette **q**, et qui, par translation, va faire avancer de quelques millimètres (0.5 cm environ) la roue **p**, pour que celle-ci engrène avec la dent de retenue située sur le cylindre même (10^{ème} dent du cylindre), transmettant ainsi une unité de report à l'ordre décimal supérieur.

B) Verrouillage (2 options)

L'arbre **r** est muni d'un ressort qui tend à replacer le mécanisme dans sa position initiale. Pour que celui-ci puisse remplir sa mission le temps d'un cycle, un cliquet **s** empêche tout retour précipité !

Le brevet manque de précision quand à la position exacte du cliquet. Verrouille t'il l'ensemble par blocage de la fourchette **q** (**Option A – fig. C**) ou est-ce au niveau de l'axe **r** lui-même que le cliquet agit (**Option B – fig. D**) ?

C) Déblocage

En fin de cycle, un petit bras **v**, attaché au cylindre, va venir, par une action sur le cliquet **s**, débloquer l'arbre et le replacer dans sa position initiale.

III) Evolution du dispositif chez Thomas

A) Théorème de Thomas

« **A**, en agissant sur **B**, va, par poussée, échappement ou translation, déplacer **C**, qui va engrener avec **D** et transmettre une unité à l'ordre décimal supérieur. En fin de cycle, **X** permet à **C** de revenir en position initiale ».

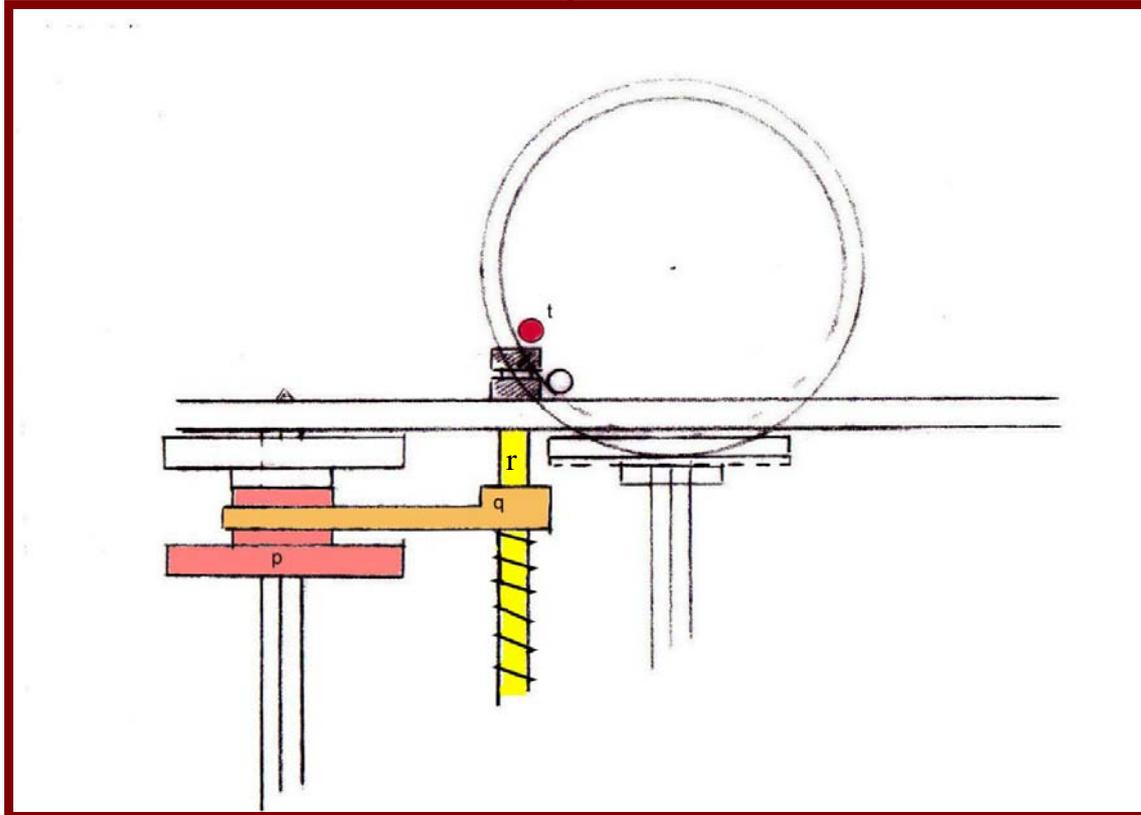
B) Explication

Au passage de la dizaine, une pièce **A**, placée sous la roue du totalisateur (Cheville, Came d'acier, Dent), va agir sur une pièce **B** (arbre, levier ...) (dite pièce intermédiaire), qui par poussée (tige), échappement (cliquet), translation (levier) va déplacer une pièce **C** (Roue ou Dent) lui permettant alors d'engrener avec une pièce **D** (Dent ou Roue), et de transmettre une unité à l'ordre décimal supérieur, c'est-à-dire au totalisateur de gauche.

Année/ Élément	1820	1822	1850	1865	1880	1908 (Aigle)
A	Cheville	Petit plan incliné	Petit plan incliné	Came	Came	Dent
B	Axe rond (verrouillage)	Cliquet / Goupille d'échappement	Levier et goupille	Levier	Levier	Levier
C	Dent (10 ^{ème} du cylindre)	Roue de retenue	Dent	Dent de retenue	Roue de retenue	Dent de retenue
D	Roue de retenue	Dent de retenue	Roue de retenue	Roue de retenue	Dent de retenue	Roue de retenue
X	Déverrouillage	Pièce inclinée	Came	Came	Came	Came

Le mécanisme de retenue (Illustrations)

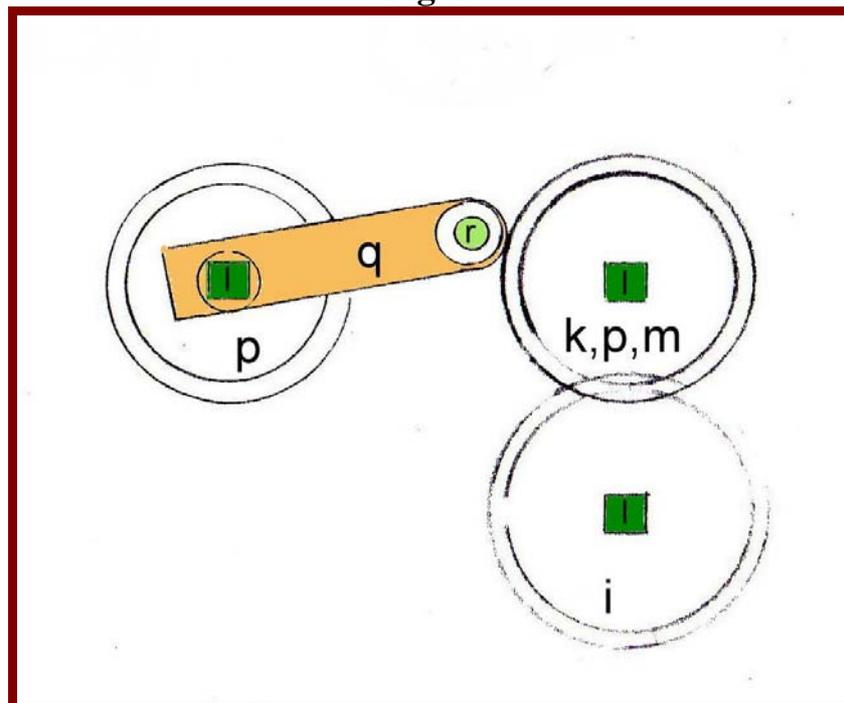
Fig. A



Principe de la retenue

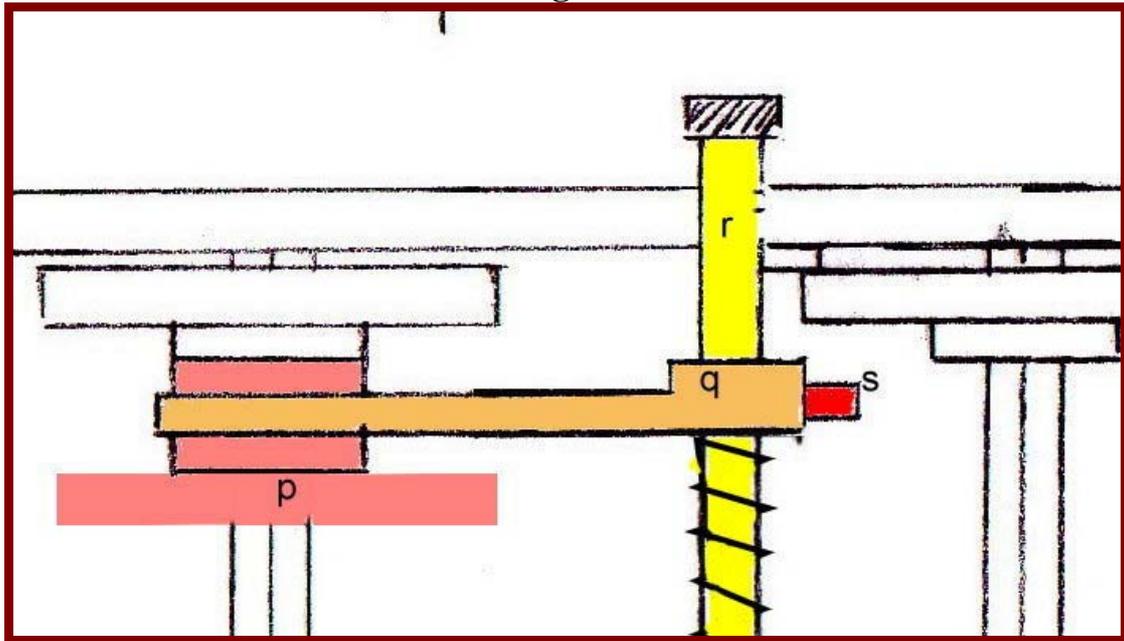
Au passage de 9 à 0, la cheville t va venir pousser l'axe r. Dans ce déplacement, la fourchette q déplace la roue p qui va pouvoir alors engrener avec la 10^e dent du cylindre (voir fig. E)

Fig. B



Vue de la fourchette q en coupe

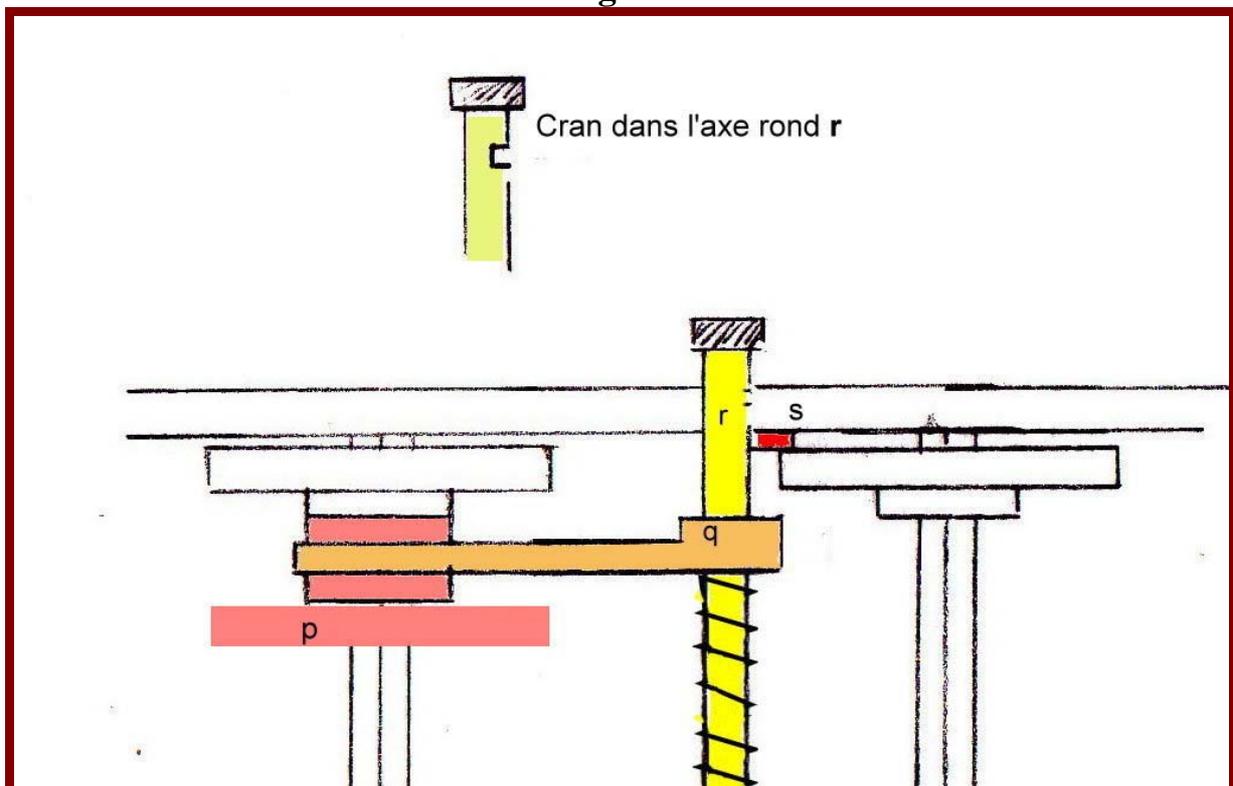
Fig. C



Système de blocage (Option A) en position de repos

Lorsque l'axe r est poussée, un cliquet s va venir bloquer la fourchette q, maintenant du même coup la roue p en position de retenue !

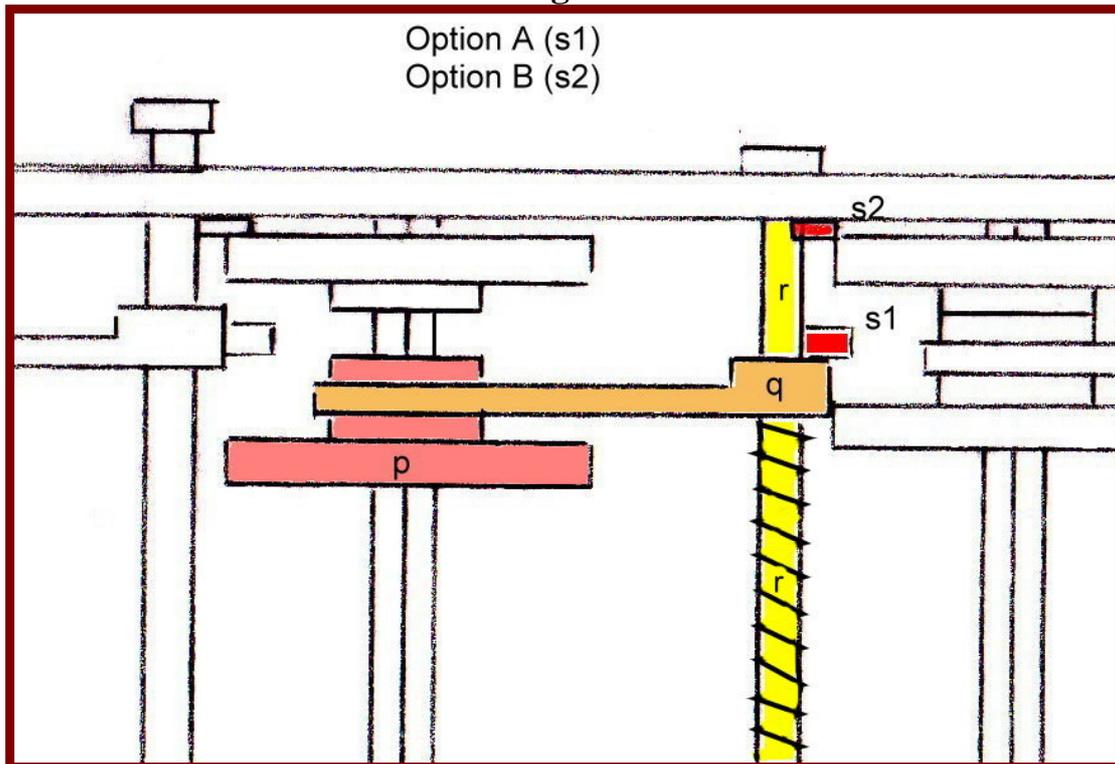
Fig. D



Système de blocage (Option B) en position de repos

Ici, un cliquet s va venir directement bloquer l'axe r en rentrant dans la fente pratiquée sur ce même axe.

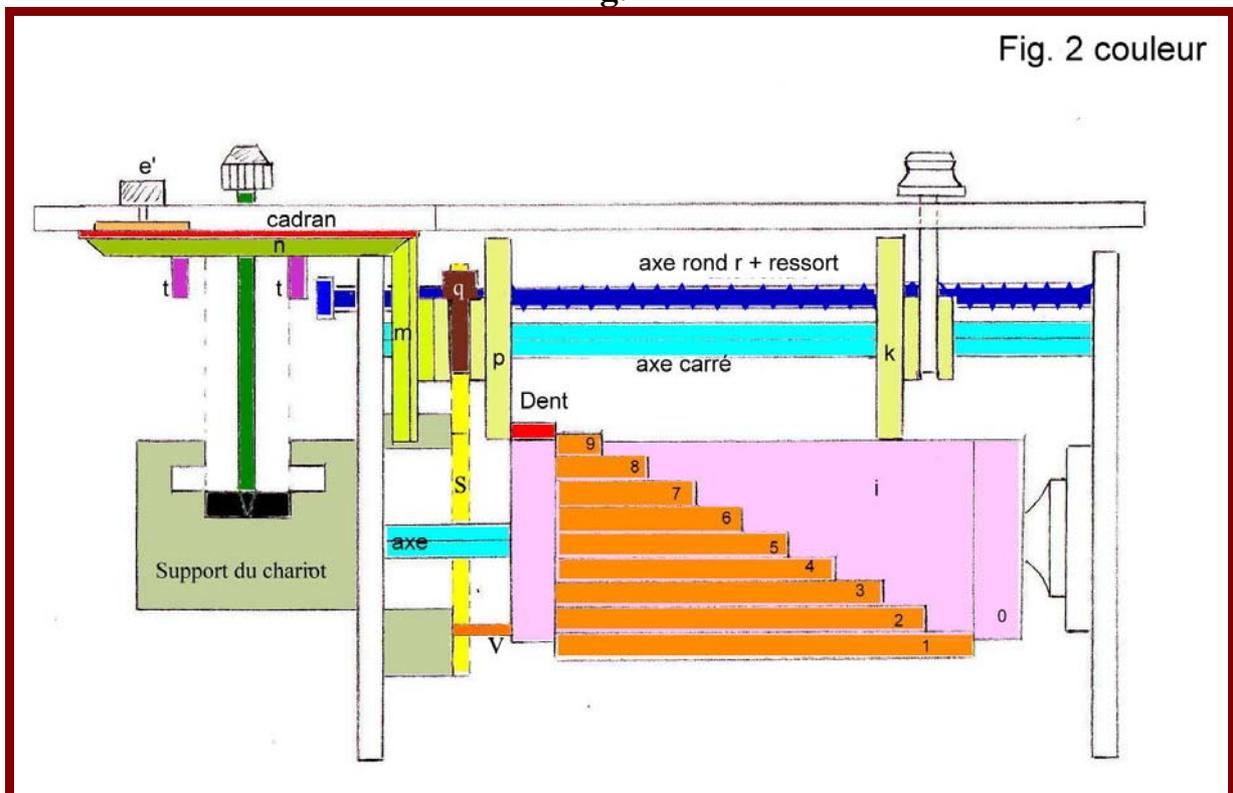
Fig. E



Systèmes de blocage (Option A et B) en position de blocage

Quelle que soit l'option, la roue est maintenue en position d'engrener avec la 10^e dent de retenue du cylindre.

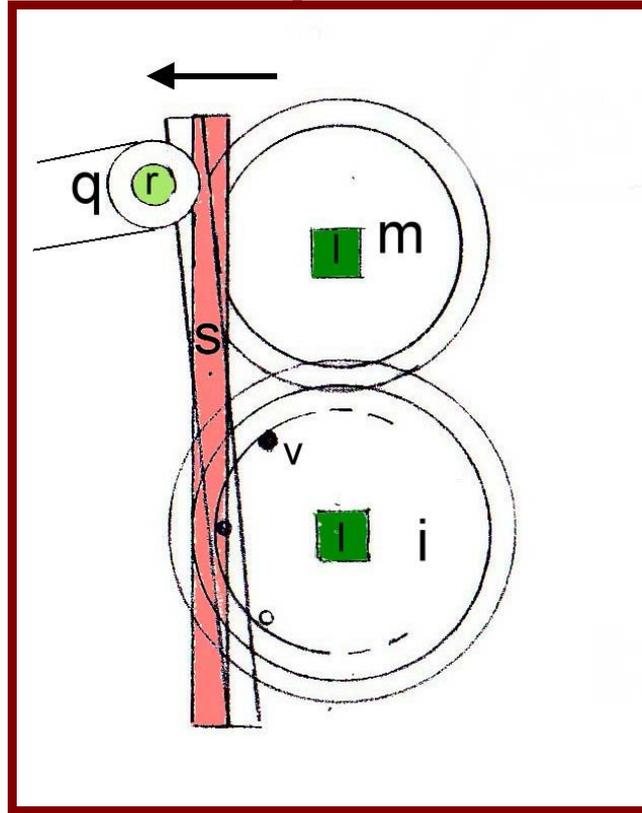
Fig. F



Vue en coupe de la machine

On voit ici la roue p décalée par rapport à la dent de retenue. Lorsque la cheville t viendra pousser l'axe r, la fourchette q viendra positionner la roue p dans l'alignement de la dent. Dans la rotation, la roue m, placée sur le même axe que p transmettra à la roue n du cadran une unité décimale.

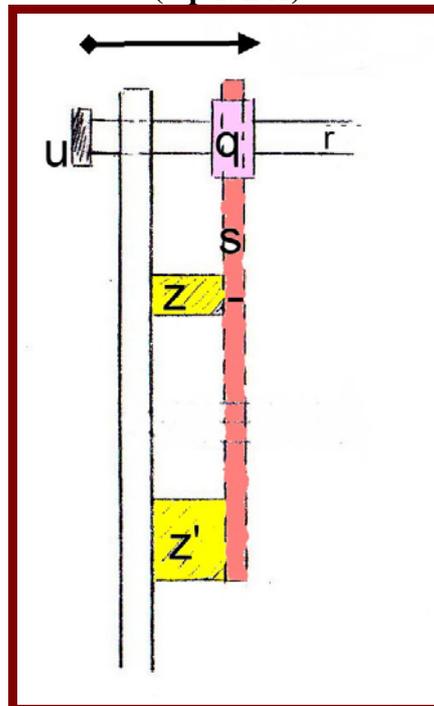
Fig. G
(Option A)



Blocage de la fourchette q par le cliquet S.

En fin de rotation du cylindre i, un bras (tige) v va replacer le cliquet t en position normale et débloquer la fourchette q, qui reviendra en position initiale sous l'effet du ressort.

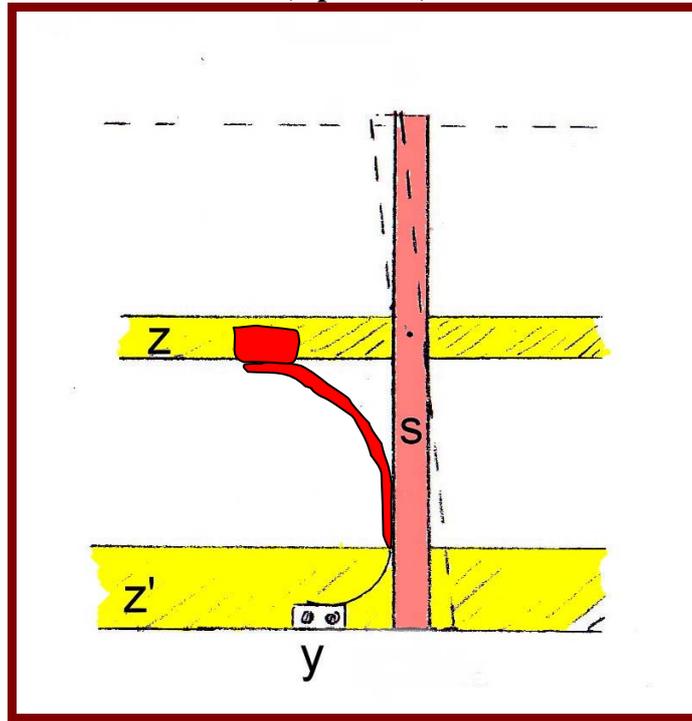
Fig. H
(Option A)



Plots z et z'

De petits plots z et z' viennent positionner le cliquet s dans l'axe de la fourchette q

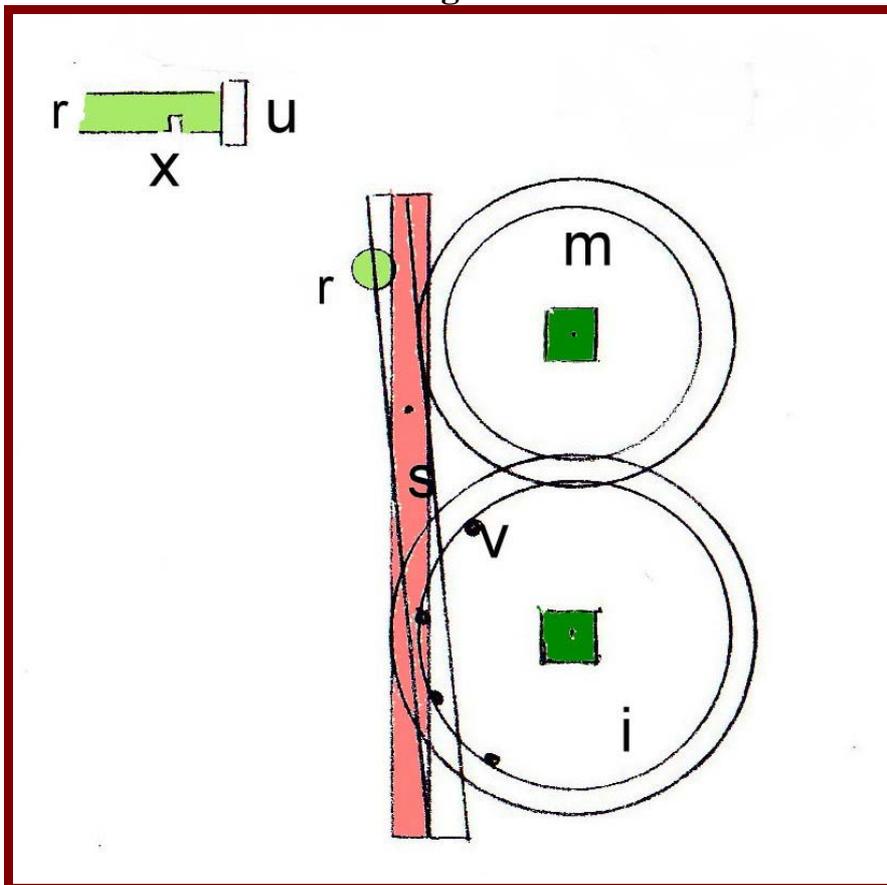
Fig. I
(Option A)



Fonction du ressort Y

Le ressort y tend à pousser le cliquet s en position de blocage de la fourchette q

Fig. J

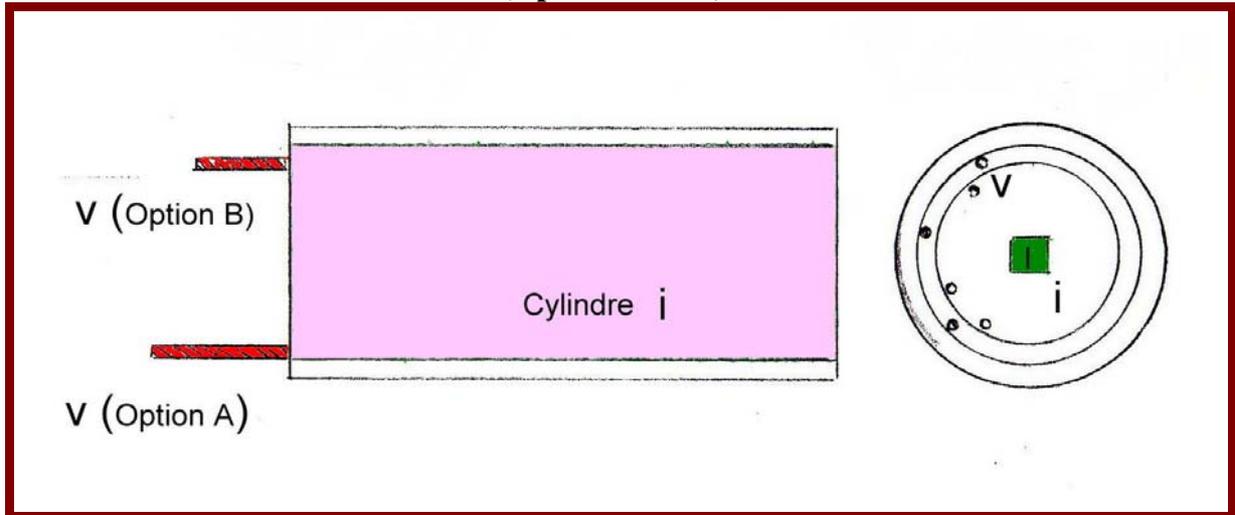


Blocage de la fourchette q par le cliquet S.

(Option B)

En fin de rotation du cylindre i, un bras (tige) v va replacer le cliquet t en position normale et débloquent l'axe r, qui reviendra en position initiale sous l'effet du ressort

Fig. K
(Options A et B)



Bras v

En fin de rotation du cylindre, la tige (bras) v, va frapper le cliquet t et le replacer dans sa position initiale

La roue multiplicatrice

~

La roue multiplicatrice

I) Introduction

Leibniz conçut la première machine multiplicatrice de l'histoire du calcul mécanique. Sa « roue » ressemble beaucoup à celle que l'on voit sur l'arithmomètre Thomas



Roue multiplicatrice de Leibniz
Machine de 1694

II) Descriptif de la roue multiplicatrice

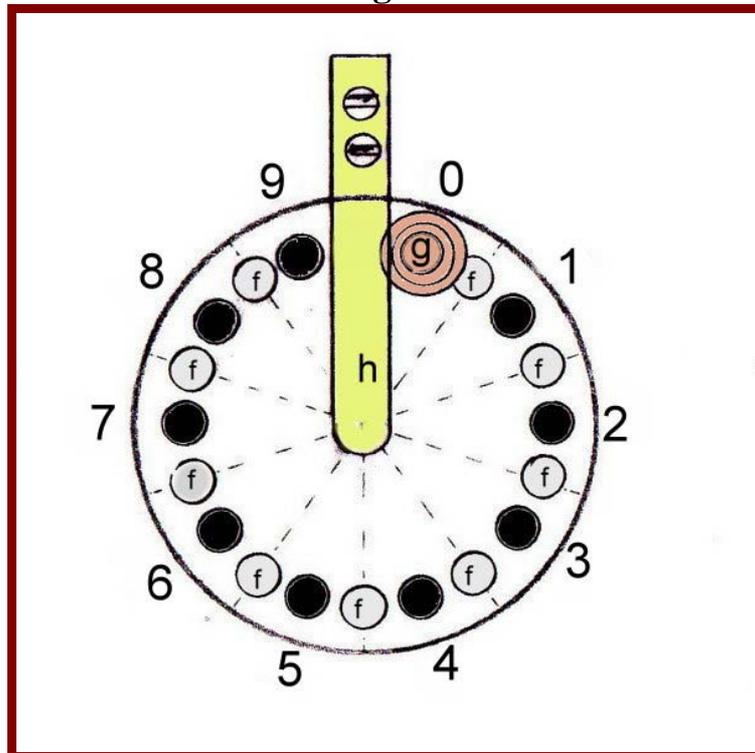
Ce système permet à l'opérateur, lorsque celui-ci tire le cordon de soie, de ne pas se préoccuper du nombre de tours effectués. C'est la roue qui définit la valeur du multiplicateur en stoppant la rotation du mécanisme d'entraînement.

A chaque tour, une dent unique **o** (Fig. **D**), fixée sur un axe carré, et tournant au même rythme que les cylindres, va venir heurter l'une des dix chevilles **f** disposées sous la roue, et la faire avancer d'un cran.

En "surface", une grosse cheville **g** se porte à volonté dans l'un des 10 trous dont cette roue est percée; de manière qu'en tirant le ruban de soie, cette cheville vienne s'arrêter à zéro en butant contre le bras **h** qui tient la roue **e** sans la gêner dans sa rotation (Fig. **A, B** de ce chapitre)

La roue multiplicatrice (Illustrations)

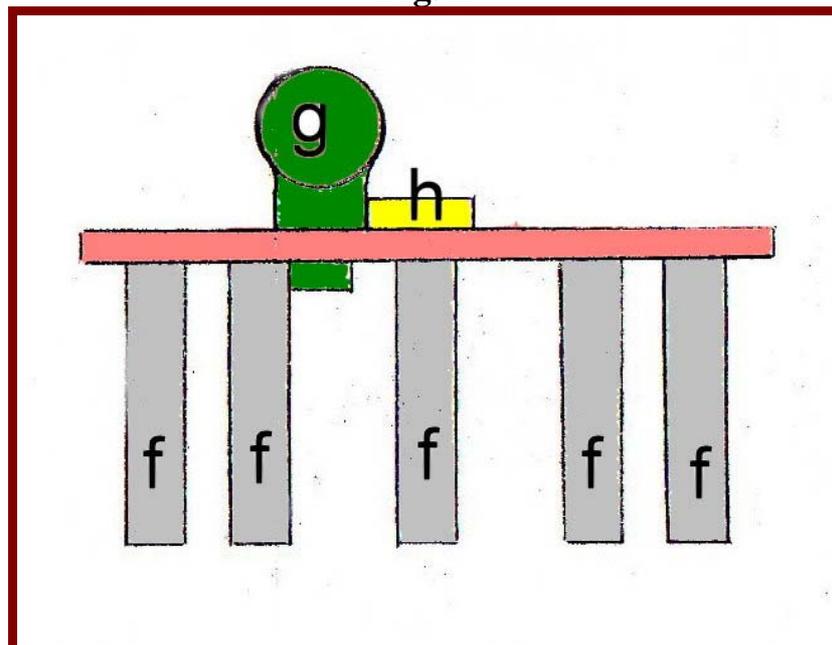
Fig. A



Roue multiplicatrice de Thomas

On distingue en noir les trous destinés à recevoir la cheville amovible g, Les 10 chevilles f qui se situent en dessous de la roue, et le bras h qui va venir bloquer la cheville amovible g lorsque la valeur du multiplicateur sera atteinte.

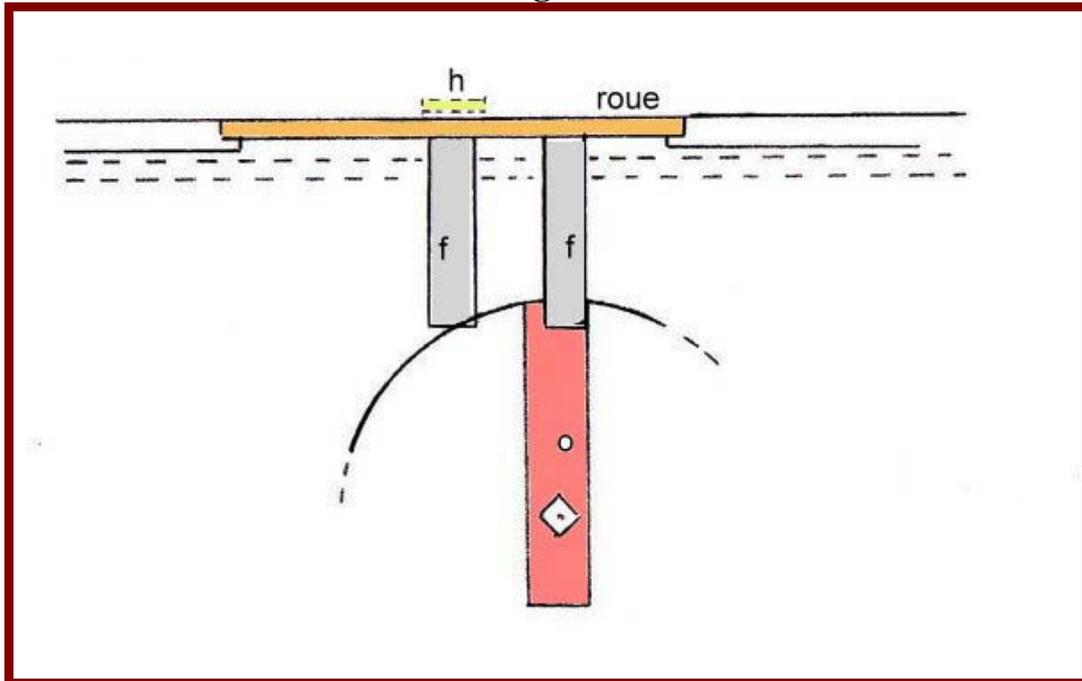
Fig. B



Roue multiplicatrice de Thomas

Les 10 chevilles f (ici 5 seulement sont représentées) vont faire tourner la roue.

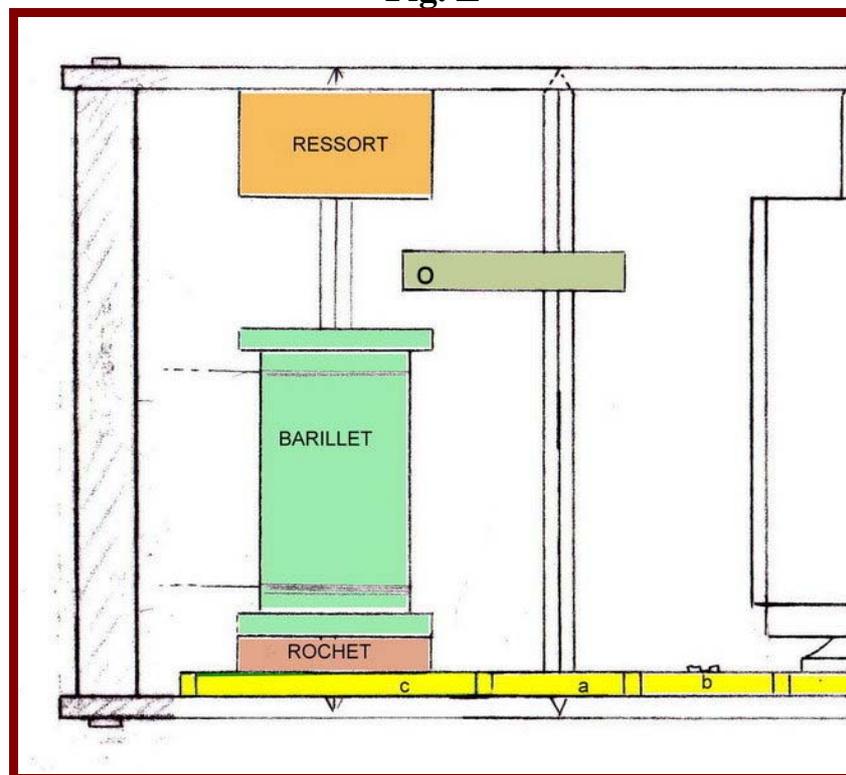
Fig. D



Détail du mécanisme

A chaque rotation la dent o, en poussant une cheville f, fait tourner la roue d'un dixième de tour.

Fig. E



Position de la dent o

Tournant comme les cylindres dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, et à la même vitesse qu'eux, la dent o va venir frapper une cheville f à chaque tour et faire avancer la roue d'un cran. En fonction de la position sur l'axe de la dent o, la rotation de la roue se fera dans le sens des aiguilles d'une montre (si elle est proche de la platine avant) ou inversement (comme sur cette Fig.). La position des nombres sur la roue multiplicatrice sera à adapter en conséquence.

Le chariot mobile

~

Le chariot

I) Description du chariot

A) De la largeur du chariot

Le chariot dessiné dans le brevet est de toute évidence beaucoup trop étroit pour contenir l'intégralité des cadrans et des roues horizontales **n**.

Il apparaît que près du tiers du mécanisme (cadrans et roues **n**, situées juste en dessous), dépassent de la platine du chariot ! (Fig. **A**).

Cela pourrait bien venir se glisser sous la platine principale, mais il deviendrait alors impossible de soulever et de déplacer le chariot, comme l'a démontré la réalisation de notre première maquette.

D'autre part, les roues horizontales **n** ne seraient plus en phase avec les roues **m** (verticales), situées à proximité immédiate de la ligne qui séparent les deux platines. Elles viendraient même buter contre les fourchettes **q** et les roues de retenue **p**.

Enfin, le fonctionnement de la retenue deviendrait impossible car les chevilles **t** exerçant dans cette configuration une poussée quasi tangentielle, ne pourraient s'échapper par rotation et viendraient bloquer la machine.

B) Positionnement des chevilles **t** (Retenue)

Si la dimension des cadrans et roues **n** conditionnent en partie les dimensions du chariot, le positionnement des chevilles **t** est d'une importance cruciale. Car c'est en poussant la tige ronde **r** que la fourchette **q** va se déplacer, et entraîner avec elle, par un mouvement de translation, la roue **p** pour la placer en position d'engrenage, donc de retenue.

Elle ira même jusqu'à conditionner l'emplacement de la tige **r**, pour que, au mieux, la poussée puisse se faire, et l'échappement aussi. !

C) Les options (types de poussée)

▪ **Poussée tangentielle**

En tournant, la cheville **t**, placée sous le cadran **c'**, va pousser l'axe **r** sur lequel est fixé la fourchette **q** ... (voir mécanisme de retenue).

Jusque là tout va bien, mais faute de pouvoir s'échapper dans sa rotation vers la droite (**Fig. D**), parce que butant contre la tête de l'axe **r** qui ne peut plus avancer, la machine va se bloquer irrémédiablement.

Une poussée strictement tangentielle est impossible dans cette configuration (**Fig.D**).

▪ **Poussée oblique**

Celle-ci est la seule viable pour notre machine !

Elle imprime une poussée suffisamment tangentielle pour que l'axe **r** avance de 3mm environ et offre un échappement suffisant pour que le mécanisme ne se bloque pas (**Fig. E**). Le champ d'opération doit se situer obligatoirement dans le quart inférieur gauche de la roue **n**, le plus à l'extérieur possible !

► Cet impératif technique a une incidence directe sur le positionnement de la l'axe **r**. Celui-ci devra être légèrement décalé par rapport au dessin du brevet initial (Optimisation du processus).

► L'autre impératif est lié au déplacement circulaire de la cheville **t**. En continuant son chemin, celle-ci va venir buter contre la platine arrière de la cage principale, et bloquer le mécanisme.

On devra pratiquer dans la platine arrière des coupes suffisantes pour permettre aux chevilles de poursuivre leur trajectoire (Planche générale : **Fig. 8 et 10**)

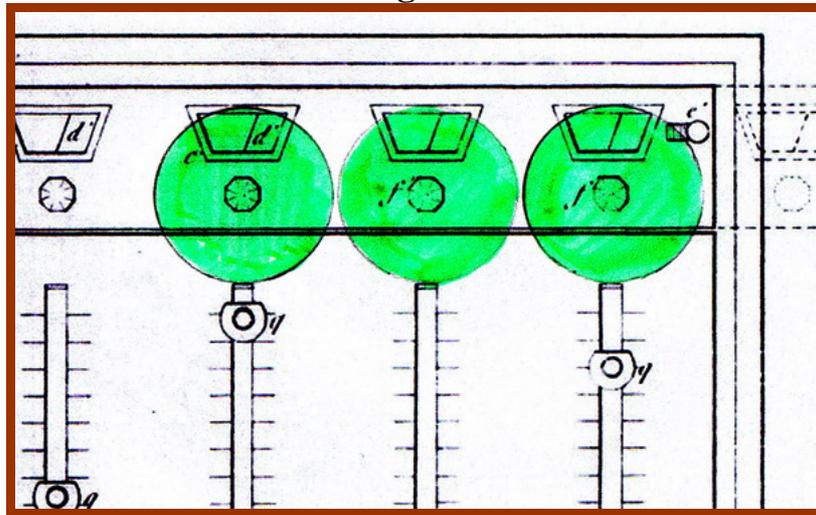
▪ **Poussée radiale**

N'effectuant aucune poussée tangentielle, cette option ne peut être employée sur notre arithmomètre !

En revanche, le principe mérite d'être cité car il est utilisé sur la machine de 1822 (**Fig. F**). Ici, l'axe **r**, maintenu par une goupille, est maintenu en position contrainte. Lorsque la goupille s'échappe au passage d'un plan incliné (qui remplace la cheville **t**), l'axe **r** avance en direction du chariot et engrène avec une dent de retenue, extérieure au cylindre.

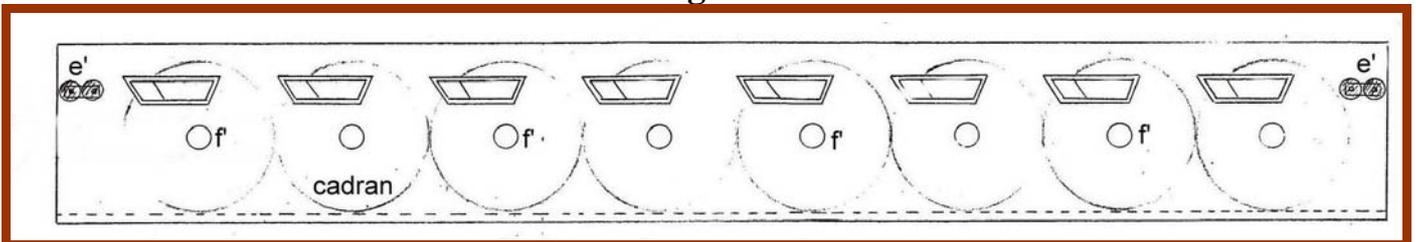
Le chariot (Illustrations)

Fig. A



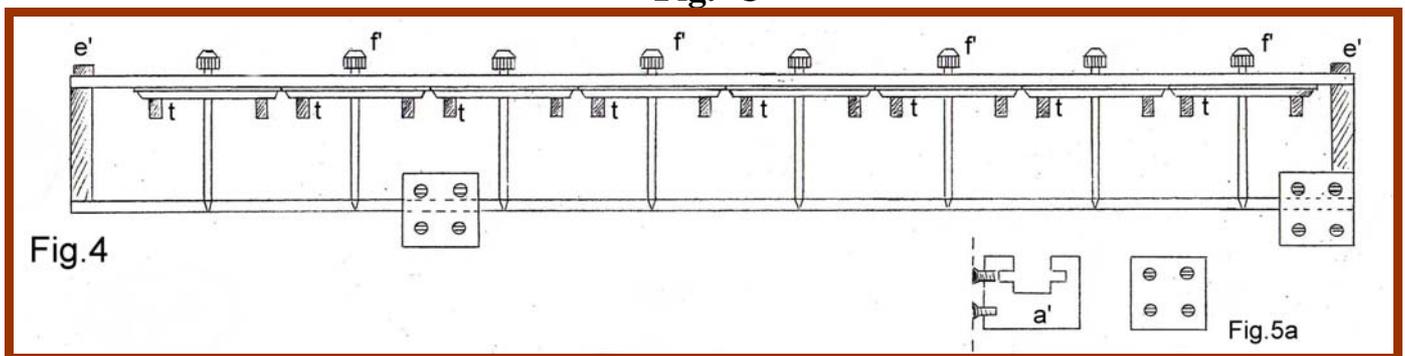
sur le dessin du brevet, le chariot est trop étroit . Les roues n et les cadrans dépassent de 30 %.

Fig. B



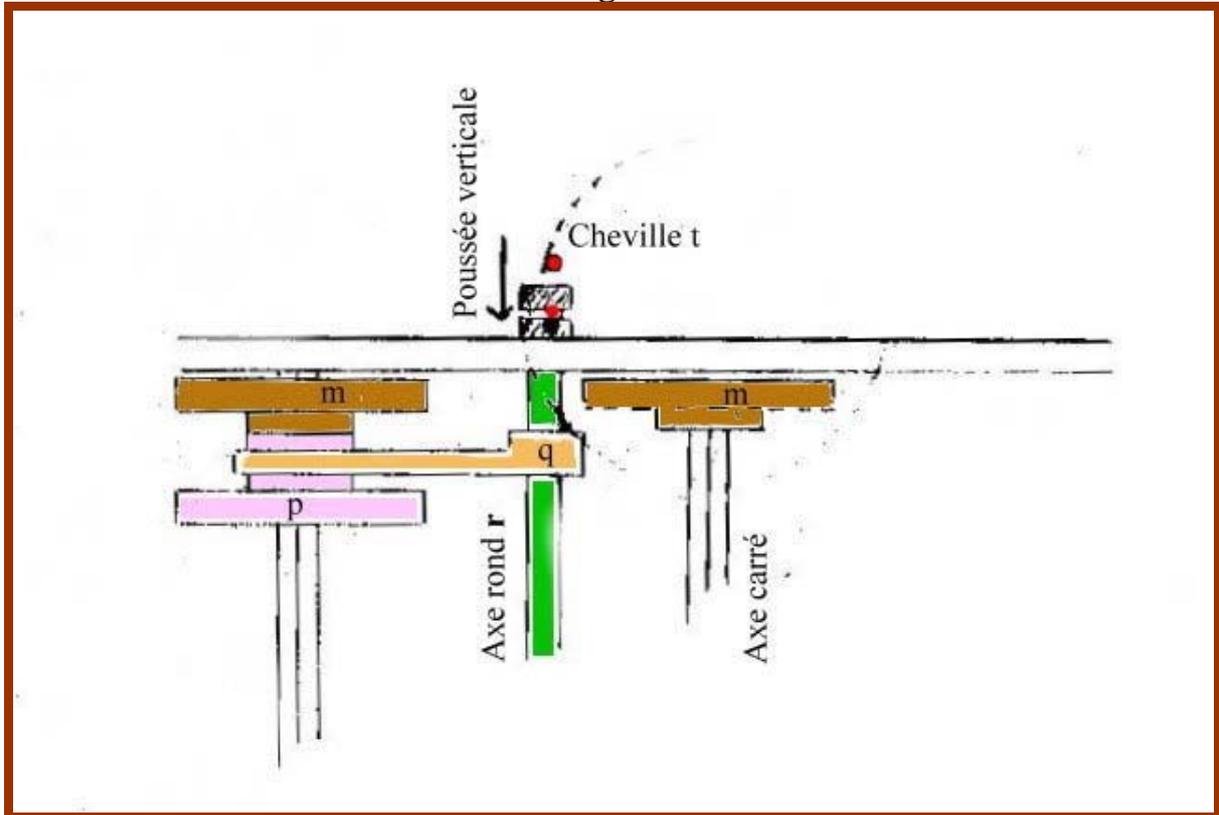
Le chariot, élargi, contient désormais l'ensemble de son mécanisme

Fig. C



Le chariot, en vue transversale

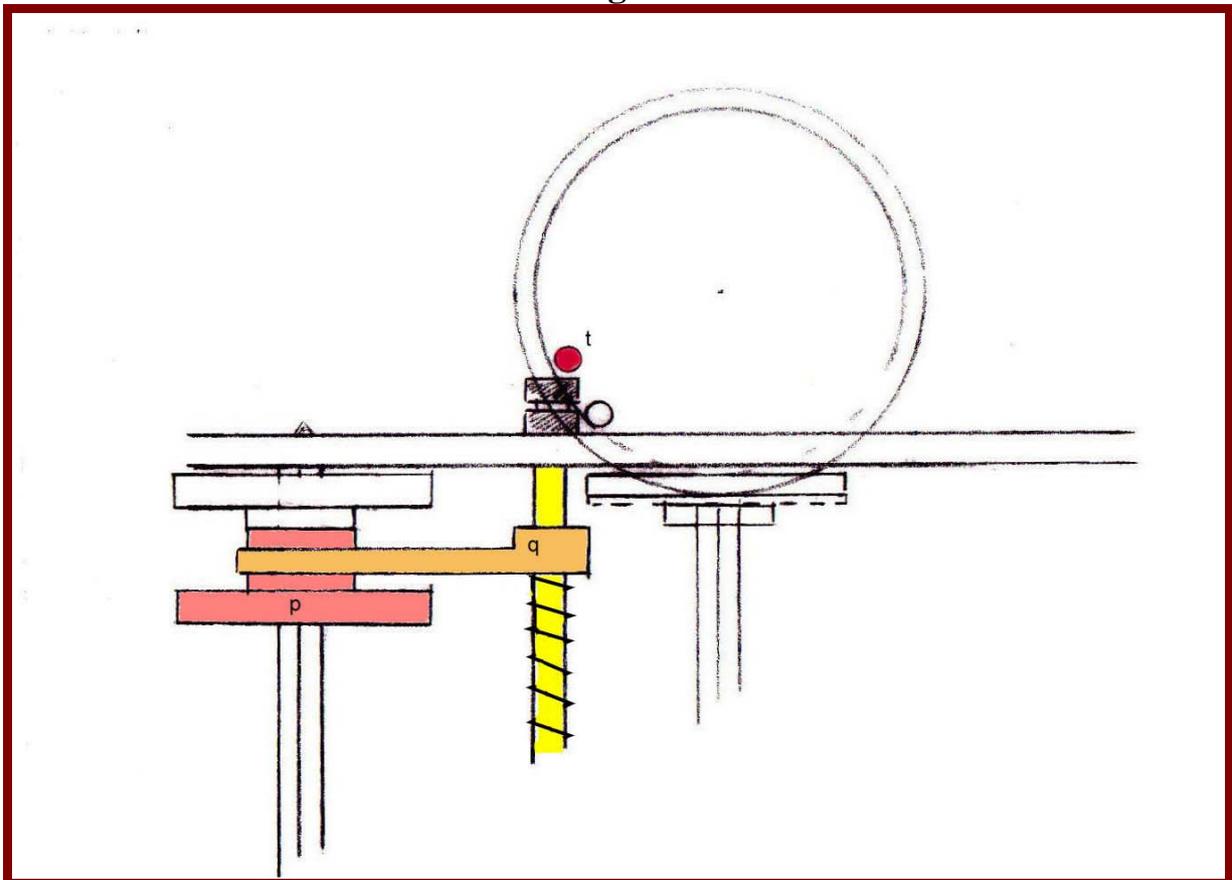
Fig. D



Poussée tangentielle

La cheville t pousse l'axe r mais ne peut s'échapper, bloquant le système

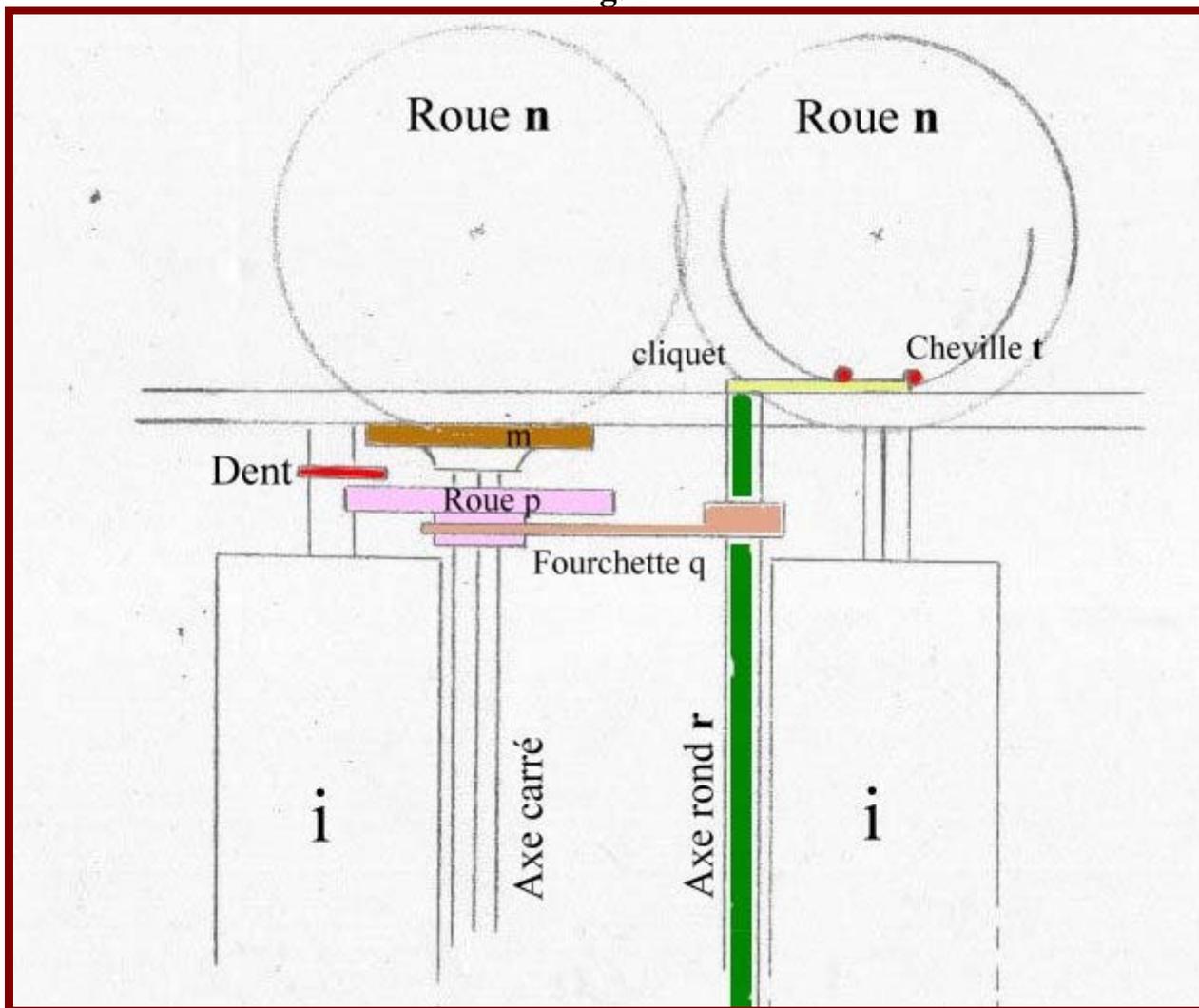
Fig. E



Poussée oblique

La cheville t pousse l'axe r et s'échappe par le côté. Un coupe effectuée sur la platine arrière permet à la cheville de continuer son orbite (voir fig. 8 et 10)

Fig. F

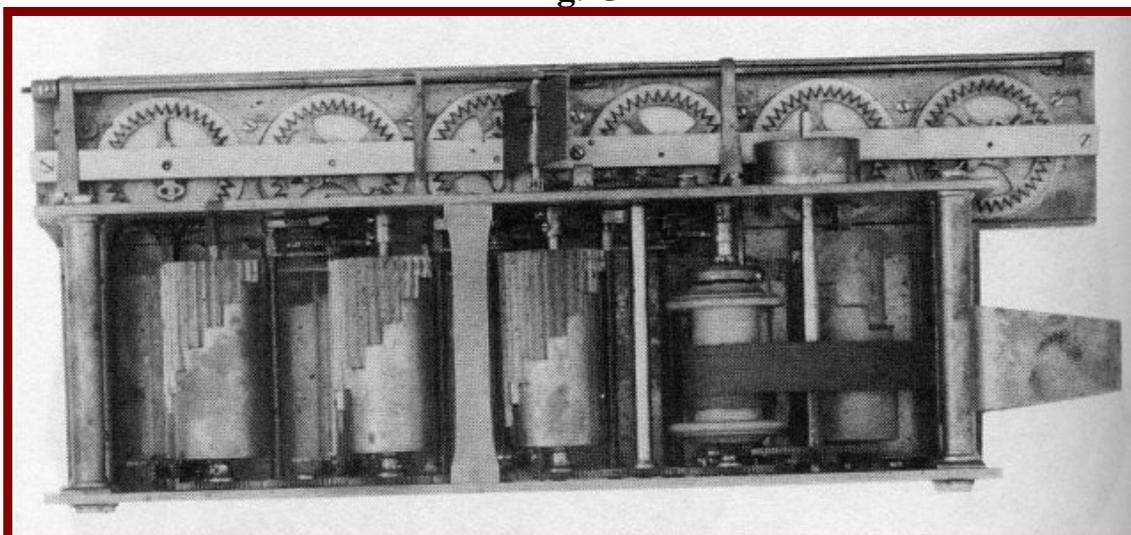


Poussée radiale

Système employé sur le modèle de 1822

Le mécanisme de retenue est inversé. Une goupille s'échappe par poussée latérale et fait avancer l'axe r. La roue p s'avance et engrène avec la dent de retenue

Fig. G



Modèle 1822

D) Numérotation complémentaire

La machine ne disposant pas d'inverseur de marche pour effectuer les opérations de Soustraction/Division, Thomas utilise le principe de la numérotation complémentaire (Fig. **H**), déjà connu et intégré au 17ème siècle sur les machines de Pascal. A l'aide d'un cache en laiton, que l'on fait glisser, on fait apparaître aux lucarnes l'une ou l'autre de deux numérotations en sens inverse. Tout se passe comme si les roues totalisatrices tournaient en sens inverse (Planche générale : **Fig. 3a**).

D) Les cadrans

Sans doute pour des raisons techniques, Thomas choisit de doubler le nombre de dents des roues totalisatrices **n**, passant de 10 à 20.

Tailler dans un pignon un nombre de dents quelconque n'était pas une difficulté pour les horlogers de l'époque. Mais les engrenages comportant de petits nombres de dents (inférieur à 12) étaient plus difficiles à fabriquer.

Ceci a une conséquence directe sur la numérotation des cadrans, situés juste au dessus. Si une dent correspond à une unité décimale, la suite **0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9** devra être doublée pour que la concordance soit faite avec les 20 dents de la roue **n**.

Avec la numérotation complémentaire, on se retrouve donc avec 40 chiffres à imprimer sur chaque cadran, répartis sur deux cercles concentriques ! un cercle numéroté dans l'ordre croissant, l'autre dans l'ordre décroissant pour la numérotation complémentaire.

Nota : Pour éviter que la roue **n** et son cadran ne tournent trop librement, on placera sur son côté un petit ressort en arc de cercle, qui par simple frottement limitera tout déplacement non voulu du cadran. Ce système est celui utilisé dans la machine de 1822 et donc le plus proche chronologiquement.

E) Positionnement des lucarnes

Le positionnement des lucarnes est étroitement lié à la situation respective de chaque chiffre par rapport à son chiffre complémentaire (Planche générale : **Fig. 3**).

Ils doivent être situés sur une même ligne horizontale pour que l'un ou l'autre puisse être caché par la bande métallique (Planche générale : **Fig. 3a**).

Ceci n'est possible qu'en décalant légèrement vers la gauche la lucarne par rapport à l'axe du cadran.

F) Déplacement du chariot

"Ce mouvement s'opère de manière à présenter les résultats des opérations, en formant en même temps les additions indispensables aux multiplications de plusieurs chiffres. Chaque fois qu'on a multiplié une somme par un chiffre, la multiplication par le chiffre suivant doit se faire après avoir transporté le chariot d'un cran de gauche à droite..."

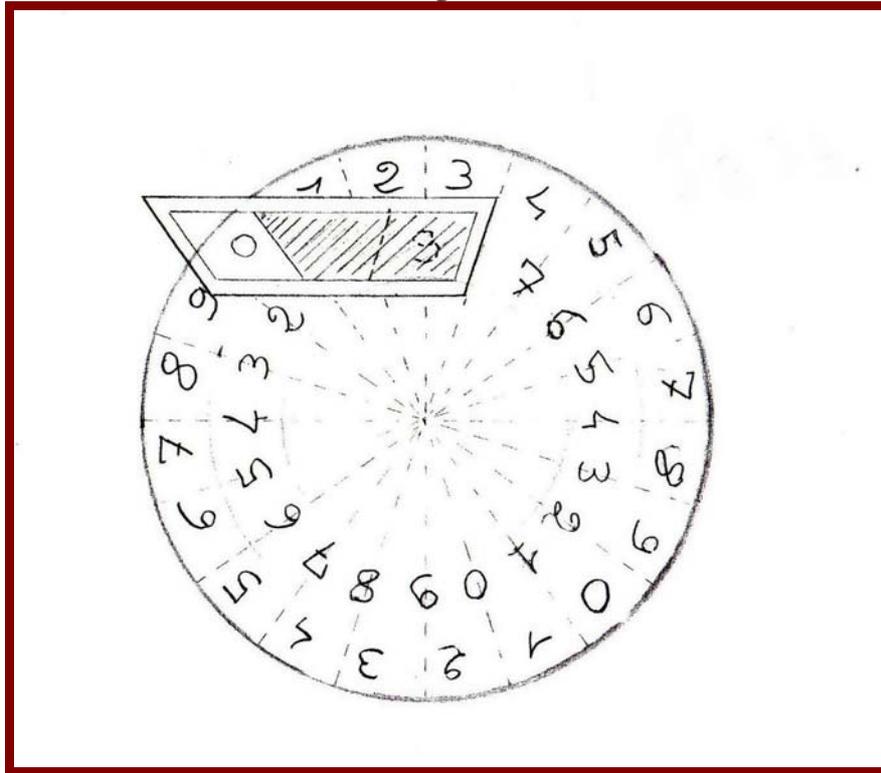
Le système de fixation du chariot est assez curieux et l'interprétation délicate (Fig. J)
Deux glissières métalliques **a'** (fig. 5) fixées sur la cage principale servent de support au chariot. Lorsque l'on lève le chariot, ce dernier peut glisser de gauche à droite. On peut supposer que les fentes horizontales pratiquées sur ces supports servent à guider le chariot dans son déplacement.

Le brevet fait état d'un système à ressort permettant "de faire avancer le chariot de gauche à droite sans le secours de la main"...

Ne voyant pas très bien comment tout cela s'articule, car les dessins du brevet sont peu bavards, nous n'intégrerons pas pour le moment ce dispositif, qui n'apparaîtra que 60 ans plus tard et sur un tout petit nombre de machines.



Fig. H



Numérotation complémentaire

Cadran de 40 chiffres. La lucarne doit se positionner de telle sorte qu'un nombre et son inverse se situe sur une même ligne horizontale.

Fig. I

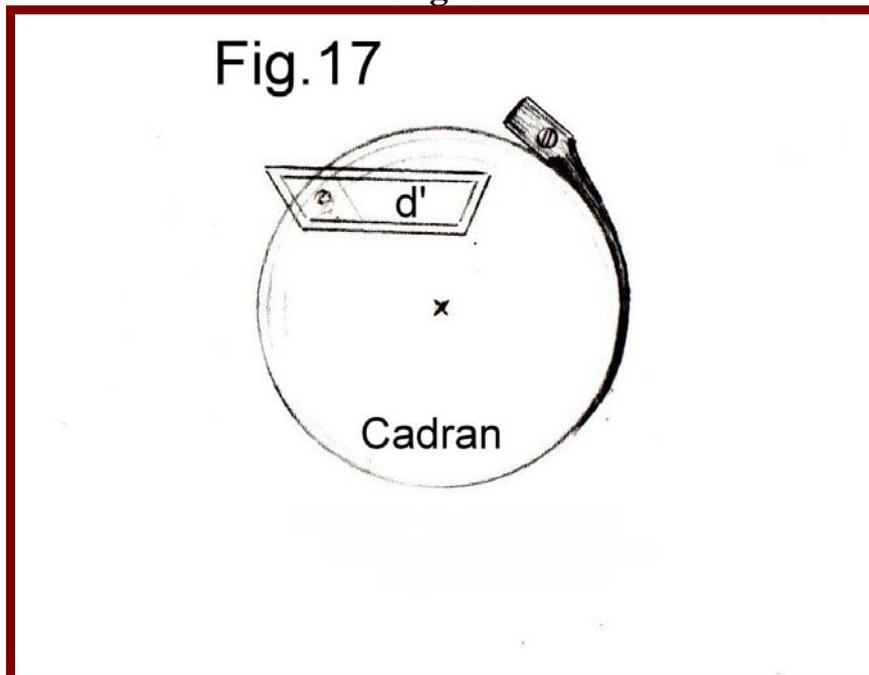
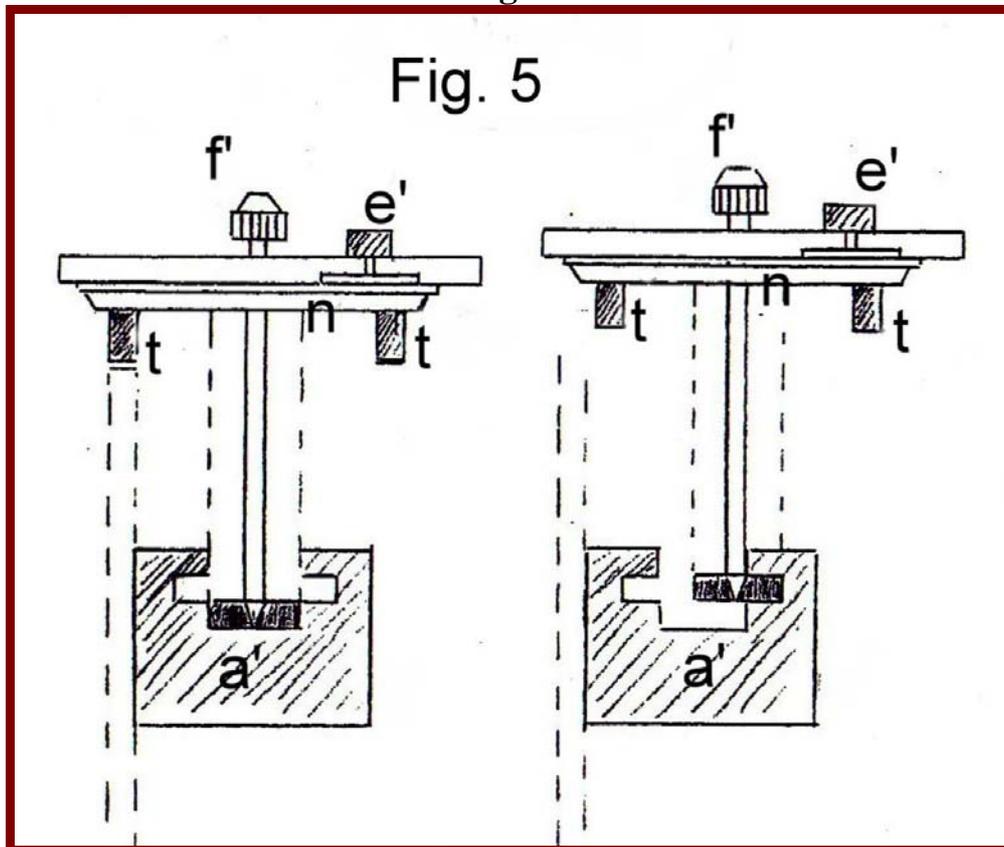
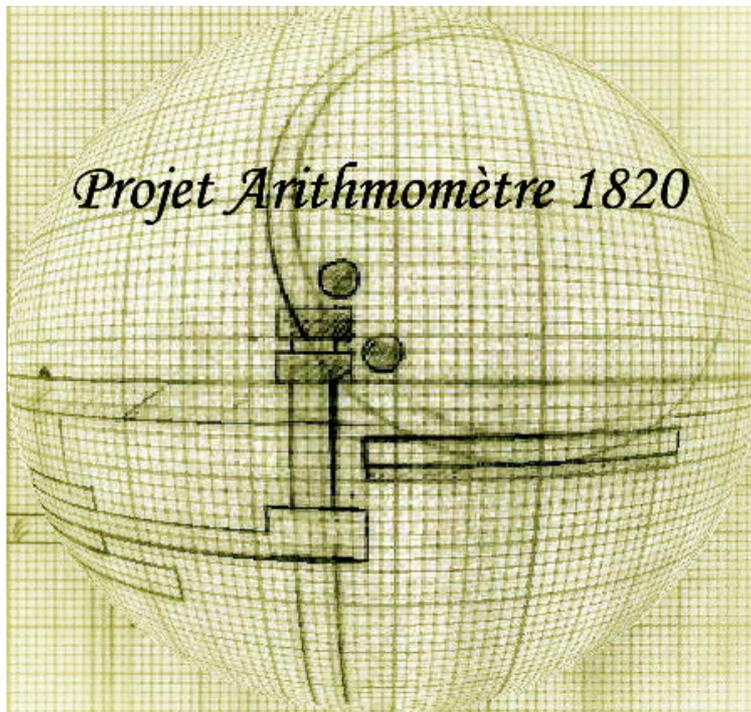


Fig. J



Le chariot se déplace en levant celui-ci, puis en le glissant sur des fentes aménagées sur les deux supports a'.



Organisation du projet

Conclusion

Modélisation 3D
Soutien du projet
Recherche de partenariats
Commercialisation

~

CONCLUSION

Organisation du projet



Cette approche descriptive nous a permis de donner de la matière à notre arithmomètre. On sent désormais la vibration des rouages. Ils grincent à nos oreilles et tournent sous nos yeux ...

Techniquement, rien ne semble plus l'empêcher de tourner !
Mais du chemin reste à faire ...

A l'heure où nous allons chercher de l'aide pour mener ce projet à terme, revenons un instant sur son intérêt.

C'est un projet qui a plusieurs ambitions :

1. Valider les idées originales du brevet de 1820.
En donnant vie à une machine dont on ne sait pas si elle a existé, nous validons les principes et l'architecture choisis par Thomas. En la construisant, nous mettons en lumière les points restés obscurs sur le brevet.
2. Comprendre où en était réellement Thomas dans ses réflexions et ses connaissances au moment où il a rédigé son brevet.
En analysant son brevet, et en tentant de le mettre en œuvre, nous avons trouvé plusieurs incohérences. Nous ne savons pas ce qui relève de l'ignorance, de l'erreur de transcription, de l'insuffisance de réflexion ou de la dissimulation. Nous avons fait l'hypothèse suivante : faire évoluer la conception en changeant le moins de choses possibles au texte du brevet doit nous permettre de refaire une partie du parcours intellectuel et technique de Thomas, et ainsi, de comprendre ce qu'il savait et ce qu'il ne savait pas encore en 1820.
3. Démontrer éventuellement qu'il n'avait pas commencé à réaliser sa machine, sinon il aurait détecté certaines incohérences.
Le dépôt d'un brevet est une chose sérieuse. Déposer un brevet signifie enseigner au monde une technique nouvelle. Il ne faut donc le faire que quand les concurrents sont prêts à faire la même chose, et il faut le faire à coup sûr pour ne pas permettre aux autres de contourner le brevet par une amélioration simple. C'est pourquoi, on réalise souvent les prototypes avant le dépôt du brevet. Qu'a fait Thomas ? Les incohérences apparentes du brevet sont-elles voulues ?

4. Faire le parcours de l'industrialisation qu'il a dû faire, et mieux comprendre pourquoi son dessin a changé.
Nous ne connaissons pas de machines réalisées avant 1822. La machine de 1822 comporte des changements notables par rapport au brevet de 1820. Ces changements se réduisent-ils au strict minimum nécessaire pour avoir une machine fonctionnelle ou sont-ils le résultat de travaux supplémentaires ? Notre projet est de faire fonctionner la machine à évolution minimale pour en constater les défauts éventuels.
5. Utiliser la modélisation en Cao pour ne pas avoir à fabriquer des prototypes et constater à la fin qu'ils ne peuvent pas fonctionner.
Le passage par la CAO est indiscutablement nécessaire pour réduire le coût du projet. C'est aussi l'opportunité de faire travailler des étudiants sur ce logiciel dans le cadre d'une véritable étude.
6. Faire connaître les débuts industriels de l'arithmomètre
Les capacités industrielles et techniques du début du 19^{ème} siècle devront être prises en compte dans notre analyse globale des fruits du projet. La présence dans notre projet d'historiens des techniques et de l'industrie sera d'un apport très intéressant.
7. Comprendre l'état de la mécanique en 1820, et les moyens disponibles pour usiner et construire
Nous avons l'accès à un prototype de 1850. Il serait intéressant d'examiner dans le détail les outils utilisés pour sa réalisation. Notre projet pourrait être aussi l'occasion d'accéder au prototype de 1822 qui est jalousement gardé par le Smithsonian.
8. Construire une machine fonctionnelle.
Mettre en œuvre les résultats de la présente étude préliminaire, des simulations et de la conception en CAO, jusqu'à la réalisation d'un prototype fonctionnel devrait passionner beaucoup de monde. La reproduction en de multiples exemplaires de cette première machine pourrait constituer un objectif en soi. Les collectionneurs et les musées sont friands de ces reproductions fonctionnelles de modèles disparus.

En conclusion, ce projet présente un intérêt :

- pour les historiens
 - des techniques de calcul,
 - des techniques de fabrication et d'assemblage au début du 19^{ème} siècle,
- pour les historiens de l'industrie et de l'assurance
- pour les étudiants en mécanique
- pour les étudiants en conception mécanique, modélisation, CAO
- pour les étudiants en technologie, usinage, montage
- pour les conservateurs de musées
- pour les collectionneurs
- pour les curieux et amoureux des beaux objets du passé
- pour les mécaniciens, éditeurs de logiciels, professeurs, qui pourront attacher leur nom à cette réalisation

- pour la France, l'Alsace, la ville de Colmar, la ville de Paris, les descendants de Thomas, les amis de l'arithmomètre, qui verront tous dans ce projet la mise en valeur d'une histoire et d'un patrimoine cher à leur cœur.
- pour tous les autres

Regardons maintenant les moyens à mettre en œuvre, tout en précisant, d'entrée de jeu, que c'est un projet de dimension aussi modeste financièrement qu'il est ambitieux historiquement.

A) Modélisation 3D

Aujourd'hui, On construit rarement une machine sans en avoir au préalable validé le bon fonctionnement dans un environnement virtuel. Pour des raisons de coût, d'une part, il serait insensé de construire un prototype qui ne marche pas !

Pour des raisons techniques, ensuite, car il est probable que de petites modifications seront nécessaires. Utiliser un outil informatique puissant permettra de réajuster l'ensemble des mécanismes entre eux sans avoir à en redessiner les plans.

- De puissants logiciels existent sur le marché, comme *Solidworks* ou *Catia*.

B) Soutien du projet

Pour soutenir le projet de modélisation et de construction de l'arithmomètre, nous avons créé une association : « **Les amis de l'arithmomètre** ». C'est sous sa bonne étoile que le projet évoluera. Les membres pourront participer au projet en y apportant un soutien moral, une aide technique ou financière.

C) Recherche de partenariats

La construction de la machine passe inévitablement par la recherche de partenariats. Il s'agit d'une part de dessiner et modéliser la machine et d'autre part d'en financer la construction.

D) Aspects financiers

A développer

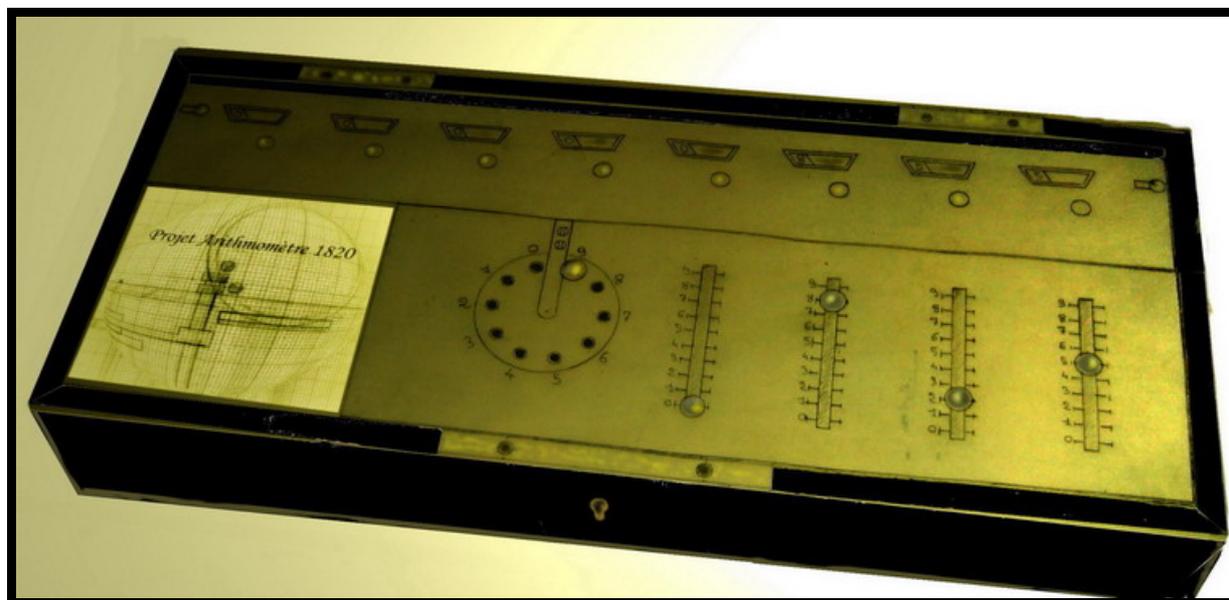
D) Commercialisation

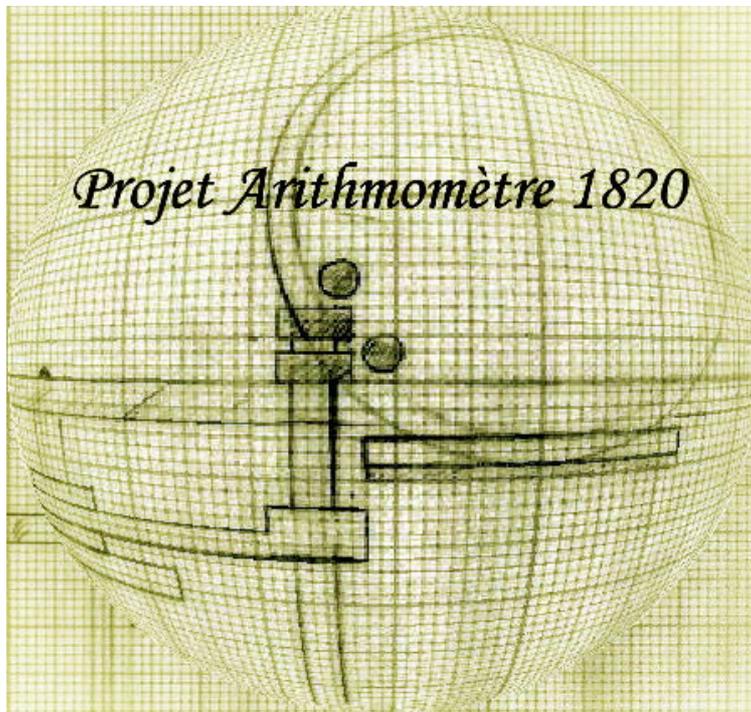
Afin de diminuer les coûts de fabrication, il n'est pas exclu d'en construire plusieurs exemplaires, considérant que des musées ou des collectionneurs privés pourraient souhaiter en posséder un exemplaire.

Souhaitons-nous bon courage !!!!

**Valéry Monnier
&
Michel Bardel**

Association « Les amis de l'arithmomètre »





Annexes

Brevet corrigé avec nouvelles planches

Brevet original

Notes

~

Brevet corrigé avec nouvelles planches

~

Brevet 1420
18 novembre 1820,

BREVET D'INVENTION DE CINQ ANS

! Lecture avec planches modifiées !

Pour une machine ou appareil appelé arithmomètre, propre à suppléer à la mémoire dans toutes les opérations d'arithmétique,

Au sieur Charles-Xavier Thomas de Colmar, directeur et fondateur de la Compagnie du Phénix, à Paris.

Description de l'appareil.

Deux plaques de cuivre (fig. 8 et 9) assemblées par quatre colonnes, forment la cage principale (fig. 6 e 7), dans laquelle sont renfermés trois systèmes de mouvement, celui du **multiplicateur**, celui du **multiplicande** et enfin celui des **retenues**.

A l'extérieur de cette cage et au revers de la plaque (fig. 10) est adaptée une seconde cage (fig. 3 et 4) appelée chariot, parce qu'elle se meut de droite à gauche, et réciproquement, traînant avec elle tout son système de mouvement. Ce chariot renferme des cadrans montés sur des arbres à pivots, sur lesquels sont gravés des chiffres pour indiquer les résultats des opérations.

Système du multiplicateur formant le premier mouvement.

Ce mouvement est représenté par les figures 1, 7, 8, 13 et 12; il se compose d'une suite de roues **a,b** (fig. 7 et 9), de chacune **quatorze** dents, engrenant l'une dans l'autre; une roue **a**, de **vingt huit** dents, leur transmet le mouvement, qu'elle reçoit elle-même lorsqu'on tire le ruban de soie roulé autour du cylindre **d** (fig. 7).

La roue **c** porte deux chevilles, dont l'une heurte, à chaque demi révolution, contre une des dix chevilles qui servent de dents à la roue **e** (Fig. 7) ce qui fait tourner cette dernière roue d'une dent de droite à gauche. Le cylindre **d** est muni d'un rochet, qui permet à un ressort de renvider le cordon lorsqu'il a été tiré (fig. 7).

Outre les dix chevilles **f** qui forment les dents de la roue **e** (fig. 1, 13 et 14), il en est une autre **g**, qui se porte, à volonté, dans l'un des dix trous dont cette roue est percée; de manière qu'en tirant le ruban de soie cette cheville vient s'arrêter à zéro, par le moyen d'une vis, contre le bras qui tient la roue **e** sans la gêner dans sa rotation. Pour mettre cette roue en place, on a pratiqué dans le couvercle (fig. 1 et 13), un trou rond d'un diamètre égal à celui de cette roue ; elle est portée, à son centre, par une plaque de métal **h**, formant bras, retenue sur le couvercle par deux vis. Autour de la circonférence de la roue **e**, et vis-à-vis les dix trous dont on vient de parler, sont gravés les chiffres 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9 du multiplicateur , comme l'indique la fig. 1.

Système du multiplicande, composant le deuxième mouvement.

Sur les arbres des roues a (fig. 2, 7 et 12), sont montés des cylindres **i**, qui sont découpés dans leur longueur, comme on le voit (fig. 12) de manière à présenter **dix** dents pointues, plus ou moins longues....[Partie erronée coupée] ... les **dix** dents vont en diminuant, chacune, de la dixième partie de la longueur du cylindre, et les deux dernières sont de même longueur; c'est-à-dire qu'elles sont toutes deux le dixième de la hauteur du cylindre. La dernière dent ne sert que pour les retenues (fig. 12)

Ces cylindres dentés engrènent avec des roues **k** (fig. 6) semblables à celles **m** (fig. 6 et 8), portant **douze** dents pointues: ces roues glissent sur les arbres **l**, qui sont bien polis et carrés. Les roues **m** engrènent avec les roues horizontales **n** (fig. 2 et 3) portant chacune vingt dents.

Sur le couvercle de la machine, sont pratiquées autant de fentes **p** (fig. 1), qu'il existe de cylindres dentés ; ces fentes sont dirigées dans la longueur des cylindres et les dépassent d'un dixième par en bas ; sur le côté de chaque fente sont gravés les dix premiers chiffres de l'ordre numérique. Dans ces mêmes fentes , glissent des pièces carrées , dont une est représentée (fig. 16) ; ces pièces sont surmontées d'un bouton **q'**, et sont terminées, en bas, par une fourchette **r**, qui tient chacune des roues **k** (fig. 2 et 6), par un collet, sans les empêcher de tourner.

Lorsque, dans la fig. 1, on pousse les boutons **q'** sur les chiffres qui doivent former la somme du multiplicande, chacune des roues **k** (fig. 2 et 3), correspond au nombre des dents des cylindres **i** (fig. 2, 7 et 12), qui indiquent les chiffres : de sorte que chaque tour de cylindre fait passer à ces roues le nombre de crans indiqué par les chiffres, et les roues **m** (fig. 2,6 et 8), qui sont montées sur les mêmes arbres que les roues **k** , transmettent ce même mouvement aux roues **n** (fig. 2, 3 et 4), qui portent les cadrans.

[Partie erronée coupée] ...

Système des retenues formant le troisième mouvement.

Sur les arbres **l** (fig. 2 et 7), sont montées des roues **p**, semblables aux roues **m**; on voit ces roues à plat (fig. 2 et 6); elles sont aussi menées d'un point à un autre par des fourchettes **q** (fig. 6, 18a et 20), fixées à des arbres enveloppés, chacun , d'un ressort à boudin **r'** dont l'action tend à désengrener ces roues, qui engrènent seulement avec la dent qui se trouve dans la dixième division des cylindres, de manière qu'elles ne peuvent jamais tourner de plus d'un cran, par tour de cylindre quand le ressort à boudin est tendu : ces roues ne bougent pas lorsque les ressorts sont détendus; car la dent passe alors à côté sans les atteindre.

Les cliquets **s** (fig. 2, 6 et 19) tiennent les ressorts à boudin tendus lorsque les arbres ont été poussés par les chevilles **t** (fig. 2 et 4), contre les bras **u** (fig. 2, 6, 18 et 19); ce qui arrive à chaque passage de zéro, où une dizaine doit être transportée sur le chiffre de gauche. Les bras **v** des cylindres **i** (fig. 2 et 25), heurtent à chaque tour les cliquets et font détendre les ressorts à boudin.

Description du chariot représenté fig. 2

a' (fig. 4, 5 et 5a), pièce servant à fixer le chariot contre la cage principale, en lui permettant cependant de couler alternativement à droite et à gauche.

Les roues dentées **n**, engrenant horizontalement avec les roues **m** (fig. 2), sont munies, chacune, de deux chevilles pareilles à celle **t**, dont une heurte, chaque fois que le zéro doit être visible, contre les petits bras **u** (fig. 2, 6 et 18); ce mouvement fait tendre les ressorts à boudin, qui permettent alors aux roues **p** (fig. 2 et 3), d'engrener avec les cylindres **i** (fig. 2 et 7), comme on l'a dit plus haut.

Sur les roues **n** (fig. 2 et 3) sont établis des cadrans, qui portent les chiffres :

0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,0,1,2,3,4,5,6,7,8,9.

0,9,8,7,6,5,4,3,2,1,0,9,8,7,6,5,4,3,2,1.

Des entailles laissent apercevoir deux chiffres; mais une bande de cuivre mince **d'** (fig. 3a), glissant entre la plaque et les cadrans, par le moyen de boutons **e'**, couvre à volonté ceux d'une rangée , de manière qu'on ne voit jamais qu'un chiffre à la fois sur chaque cadran.

A l'extérieur de la cage, les arbres sur lesquels sont montés les cadrans sont munis de boutons **f'** (fig. 1, 3, 4, et 5), que l'on tourne à volonté avec les doigts pour faire paraître tel chiffre que l'on veut.

Mouvement du chariot.

Ce mouvement s'opère de manière à présenter les résultats des opérations, en formant en même temps les additions indispensables aux multiplications de plusieurs chiffres.

Chaque fois qu'on a multiplié une somme par un chiffre, la multiplication par le chiffre suivant doit se faire après avoir transporté le chariot d'un cran de gauche à droite. Par ce moyen, le dernier cadran à droite se trouve désengrené et remplacé par le second, qui est à son tour remplacé par le troisième et ainsi de suite : ce mouvement s'opère par la main en **soulevant** le chariot (fig. 5)

Marches de l'ensemble de la machine.

Supposons qu'on veuille multiplier 2907 par 3068, on commence par poser, en tournant les boutons **f'** (fig. 1) tous les chiffres à zéro, en cas qu'ils eussent été dérangés ; on tire le bouton **e'** à multiplication , on pousse les boutons **q'** aux chiffres indiqués par le multiplicande, ainsi qu'ils sont déjà posés sur les fentes **p** (fig. 1); on pose ensuite la cheville **g** (fig. 1, 13 et 14), sur le chiffre 8 du multiplicateur **e** (fig. 1), et on tire alors le cordon de soie , jusqu'à ce que cette cheville s'arrête à zéro. Ce mouvement fait tourner la roue **c** (fig. 7 et 9), quatre fois, et celle-ci fait faire huit tours aux cylindres **i** (fig. 2 et 7), et comme les roues **k** (fig. 2 et 6), ont été menées par les boutons **q'** (fig. 1), aux points où les cylindres n'avaient que le nombre de dents indiqué par les chiffres sur lesquels ils sont placés, il est clair que ces roues ont fait huit fois autant de crans que chaque cylindre avait de dents. Comme, sur les mêmes arbres, il

existe de semblables roues, qui engrènent dans celles des cadrans du chariot, ces divers mouvements ont été transmis aux cadrans qui ont., successivement montré les chiffres correspondant au nombre de crans faits par chaque roue, et toutes les fois, en passant sur un zéro, les petites chevilles **t** (fig. 2 et 4), ont tendu les ressorts à boudin, et les cliquets **s** (fig. 2, 18, 19, 21 et 24), ont aussitôt empêché les ressorts de se détendre et ont gardé, par ce moyen, les roues **p** (fig. 2, 6 et 18), dans la direction de la dent isolée des cylindres, pour que, ceux-ci leur fissent faire un cran à chaque révolution quand il fallait exercer une retenue.

Les bras, ou chevilles **v** (fig. 2), détendent immédiatement les ressorts de manière qu'à chaque révolution les roues formant les retenues désengrènent : par ce moyen, à chaque passage de zéro, une dizaine se trouve ajoutée au chiffre de gauche: Les cadrans montrent donc le nombre 23,256, qui est le produit de, 2907 par huit.

Le dernier chiffre à droite du produit ne devant plus participer à aucun mouvement, on tire, ainsi qu'il a été dit, le chariot de gauche à droite, pour dégager le dernier cadran, qui porte le chiffre 6, lequel est, par conséquent, remplacé par celui qui porte le chiffre 5; celui-ci l'est par l'autre, et ainsi de suite.

Cette opération terminée, on en fait une semblable pour multiplier par six, qui sont les dizaines du multiplicateur, c'est-à-dire qu'on pose la cheville sur 6, et qu'on tire le cordon, ce qui donne la multiplication de 2908 par six, et comme les cadrans portent déjà la somme de 23,256 le produit de la nouvelle multiplication s'ajoute à cette somme, seulement aux quatre chiffres de gauche, ce cinquième ou l'unité ayant été désengrené; ce qui donne un produit de 197,676, qui est le résultat de la multiplication de 2907 par 68.

On continue ainsi son opération, qui, comme on le voit, est absolument la même qu'en arithmétique.

Le troisième chiffre du multiplicateur étant un zéro, on n'a rien à faire pour ce chiffre, seulement, avant de multiplier par le quatrième chiffre 3, qui est ici le dernier, on fait avancer de deux crans le chariot pour désengrener les trois chiffres de droite, afin que le produit des mille s'ajoute à la somme déjà obtenue, à partir des mille ou du quatrième chiffre, comme cela se pratique dans le calcul ordinaire. L'opération terminée, on voit le produit total de la multiplication de 2907 par 3068, qui est de 1,069,776

Il en sera de même de toutes les opérations d'arithmétique.

Brevet Original

~

Brevet 1420
18 novembre 1820,

BREVET D'INVENTION DE CINQ ANS

! Version non corrigée avec planches originales !

Pour une machine ou appareil appelé arithmomètre, propre à suppléer à la mémoire dans toutes les opérations d'arithmétique,
Au sieur Charles-Xavier Thomas de Colmar, directeur et fondateur de la Compagnie du Phénix, à Paris.

Description de l'appareil.

Deux plaques de cuivre (fig. 5 et 6) assemblées par quatre colonnes, forment la cage principale, dans laquelle sont renfermés trois systèmes de mouvement, celui du **multiplicateur**, celui du **multiplicande** et enfin celui des **retenues**.

A l'extérieur de cette cage et au revers de la plaque (fig. 5) est adaptée une seconde cage (fig. 2) appelée chariot, parce qu'elle se meut de droite à gauche, et réciproquement, traînant avec elle tout son système de mouvement. Ce chariot renferme des cadrans montés sur des arbres à pivots, sur lesquels sont gravés des chiffres pour indiquer les résultats des opérations.

Système du multiplicateur formant le premier mouvement.

Ce mouvement est représenté par les figures 1, 4, 5, 7 et 12; il se compose d'une suite de roues **a,b** (fig. 4 et 5), de chacune dix-huit dents, engrenant l'une dans l'autre; une roue **a**, de trente six dents, leur transmet le mouvement, qu'elle reçoit elle-même lorsqu'on tire le ruban de soie roulé autour du cylindre **d** (fig. 4).

La roue **c** porte deux chevilles, dont l'une heurte, à chaque demi révolution, contre une des dix chevilles qui servent de dents à la roue **e** (Fig. 7) ce qui fait tourner cette dernière roue d'une dent de droite à gauche. Le cylindre **d** est muni d'un rochet, qui permet à un ressort de renvider le cordon lorsqu'il a été tiré.

Outre les dix chevilles **f** qui forment les dents de la roue **e** (fig. 1 et 7), il en est une autre **g**, qui se porte, à volonté, dans l'un des dix trous dont cette roue est percée; de manière qu'en tirant le ruban de soie cette cheville vient s'arrêter à zéro, par le moyen d'une vis, contre le bras qui tient la roue **e** sans la gêner dans sa rotation. Pour mettre cette roue en place, on a pratiqué dans le couvercle (fig. 1), un trou rond d'un diamètre égal à celui de cette roue; elle est portée, à son centre, par une plaque de métal **h**, formant bras, retenue sur le couvercle par deux vis. Autour de la circonférence de la roue **e**, et vis-à-vis les dix trous dont on vient de parler, sont gravés les chiffres 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9 du multiplicateur, comme l'indique la fig. 1.

Système du multiplicande, composant le deuxième mouvement.

Sur les arbres des roues a (fig. 2, 7 et 12), sont montés des cylindres **i**, qui sont découpés dans leur longueur, comme on le voit (fig. 12) de manière à présenter **quatorze** dents pointues, plus ou moins longues ; **quatre de ces dents sont coupées dans toute la longueur du cylindre**, et les dix autres vont en diminuant, chacune, de la dixième partie de la longueur du cylindre, et les deux dernières sont de même longueur; c'est-à-dire qu'elles sont toutes deux le dixième de la hauteur du cylindre. La dernière dent ne sert que pour les retenues.

Ces cylindres dentés engrènent avec des roues **k** (fig. 3) semblables à celles **m** (fig. 3 et 5), portant seize dents pointues: ces roues glissent sur les arbres **l**, qui sont bien polis et carrés. Les roues **m** engrènent avec les roues horizontales **n** (fig. 2) portant chacune vingt dents.

Sur le couvercle de la machine, sont pratiquées autant de fentes **p** (fig. 1), qu'il existe de cylindres dentés ; ces fentes sont dirigées dans la longueur des cylindres et les dépassent d'un dixième par en bas ; sur le côté de chaque fente sont gravés les dix premiers chiffres de l'ordre numérique. Dans ces mêmes fentes , glissent des pièces carrées , dont une est représentée (fig. 8) ; ces pièces sont surmontées d'un bouton **q**, et sont terminées, en bas, par une fourchette **r**, qui tient chacune des roues **k** (fig. 3), par un collet, sans les empêcher de tourner.

Lorsque, dans la fig. 1, on pousse les boutons **q** sur les chiffres qui doivent former la somme du multiplicande, chacune des roues **k** (fig. 3), correspond au nombre des dents des cylindres **i** (fig. 4 et 12), qui indiquent les chiffres : de sorte que chaque tour de cylindre fait passer à ces roues le nombre de crans indiqué par les chiffres, et les roues **m** (fig. 3 et 5), qui sont montées sur les mêmes arbres que les roues **k** , transmettent ce même mouvement aux roues **n** (fig. 2), qui portent les cadrans.

Il existe autant de cylindres qu'il y a de chiffres au multiplicande. o (fig. 4), bras formant une dent pour retenir les cylindres.

Système des retenues formant le troisième mouvement.

Sur les arbres **l** (fig. 3), sont montées des roues **p**, semblables aux roues **m**; on voit ces roues à plat (fig. 6 et 11); elles sont aussi menées d'un point à un autre par des fourchettes **q** (fig. 11), fixées à des arbres enveloppés, chacun, d'un ressort à boudin **r'** dont l'action tend à désengrener ces roues, qui engrènent seulement avec la dent qui se trouve dans la dixième division des cylindres, de manière qu'elles ne peuvent jamais tourner de plus d'un cran, par tour de cylindre quand le ressort à boudin est tendu : ces roues ne bougent pas lorsque les ressorts sont détendus; car la dent passe alors à côté sans les atteindre.

Les cliquets **s** (fig. 6) tiennent les ressorts à boudin tendus lorsque les arbres ont été poussés par les chevilles **t** (fig. 2), contre les bras **u** (fig. 3); ce qui arrive à chaque passage de zéro, où une dizaine doit être transportée sur le chiffre de gauche. Les bras **v** des cylindres **i** (fig. 4), heurtent à chaque tour les cliquets et font détendre les ressorts à boudin.

Description du chariot représenté fig. 2

a',b' (fig. 2), pièces servant à fixer le chariot contre la cage principale, en lui permettant cependant de couler alternativement à droite et à gauche.

Les roues dentées **n**, engrenant horizontalement avec les roues **p** (fig. 3), sont munies, chacune, de deux chevilles pareilles à celle **t**, dont une heurte, chaque fois que le zéro doit être visible, contre les petits bras **u** (fig. 3); ce mouvement fait tendre les ressorts à boudin, qui permettent alors aux roues **p** (fig. 3), d'engrener avec les cylindres **i** (fig. 4), comme on l'a dit plus haut.

Sur les roues **n** (fig. 2) sont établis des cadrans, qui portent les chiffres :

0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,0,1,2,3,4,5,6,7,8,9.
0,9,8,7,6,5,4,3,2,1,0,9,8,7,6,5,4,3,2,1.

Des entailles **c'** laissent apercevoir deux chiffres; mais une bande de cuivre mince **d'**, glissant entre la plaque et les cadrans, par le moyen de boutons **e'**, couvre à volonté ceux d'une rangée, de manière qu'on ne voit jamais qu'un chiffre à la fois sur chaque cadran.

A l'extérieur de la cage, les arbres sur lesquels sont montés les cadrans sont munis de boutons **f'** (fig. 1 et 2), que l'on tourne à volonté avec les doigts pour faire paraître tel chiffre que l'on veut.

Mouvement du chariot.

Ce mouvement s'opère de manière à présenter les résultats des opérations, en formant en même temps les additions indispensables aux multiplications de plusieurs chiffres.

Chaque fois qu'on a multiplié une somme par un chiffre, la multiplication par le chiffre suivant doit se faire après avoir transporté le chariot d'un cran de gauche à droite. (La partie ponctuée à la droite de la figure 1^{re} montre le chariot sorti de sa cage) Par ce moyen, le dernier cadran à droite se trouve désengrené et remplacé par le second, qui est à son tour remplacé par le troisième et ainsi de suite : ce mouvement s'opère par la main en tirant le chariot en même temps qu'on fait détendre un ressort **g'**, fig. 2, qui retombe, à chaque cran, dans une fente pratiquée à cet effet.

Ce mouvement peut s'opérer par le moyen d'un ressort à tambour : dans ce cas, la bande inférieure du chariot sera munie, en dessous, d'une crémaillère, qui remplacera le ressort **g'** et qui, engrenant un pignon qui reçoit son mouvement du ressort à tambour, fera avancer le chariot de gauche à droite sans le secours de la main. Un ressort à cliquet tombe, à chaque distance d'un cadran à l'autre, dans un point d'arrêt, et force le chariot de passer d'un cran à l'autre.

Marches de l'ensemble de la machine.

Supposons qu'on veuille multiplier 2907 par 3068, on commence par poser, en tournant les boutons **f'** (fig. 1 et 2) tous les chiffres à zéro, en cas qu'ils eussent été dérangés ; on tire le bouton **e'** à *multiplication* , on pousse les boutons **q'** aux chiffres indiqués par le multiplicande, ainsi qu'ils sont déjà posés sur les fentes **p** (fig. 1); on pose ensuite la cheville **g** (fig. 7), sur le chiffre 8 du multiplicateur **e** (fig. 1), et on tire alors le cordon de soie , jusqu'à ce que cette cheville s'arrête à zéro. Ce mouvement fait tourner la roue **c** (fig. 7 et 9), quatre fois, et celle-ci fait faire huit tours aux cylindres **i** (fig. 4), et comme les roues **k** (fig. 2 et 6), ont été menées par les boutons **q** (fig. 1), aux points où les cylindres n'avaient que le nombre de dents indiqué par les chiffres sur lesquels ils sont placés, il est clair que ces roues ont fait huit fois autant de crans que chaque cylindre avait de dents. Comme, sur les mêmes arbres, il existe de semblables roues, qui engrènent dans celles des cadrans du chariot, ces divers mouvements ont été transmis aux cadrans qui ont., successivement montré les chiffres correspondant au nombre de crans faits par chaque roue, et toutes les fois, en passant sur un zéro, les petites chevilles **t** (fig. 2), ont tendu les ressorts à boudin, et les cliquets **s** (fig. 6), ont aussitôt empêché les ressorts de se détendre et ont gardé, par ce moyen, les roues **p** (fig. 3, 6 et 11), dans la direction de la dent isolée des cylindres, pour que, ceux-ci leur fissent faire un cran à chaque révolution quand il fallait exercer une retenue.

Les bras, ou chevilles **v** (fig. 4), détendent immédiatement les ressorts de manière qu'à chaque révolution les roues formant les retenues désengrènent : par ce moyen, à chaque passage de zéro, une dizaine se trouve ajoutée au chiffre de gauche: Les cadrans montrent donc le nombre 23,256, qui est le produit de, 2907 par huit.

Le dernier chiffre à droite du produit ne devant plus participer à aucun mouvement, on tire, ainsi qu'il a été dit, le chariot de gauche à droite, pour dégager le dernier cadran, qui porte le chiffre 6, lequel est, par conséquent, remplacé par celui qui porte le chiffre 5; celui-ci l'est par l'autre, et ainsi de suite.

Cette opération terminée, on en fait une semblable pour multiplier par six, qui sont les dizaines du multiplicateur, c'est-à-dire qu'on pose la cheville sur 6, et qu'on tire le cordon , ce qui donne la multiplication de 2908 par six, et comme les cadrans portent déjà la somme de 23,256 le produit de la nouvelle multiplication s'ajoute à cette somme, seulement aux quatre chiffres de gauche, ce cinquième ou l'unité ayant été désengrené; ce qui donne un produit de 197,676, qui est le résultat de la multiplication de 2907 par 68.

On continue ainsi son opération, qui, comme on le voit, est absolument la même qu'en arithmétique.

Le troisième chiffre du multiplicateur étant un zéro, on n'a rien à faire pour ce chiffre, seulement, avant de multiplier par le quatrième chiffre 3, qui est ici le dernier, on fait avancer de deux crans le chariot pour désengrener les trois chiffres de droite, afin que le produit des mille s'ajoute à la somme déjà obtenue, à partir des mille ou du quatrième chiffre, comme cela se pratique dans le calcul ordinaire. L'opération terminée, on voit le produit total de la multiplication de 2907 par 3068, qui est de 1,069,776

Il en sera de même de toutes les opérations d'arithmétique.