ANNALES

DES

PONTS ET CHAUSSÉES.

MÉMOIRES ET DOCUMENTS

RELATIFS

A L'ART DES CONSTRUCTIONS

ET AU SERVICE DE L'INGÉNIEUR;

LOIS, DÉCRETS, ARRÊTÉS ET AUTRES ACTES

CONCERNANT

L'ADMINISTRATION DES PONTS ET CHAUSSÉES.

3e SÉRIE.

1854

2e SEMESTRE.

PARIS.

CARILIAN-GOEURY ET Vor DALMONT,

LIBRAIRES DES CORPS IMPÉRIAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES,

Quai des Augustins, n° 49.

Près la rue des Grands-Augustins.

N° 101

EXTRAITS DU RAPPORT

Fait à M. le ministre des travaux publics, sur une machine à calculs de MM. Maurel et Jayet.

Par M. LALANNE, ingénieur en chef des ponts et chaussées (*).

§ I.— DESCRIPTION DES FORMES EXTÉRIEURES DE LA MACHINE; SES PROPRIÉTÉS ET SES USAGES.

Vue d'ensemble. Organes apparents. — La *fig.* 1, Pl. 70, représente en perspective le plus grand modèle qui ait été confectionné par MM. Morel et Jayet. Ce modèle est enfermé dans une boîte de forme rectangulaire d'environ 0^{m}.20 de large, sur 0^{m}.30 de long et 0^{m}.25 de haut. Il donne directement, pour les quatre premières règles de l'arithmétique, les résultats de toutes les opérations qui ne comportent pas de nombres de plus de huit chiffres. Ainsi les *sommes* dans les additions, les *différences* dans les soustractions, les *produits* dans les multiplications, les *quotients* et les *restes* dans les divisions; voilà ce que l'on détermine avec la machine sans aucun effort de tête, et par des opérations purement mécaniques.

Le modèle représenté dans la *fig.* 1 fait même connaître la somme ou la différence d'une suite de produits de deux facteurs, sans que, pour cela, les produits partiels cessent d'être en évidence, résultat utile dans une foule de cas.

A la partie supérieure et en haut de la machine on voit des

(*) La commission qui avait été chargée d'examiner la machine de MM. Maurel et Jayet se composait de MM. Combes, inspecteur général des mines, Michal, ingénieur en chef des ponts et chaussées et L. Lalanne, ingénieur en chef des ponts et chaussées, rapporteur.

échelles, *baguettes* ou *bâtons* E, E, E,..... qui portent toutes, les dix premiers chiffres de o à 9. Ces échelles se meuvent isolément d'avant en arrière et d'arrière en avant, dans le sens de leur longueur, de sorte qu'il est facile d'amener le chiffre que l'on veut sur chacune d'elles, en regard d'un petit arrêt ou repère *r*.

Pour qu'il n'y ait aucune incertitude dans la position des échelles et pour qu'elles soient convenablement assujetties, chacune d'elles porte, sur le côté, une petite crémaillère qui a dix crans correspondant aux dix chiffres ; l'arête *r* est poussée dans un des crans par un ressort, dont la pression est assez légère pour ne pas gêner les mouvements de l'échelle d'avant en arrière et d'arrière en avant.

Si l'on convient de lire les nombres d'après les chiffres placés en regard des repères ou arrêts *r*, les échelles se prêteront à l'inscription de tout nombre de moins de huit chiffres.

On a marqué sur la *fig.* 1, en traits plus forts, les chiffres placés en regard des repères dans la position particulière que l'on a donnée aux échelles. Ces chiffres en allant de gauche à droite sont o, o, o, 2, 4, 5, 6, 9. Le nombre inscrit sur les échelles, dans la position que leur donne la figure, est donc 24569.

C'est sur les échelles que l'on inscrit le plus grand des deux facteurs, quand il s'agit d'une multiplication, ou le diviseur, quand il s'agit d'une division.

A la partie inférieure et vers le bas de la machine se trouvent quatre *boutons*, *manettes* ou *manivelles* B, B', B'', B''', auxquels correspondent autant de cadrans A, A', A'', A'''. En tournant chacun de ces boulons *dextrorsum* (dans le sens où l'on enfonce ordinairement les vis), on fait tourner *sinistrorsum* l'aiguille du cadran correspondant et réciproquement. Le mouvement de l'aiguille s'opère non pas avec continuité mais par à-coups, de manière qu'elle saute successivement cinq divisions pendant que le bouton B fait une révolution entière.

Les flèches marquées en sens contraires autour des boutons et sur les cadrans font ressortir ces mouvements opposés.

On peut se servir des quatre cadrans A, A′, A″, A‴, pour y inscrire tout nombre de moins de cinq chiffres, les plus hautes unités étant comptées à gauche, et le dernier cadran de droite marquant les unités simples. Dans la position que la *fig.* 1 donne aux aiguilles sur les cadrans, le nombre inscrit est 1264.

C'est sur cette batterie de cadrans que l'on marque le plus petit des deux facteurs dans une multiplication; c'est là qu'on lit le quotient dans une division.

Entre les échelles E, E, E, ... et les cadrans A, A′, A″, A‴,.., sont pratiquées deux galeries, ou rangées d'ouvertures circulaires, ouvertures dont chacune laisse apparaître un chiffre.

La galerie inférieure G, G, G, est celle sur laquelle on lit le produit dans une multiplication, le dividende dans une division; la galerie supérieure G′, G′, G′, sert uniquement à marquer la somme des produits obtenus dans une suite de multiplications.

Les ouvertures circulaires des galeries portent le nom de *fenêtres*.

Le bouton *b* auquel correspond la glissière *g*, étant tiré de gauche à droite ramène à zéro la galerie inférieure en même temps que les cadrans, c'est-à-dire que, sous l'influence de cet organe, tous les chiffres qui apparaissaient aux fenêtres de cette galerie sont remplacés par des zéros, et que les aiguilles marquent zéro sur chacun des cadrans.

Nous verrons plus tard comment on opère le ramènement à zéro pour la galerie supérieure.

Comme toutes les machines n'ont pas de galerie supérieure, et que les fonctions de celle-ci sont secondaires, lorsqu'il s'agira *de la galerie*, sans spécification, c'est de la galerie inférieure qu'on entendra parler.

Des vitres recouvrent la partie supérieure des parois latérales et plus de la moitié du couvercle de la boîte, de manière à laisser voir certains rouages; mais nous nous bornons, pour le moment, à la description extérieure de la machine. Il nous suffira de dire que, sur les deux galeries, chaque fenêtre correspond à la circonférence d'un disque tournant qui porte les dix premiers chiffres de 0 à 9; de sorte que l'on voit les chiffres consécutifs apparaître successivement à une fenêtre, lorsque l'on imprime à la machine les mouvements convenables.

Nous aurons souvent à employer, dans le cours de cette description, les termes dont nous avons donné la signification technique, en ce qui concerne la nouvelle machine à calculs. Les mots *échelles*, *boutons*, *cadrans*, *aiguilles*, *galeries*, *fenêtres*, *disques tournants*, *ramènement à zéro*, nous seront nécessaires à chaque instant.

Manière d'opérer les quatre règles fondamentales de l'arithmétique. — La machine de MM. Maurel et Jayet est essentiellement faite pour multiplier et pour diviser. Elle offre beaucoup moins d'avantages pour ajouter ou pour soustraire; elle ne fait ces opérations que comme des cas particuliers de la multiplication; c'est donc par celle-ci qu'il convient de commencer nos explications.

Nous supposerons, dans tout ce qui va suivre, que l'on a commencé préalablement à chaque opération, par le ramènement à zéro; de sorte que les deux galeries ne présentent que des zéros, et que les aiguilles marquent aussi zéro sur tous les cadrans.

Multiplication. — Soit proposé de multiplier 24 569 par 1 264.

On écrira d'abord le multiplicande sur les échelles, ainsi qu'on l'a expliqué plus haut.

La *fig.* 1 représente les échelles dans la position convenable pour marquer ce multiplicande; les chiffres inscrits d'une manière plus apparente que les autres sur la figure, font ressortir le nombre 24569, abstraction faite des trois zéros qui sont à sa gauche.

Les échelles étant ainsi placées, on tournera successivement et *dextrorsum* les quatre boutons B, B′, B″, B‴, de manière à marquer avec les aiguilles des cadrans correspondants les chiffres 4, 6, 2, 1, ce qui donne le multiplicateur 1 264 en lisant de gauche à droite. Peu importe du reste *l'ordre* dans lequel on opère la rotation des boutons, pourvu que ce soit dans le *sens* convenable, c'est-à-dire *dextrorsum*, et en marquant sur chaque cadran les unités de l'ordre qu'il indique. Dès que le multiplicateur 1 264 est écrit, on lit sur la galerie inférieure le produit 31 055 216.

Tout cela se fait en beaucoup moins de temps qu'il n'en faut pour l'expliquer.

Il n'est guère possible d'employer moins d'une minute pour effectuer, la plume à la main, cette opération que la machine peut faire en quinze secondes lorsqu'elle est maniée par une main exercée.

Addition et soustraction. — L'addition commence comme un cas particulier de la multiplication; comme le cas où l'un des deux facteurs se réduit à l'unité.

Ainsi, pour ajouter 97 124 à 65 997, on commencera par écrire 97 124 sur les échelles et à multiplier par 1, avec le bouton de droite, ce qui fera apparaître 97 124 sur la galerie.

On écrira alors 65 997 sur les échelles, on multipliera encore par 1, de la mêne manière, ce qui se réduit à faire avancer d'un second cran à gauche l'aiguille du cadran de droite, et on lira sur la galerie 163 121, somme des deux premiers nombres.

Pour ajouter 721 879 à la somme déjà obtenue, on écrira encore ce nombre sur les échelles et on multipliera par 1; en avançant encore d'un cran à gauche l'aiguille du cadran de droite, la somme 885 000 sera donnée par la galerie.

Dans toutes ces opérations on a tourné le bouton des unités constamment dans le même sens et *dextrorsum*. Si l'un de ces nombres eût été à retrancher; si, par exemple, il avait fallu retrancher 65 997 de 97 124, au lieu de l'ajouter, on aurait multiplié 65 997 par l'unité, mais en tournant le boulon *sinistrorsum*, et le reste 31 127 aurait paru sur la galerie.

La seule condition à laquelle on soit assujetti pour la soustraction, c'est que le nombre à soustraire soit moindre que la somme des nombres précédemment ajoutés. S'il en était autrement, on ne pourrait tourner le bouton *sinistrorsum* que jusqu'au moment où la galerie marquerait zéro. A partir de ce moment la machine refuserait de continuer à marcher, au moins dans le même sens.

La soustraction fournit donc un moyen de ramener à zéro tous les chiffres de la galerie. Il suffit pour cela d'écrire sur les échelles le nombre indiqué par cette galerie et de le multiplier par 1 en tournant le bouton *sinistrorsum* : le reste est nul et la galerie marque immédiatement zéro.

C'est ce moyen que l'on emploie pour ramener à zéro la galerie supérieure dans les machines qui en ont deux; quand à la galerie inférieure, nous avons déjà dit qu'en tirant de gauche à droite le bouton B, on opérait instantanément le ramènement.

Du reste l'addition et la soustraction, comme la multiplication simple, n'exigent qu'une seule galerie.

Division. — Il en est de même pour cette opération.

Prenons pour dividende le produit 31 055 216 et pour diviseur 24 569.

Les cadrans et la galerie inférieure étant primitivement ramenés à zéro, il faut d'abord inscrire le dividende sur cette galerie.

Pour cela, on l'écrira sur les échelles et on multipliera par l'unité, c'est-à-dire que l'on tournera le bouton B *dextrorsum*, de manière à faire sauter l'aiguille du cadran A d'un seul cran *sinistrorsum*. A l'instant le dividende 31 055 216 apparaîtra aux fenêtres de la galerie inférieure : alors on ramènera simplement avec le doigt l'aiguille du cadran A sur le zéro.

Ensuite on écrira le diviseur 24 569 avec les échelles, puis, en commençant par la gauche, on tournera successivement *sinistrorsum* les boutons B‴, B″, B′ et B jusqu'à ce que chacun d'eux éprouve un arrêt au delà duquel il ne puisse plus tourner. Les aiguilles correspondantes tourneront *dextrorsum* et s'arrêteront, la première sur le chiffre 1, la seconde sur le chiffre 2, la troisième sur le chiffre 6, la quatrième sur 4; lorsque l'on en sera arrivé à cette dernière, la galerie ne laissera voir que des zéros. On en conclut que le quotient est 1 264 et le reste nul.

Prenons pour second exemple 1 028 367 à diviser par 1 137.

On fera d'abord paraître 1 028 367 aux fenêtres de la galerie inférieure, en écrivant ce nombre sur les échelles et en multipliant par 1. Ensuite on ramènera sur zéro, avec le doigt, l'aiguille du cadran A, et on écrira sur les échelles le diviseur 1 137. Cherchant alors le quotient, on sera averti qu'il ne renferme pas de mille par la résistance que l'on éprouvera lorsque l'on voudra tourner *sinistrorsum* le bouton des mille B‴. Mais le bouton B″ pourra tourner dans ce sens jusqu'à ce que l'aiguille de A″ ait sauté de 0 à 9 *dextrorsum*. Le bouton B′ ne pouvant pas tourner non plus, l'aiguille de A′ restera sur zéro. Enfin le bouton B tournera jusqu'à ce que l'aiguille de A soit passée de 0 à 4.

Le quotient sera donc 904, et le reste 519 apparaîtra aux trois dernières fenêtres de la galerie.

Sommes de produits. — Lorsque après avoir effectué une multiplication, on ramène à zéro les aiguilles des cadrans en les poussant seulement avec le doigt, sans se servir du bouton B, de manière à laisser sur la galerie le produit obtenu; si l'on fait une nouvelle multiplication, la somme des deux produits apparaîtra sur la galerie inférieure. En continuant de la même manière, on peut obtenir avec une seule galerie la somme d'autant de produits partiels que l'on voudra.

Le mot *somme* est pris ici dans le sens le plus large, c'est-à-dire que l'on peut combiner les différents produits par voie de soustraction aussi bien que par voie d'addition, pourvu qu'en aucun moment de l'opération la somme des produits négatifs ne surpasse la somme des produits positifs précédemment ajoutés. On sait d'ailleurs que pour soustraire il faut marquer le multiplicateur *dextrorsum* sur les cadrans en tournant les boutons *sinistrorsum*.

L'avantage de la galerie supérieure consiste en ce qu'elle enregistre ces sommes algébriques de produits, indépendamment de la galerie inférieure. On peut donc ramener à zéro la galerie inférieure, pour chaque opération partielle, et y lire le résultat de cette opération, en même temps qu'on lit sur la galerie supérieure la somme algébrique des produits obtenus jusques et y compris le dernier.

§ II. — Description du mécanisme intérieur de la machine, et explication des propriétés dont elle jouit.

Principe élémentaire de la multiplication. — Dans toute machine à multiplier, il faut que deux mouvements, indépendants l'un de l'autre, donnent un résultat final proportionnel à la fois à ces deux mouvements. Sans cela pas de multiplication possible. Voyons ce que MM. Maurel et Jayet ont imaginé pour parvenir à ce but.

Soit un cylindre dont l'axe est horizontal.

Ce cylindre porte sur une partie de sa surface des cannelures longitudinales dont la longueur va en décroissant entre les deux bases du cylindre, de telle sorte qu'un pignon dont l'axe est parallèle à celui du cylindre et qui est appliqué en A (*fig.* 2, Pl. 70), sera conduit par la totalité des cannelures, lorsque le cylindre tournera; en B, ce pignon ne rencontrera plus que la moitié des cannelures; en

C., il n'en rencontrera plus qu'une; en D, il n'en rencontrera plus une seule.

De là résulte que le nombre de tours faits par le pignon est proportionnel à la fois au nombre de tours faits par le cylindre et à la distance à laquelle le pignon se trouve placé sur le cylindre, à partir du point D.

Les cannelures du cylindre ont été disposées de telle sorte que le pignon étant placé en A tournera de neuf crans pour chaque révolution du cylindre.

Produit de deux nombres d'un seul chiffre. — Le produit de deux facteurs d'un seul chiffre peut donc s'obtenir de la manière suivante :

1° On reculera ou on avancera le pignon le long du cylindre dans la position correspondant à l'un des facteurs;

2° On fera faire au cylindre un nombre de tours indiqué par l'autre facteur;

3° On comptera le nombre de crans dont le pignon aura marché, ce dernier nombre sera le produit.

La position du pignon est déterminée par la petite échelle placée à droite de la partie supérieure et en avant de la machine.

On fait opérer au cylindre autant de révolutions qu'on le veut au moyen d'un des boutons placés en avant et vers la partie inférieure de la machine.

Enfin le nombre de crans dont le pignon a marché est indiqué sur la galerie inférieure des fenêtres placées en avant par les chiffres qui passent successivement à la dernière fenêtre à droite et aux fenêtres suivantes à mesure que le produit atteint 10, 100, 1 000, 10 000, etc.

Nous n'indiquerons pas encore comment s'opèrent les transmissions de mouvement de l'échelle au pignon, du bouton au cylindre et à l'aiguille qui marque, sur le cadran de droite, le nombre des révolutions de ce cylindre; enfin du pignon aux disques tournants qui font passer successivement devant les fenêtres à droite de la galerie inférieure les produits obtenus. Ces détails de construction, tout essentiels qu'ils sont, peuvent être momentanément laissés de côté.

Produit de deux nombres d'un seul chiffre significatif terminés par un ou plusieurs zéros. — Supposons maintenant un second, un troisième, un quatrième cylindre C′, C″, C‴ (*fig.* 3), tous égaux au premier, cannelés de la même manière et dont les axes indépendants les uns des autres et de l'axe du premier cylindre C, soient placés dans le prolongement de cet axe; puis, appliqués contre ces cylindres, une série de pignons P, P′, P″, P‴, fixés invariablement à une même broche solidaire avec la première échelle AB et maintenue à des distances égales les uns des autres, de telle sorte que chacun d'eux occupe la même position sur le cylindre correspondant relativement aux cannelures. La distance invariable est égale à la longueur d'un des cylindres augmentée de l'intervalle qui sépare deux cylindres consécutifs. On sait que le pignon P est en communication avec les chiffres qui passent devant la fenêtre à droite de la galerie et les suivantes; de même, le pignon P′ communique avec les chiffres qui passent devant la seconde fenêtre à droite et les suivantes; le pignon P″ avec les chiffres qui passent devant la troisième fenêtre à droite, et ainsi de suite. D'un autre côté, on détermine une révolution de chacun des cylindres C, C′, C″, C‴ suivant que l'on fait tourner d'un cran l'aiguille de chacun des cadrans appliqués sur la plaque intérieure de la machine en agissant sur les boutons les plus voisins de ces cadrans.

De là résulte qu'au lieu d'obtenir des unités au produit indiqué par les chiffres qui apparaissent aux fenêtres de la galerie inférieure, on obtiendra des dizaines, des centaines ou des mille, suivant que l'on fera tourner le bouton du second, du troisième ou du quatrième cylindre.

Il faut encore que le produit indique des dizaines, des centaines ou des mille, lorsque le multiplicande supposé d'un seul chiffre est marqué sur la seconde, sur la troisième ou sur la quatrième échelle d'en haut, en comptant de droite à gauche. Ce résultat s'obtient facilement de la manière suivante : A chacune des échelles correspond une série de pignons semblable à celle qui est solidaire de la première échelle de droite. Le premier pignon correspondant à la seconde échelle, celui qui engrène avec le premier cylindre C, est enfilé sur le même axe que le pignon P' de la première échelle qui engrène avec le second cylindre; le second pignon de la seconde échelle, celui qui engrène avec le second cylindre C', est enfilé sur le même axe que le pignon P'' de la première échelle, qui engrène avec le troisième cylindre, et ainsi de suite. Comme d'ailleurs les pignons P', P'', P''' correspondent respectivement sur la galerie inférieure à la seconde, à la troisième, à la quatrième fenêtre, en comptant de droite à gauche, il résulte de cette disposition qu'en faisant tourner le premier cylindre d'une quantité répondant au multiplicateur, on obtiendra au produit des dizaines, des centaines ou des mille, suivant que l'on aura marqué le multiplicande sur la seconde, sur la troisième ou sur la quatrième échelle.

Il résulte encore de cette disposition que si l'on a lu le multiplicande sur la troisième échelle, c'est-à-dire au rang des centaines, et qu'on fasse tourner le quatrième bouton, c'est-à-dire celui qui correspond aux mille dans le multiplicateur, le pignon qui tournera sera le septième et déterminera, sur la septième fenêtre de la galerie et sur les fenêtres suivantes, l'apparition d'un nombre exprimant des millions, comme cela doit être.

Produit de deux nombres de plusieurs chiffres. — Passons maintenant à une multiplication de deux facteurs composés de plusieurs chiffres; soit, pour reprendre un des exemples précédemment donnés, 24 569 à multiplier par 1 264.

Lorsque, à l'aide des cinq dernières échelles à droite, on a écrit le multiplicande 24 569, le premier pignon de chacune de ces échelles est placé sur le premier cylindre, de manière à tourner d'un nombre de crans égal au chiffre correspondant de l'échelle, pour chaque révolution entière du cylindre. Ainsi, le premier pignon à droite rencontrera les 9 cannelures du cylindre, le second pignon n'en rencontrera que 6, le troisième 5, le quatrième 4, le cinquième 2. En faisant une révolution, le cylindre entraîne simultanément plusieurs pignons, et, la révolution accomplie, chacun d'eux a tourné avec son axe de la quantité convenable.

Comme, d'ailleurs, les pignons fixés à la tige d'une même échelle sont placés de la même manière relativement aux cylindres successifs, on voit que la suite des pignons posés sur le second, sur le troisième, sur le quatrième cylindre sera, relativement à chacun de ces cylindres, comme la première série de pignons est relativement au premier. Seulement, ainsi que nous l'avons déjà dit, les pignons de chaque cylindre sont enfilés sur le même axe que le pignon qui suit d'un rang sur le cylindre précédent.

Cela posé, on conçoit bien comment on obtiendra successivement les unités, les dizaines, les centaines et les mille du produit en tournant les boutons, de manière à marquer 4 sur le cadran des unités, 6 sur celui des dizaines, 2 sur celui des centaines, 1 sur celui des mille. Comme d'ailleurs les disques dont les chiffres apparaissent aux fenêtres de la galerie tournent dans le même sens, les produits partiels s'ajoutent tout naturellement les uns aux autres, et lorsque l'on a fait tourner le dernier bouton à gauche, le produit total 31 055 216 se lit sur les fenêtres de la galerie.

Nous avons laissé de côté, dans tout ce qui précède, les transmissions de mouvement des échelles aux pignons qui en dépendent, des boutons aux cylindres correspondants, enfin des pignons aux disques tournants qui doivent amener les chiffres convenables devant les fenêtres de la galerie. Il est temps de nous en occuper.

Mouvement de translation des échelles aux pignons sur les cylindres. — Voyons d'abord ce qui concerne le mouvement de translation des pignons sur les cylindres.

Nous avons dit que chaque échelle porte autant de pignons que de cylindres, et que, sur chaque cylindre, le pignon d'une échelle a le même axe que le pignon de l'échelle suivante sur le cylindre précédent. Ainsi, dans le cas de quatre cylindres, il y a plusieurs séries composées de quatre pignons chacune, pignons qui sont enfilés sur un même axe. L'axe est fixe dans le sens de la longueur, mais il peut tourner librement sur lui-même, et quand un pignon qu'il enfile vient à tourner, il est entraîné dans ce mouvement de rotation, parce que la section de cet axe n'est circulaire que dans les collets où il tourne (*fig.* 4) ; quelle est demi-circulaire dans toute l'étendue parcourue par les pignons et que les pignons sont emboîtés à frottement doux sur l'axe, à l'aide d'un manchon demi-circulaire comme l'axe lui-même. Grâce à la forme de cette section, le pignon ne peut pas tourner sans l'axe, ni l'axe sans le pignon.

Pour maintenir constamment équidistants les pignons d'une même échelle, pour les placer tous à la même distance de la base sur le cylindre auquel chacun d'eux est appliqué, l'échelle dont la tige a été recourbée deux fois à angle droit porte autant de fourchettes équidistantes que de pignons. C'est en poussant l'échelle E (*fig.* 5) au cran convenable par rapport au repère R, le long des glissières G et G', que les fourchettes F, F', F'' entraînent avec elles les pignons correspondants le long des axes.

La *fig.* 6 donne une idée de la partie essentielle de ce mécanisme.

Communication de mouvement des boutons aux cadrans et aux cylindres. — Parlons maintenant de la communication du mouvement des boutons aux cadrans et aux cylindres correspondants.

La *fig.* 7 montre la partie du mécanisme relative à la communication du mouvement des boutons aux cadrans AA. Ces boutons agissent sur les quarrés des roues SX, lesquelles, au moyen de fuseaux, font tourner les roues ML centrées sur les mêmes cadrans que les aiguilles. Les unes et les autres sont maintenues par des cliquets à ressort EF, YZ, dont les extrémités entrent dans les crans des roues, et qui, cependant, cèdent à l'action des boutons, de manière à permettre à ceux-ci et aux aiguilles correspondantes de tourner dans les deux sens.

L'axe de chacune des roues SX, que le bouton met en mouvement, porte une roue qui engrène avec une autre roue concentrique au cylindre. C'est ainsi que les boutons communiquent leur mouvement de rotation aux cadrans, sur lesquels on marque les chiffres du multiplicateur et aux cylindres, qui font tourner les pignons correspondant au multiplicande.

Difficulté qui était à vaincre pour opérer les retenues; solution de MM. Maurel et Jayet. — Reste à parler de la communication de mouvement des pignons aux disques qui font passer les chiffres des produits devant les fenêtres de la galerie.

Une remarque préliminaire est indispensable.

Si chacun des cylindres ne faisait tourner qu'un seul pignon à la fois, il suffirait de disposer le mécanisme de telle sorte que chacun des axes tournât de la valeur d'un cran ou d'une unité, lorsque l'axe qui le précède immédiatement vers la droite aurait tourné de dix crans ou de dix unités. Or il existe beaucoup d'exemples de mécanismes de ce genre, mécanismes que l'on comprend sous le nom générique de *compteurs*. Les montres, les pendules, les horloges sont des compteurs dans lesquels le mouvement trèsrapide des premières roues est transmis à d'autres roues qui marchent beaucoup plus lentement, si bien que l'aiguille des heures ne fait un tour que quand l'aiguille des minutes en a fait 60 et que l'aiguille des secondes en a fait 3 600.

Mais dans la machine de MM. Maurel et Jayet, un même cylindre fait tourner plusieurs pignons à la fois. Il existait donc ici une difficulté majeure qui ne se rencontre pas dans les compteurs ordinaires. Il fallait trouver le moyen de transmettre le mouvement du premier axe au second, du second au troisième et ainsi de suite, lors même que ces axes tournent simultanément, de telle sorte que le mouvement imprimé par l'un quelconque de ces axes au suivant s'ajoutât au mouvement propre de celui-ci. Telle est la difficulté que MM. Maurel et Jayet ont vaincue avec un rare bonheur.

Le premier axe A (*fig.* 8 et 9), celui qui correspond au chiffre des unités, porte vers son extrémité extérieure un pignon *p* qui tourne avec lui. Supposons que le manchon M mobile autour de l'axe A*p* porte une roue R dentée intérieurement. Soit enfin un autre petit pignon *q*, enfilé sur un axe fixe *q*S et placé comme intermédiaire entre la roue R et le pignon *p*. Le mouvement de rotation de l'axe A*p* se transmettra à la roue R au moyen de cet intermédiaire, bien que la roue R soit mobile autour de l'axe A*p* et qu'elle ne soit pas entraînée directement par cet axe.

La roue R dentée intérieurement est aussi dentée extérieurement, et agit sur une roue R′ fixée invariablement sur l'axe qui porte le disque D, dont tous les chiffres doivent paraître successivement à travers la première fenêtre, à droite de la galerie inférieure.

Sur cet axe commun R′D, entre la roue R′ et le disque D, est fixée une rondelle R″ appelée *brideur* et qui ne porte qu'une seule dent. C'est cette dent qui est destinée à opérer la retenue, c'est-à-dire à faire tourner le second axe de la valeur d'un cran, lorsque le premier axe ayant tourné de dix crans a fait une révolution entière. Nous avons dit que ce mouvement particulier doit se transmettre du premier axe au deuxième, lors même que celui-ci est déjà en mouvement. Voyons comment on a pu y parvenir.

Que l'on se figure que la circonférence du bridon R″ soit en coïncidence parfaite avec un des arcs d'une pièce P (*fig.* 10), dont la forme est celle d'un polygone régulier de neuf côtés qui sont des arcs concaves. Cette pièce P est munie d'un manchon à l'aide duquel elle est mobile autour du second axe. Le bridon a pour effet de la tenir complétement immobile pendant qu'il tourne lui-même, tant que la dent *d* n'a pas été engagée. C'est à cette pièce P qu'est fixé l'axe S′*q*′, autour duquel tourne le petit pignon désigné par *q* dans la figure précédente, et qui est caché dans la *fig.* 10, comme se trouvant en arrière de P.

Pour compléter cette dernière figure, il faut imaginer qu'un mécanisme tout à fait semblable à celui qui est désigné par les lettres A, M, R, *p*, S, *q*, dans la *fig.* 8 est placé en arrière de la *fig.* 10; S′*q*′ coïncidant avec S*q*, et le manchon P avec le prolongement de l'axe *p*. Cela posé, lorsque le bridon aura fait un tour entier, la dent *d* engrènera dans une des entailles dont la pièce P est munie à son pourtour et la fera tourner d'un cran. L'axe S′*q*′ étant entraîné dans le même sens que la pièce P, c'est-à-dire en sens contraire de l'axe porte-pignon, fera un neuvième de révolution autour de l'axe du manchon P; dans ce mouvement, il entraînera la roue dentée intérieurement, que celle-ci soit ou non déjà en mouvement; et il l'entraînera dans le même sens où elle tourne déjà d'une quantité correspondante à l'espace occupé par un des chiffres sur le disque D′. C'est ainsi que ce disque correspondant au second axe, marquera, outre le chiffre propre à la rotation directe de ce second axe, ce qui doit y être ajouté pour retenues provenant de la rotation du premier disque.

Mécanisme particulier pour opérer la transmission de mouvement lorsque le nombre des axes excède six. — La communication du mouvement du premier axe au second étant bien comprise, il serait inutile d'aller plus loin en ce qui concerne le principe de la transmission des retenues; cette communication, qui est identiquement la même du second au troisième, du troisième au quatrième pouvait être employée pour un nombre quelconque d'axes.

Quoique, théoriquement, la chose n'offre aucune difficulté, on conçoit que dans la pratique, il n'en peut être ainsi. Puisque c'est le premier cylindre qui fait tourner le premier pignon et que la retenue s'opère par une transmission assez compliquée du premier pignon au second axe, et du second axe au troisième, on voit que si les trois disques à droite, par exemple, marquent des 9, lorsque l'on voudra ajouter une unité sur le disque le plus à droite, il faudra que les dents des bridons agissent simultanément. Or, cette simultanéité exige un effort qui croît rapidement avec le nombre des axes.

L'expérience a prouvé à MM. Maurel et Jayet qu'au delà du sixième disque la transmission simultanée devenait à peu près impossible. Ils ont donc cherché à remédier à ce grave inconvénient qui a été la pierre d'achoppement de la plupart des inventeurs de machine à calculs, et notamment de l'illustre Pascal lui-même. Voici comment ils y sont parvenus.

Ils ont interrompu la communication de mouvement du quatrième axe au cinquième, et ils ont emprunté au cylindre qui tourne la force nécessaire pour faire passer les retenues sur le cinquième axe et sur les suivants. De cette manière, toute difficulté disparaît dans le service des retenues, l'opération étant décomposée en autant d'opérations partielles qu'il le faut pour n'avoir jamais un trop grand nombre d'engrenages engagés à la fois à la suite les uns des autres.

Quant à l'exécution mécanique de cette idée, elle est assez simple. La dent du quatrième bridon est horizontale au lieu d'être verticale comme celle des bridons précédents. Elle engrène avec un pignon de quatre dents monté sur la même tige verticale qu'un excentrique qui fait une demi-révolution chaque fois que la dent du bridon a poussé deux des dents du pignon, ce qui arrive à toutes les révolutions du bridon. L'excentrique approche ou éloigne d'une dent qui est en saillie sur le cylindre un pignon muni lui-même de quatre dents, et dont chaque quart de révolution correspond à un des numéros du cinquième disque. Ce mouvement d'excentrique a pour effet d'amener la dent de ce dernier pignon sur le passage de la saillie du cylindre, chaque fois que le bridon a fait un tour. C'est donc bien sur l'axe de rotation du cylindre qu'est prise la force motrice qui opère les retenues sur le cinquième disque et sur les trois suivants.

Système de bridement général destiné à assurer les mouvements. — Pour que tous les organes qui viennent d'être décrits fonctionnent d'une manière convenable, pour que l'influence de ce que l'on appelle le *temps perdu* ne s'y fasse pas sentir; pour que les fenêtres de la galerie ne laissent jamais apparaître les chiffres que dans leur milieu; en un mot, pour que la machine marche avec une sûreté qui ne dépende pas de l'adresse de l'opérateur, MM. Maurel et Jayet ont imaginé un système de *bridement général* qui est un des points essentiels de cette machine.

Chacun des cylindres porte intérieurement une rainure EDF (*fig.* 11). A l'état de repos, le *cliquet général*, HGCBI, dont l'axe AB est parallèle à celui du cylindre et qui est mobile autour de cet axe, porte la cheville GH engagée dans la solution de continuité que la rainure présente en cet endroit. Mais, à peine le cylindre a-t-il commencé à tourner sous l'influence d'un des boutons que la cheville GH s'engageant dans la rainure soulève le bras CG et fait tourner le brideur autour de son axe AB. Dans ce mouvement de rotation, le bras BI fixé à l'autre extrémité de l'axe AB est soulevé aussi; une fourchette, que porte ce bras, fait basculer une demi-rondelle K, mobile autour d'un axe horizontal dont la direction est perpendiculaire à celle de l'axe AB du cliquet général. Cette rondelle en basculant lâche la petite roue L, qu'elle maintenait à l'aide d'une entaille qui y est pratiquée; alors l'axe LM devenu libre peut tourner, et nous allons voir comment cette rotation, ramenée vers la partie intérieure de la machine, produit le *bridement* désiré.

L'axe LM que nous représentons à part dans la *fig.* 12 porte, outre la petite roue à entaille L, quatre pignons M, Q, Q′, Q″. Les trois derniers Q, Q′, Q″ engrènent respectivement avec les roues C, C′, C″ fixées aux extrémités des trois cylindres. Le premier, M, engrène avec une roue X, dont l'axe est placé dans le prolongement de l'axe commun aux trois cylindres, et qui porte elle-même un petit tambour cylindrique appelé *brideur général.*

La *fig.* 13 représente l'élévation verticale du brideur général vu de bout. P est un des axes horizontaux porteurs des pignons d'opérations représentés par la lettre P dans les *fig.* 3, 4 et 6. Vers la partie antérieure de cet axe est fixé un *arrêt* CD. Cette pièce porte, par un de ses côtés en forme d'arc de cercle, sur la surface cylindrique du brideur général, et rend impossible tout mouvement, dans l'axe avec lequel elle fait corps, tant que l'un des pignons P n'est pas rencontré par les dents d'un des cylindres. Mais au moment même où l'un des pignons P vient à engrener avec les cannelures du cylindre correspondant, l'arrêt trouve dans le brideur général une solution de continuité, de sorte que le pignon et l'axe qui le porte, ainsi que l'arrêt lui-même, tournent librement jusqu'à ce que la révolution du cylindre étant accomplie, l'arrêt vienne se placer de nouveau sur le brideur général.

Telles sont les fonctions du cliquet général, de l'axe général, du brideur général et des arrêts. Ces organes, dont on vient de montrer la dépendance mutuelle, ont été adaptés à la machine dans le but unique de donner à sa marche une certitude, une régularité, une fixité parfaites.

Le but que se proposaient les auteurs est complétement atteint sous ce rapport. Le cliquet général AB porte à sa partie antérieure un bras coudé dans le genre de CGL, *fig.* 11, dont la cheville analogue à GL doit retomber dans un repère fixe lorsque les cylindres sont dans leur position de repos, lorsque celui d'entre eux qui était en mouvement a fait une révolution entière. Une position mauvaise du repère serait le signe certain d'une révolution non achevée, et, grâce à la solidarité de toutes les parties de la machine, on ne pourrait mouvoir aucune de ces parties autre que le cylindre qui n'est pas revenu à sa position de repos.

Mécanisme pour le ramènement à zéro. — Il est important, lorsqu'une opération est terminée, de ramener promptement à zéro les chiffres de la galerie et les aiguilles des cadrans. Cela se fait très-simplement en tirant de gauche à droite le bouton *b* placé à la droite et vers la partie inférieure de la machine, *fig.* 1. Ce bouton entraîne une plaque transversale qui porte une série de crochets fixes, lesquels vont s'engager dans les doubles coudes que porte l'essieu de chacun des disques chargés de chiffres. Mais pour que les essieux coudés puissent tourner sous l'influence de cette plaque à crochets, il faut que la communication soit interrompue entre les disques et les rouages qui, enfilés sur les mêmes essieux sont commandés par les cylindres, et ne peuvent tourner que quand les cylindres tournent eux-mêmes. On y parvient à l'aide d'un débrayage. La tige mue par le bouton *b* porte, en même temps que la plaque à crochets, une plaque qui, en s'avançant de gauche à droite, opère le débrayage nécessaire et qui rembraye en revenant de droite à gauche.

Le ramènement à zéro est la première chose que l'on doive faire avant de commencer une opération, que l'on veut distinguer de celles qui peuvent avoir été faites précédemment.

Mais si les opérations partielles peuvent être sans inconvénient confondues les unes avec les autres, et que l'on n'ait besoin que d'un résultat final, on peut, ou même on doit, dans certains cas, se dispenser de faire le ramènement à zéro.

Supposons, par exemple, que l'on cherche la somme d'une suite de produits de deux facteurs avec une machine munie d'une seule galerie. Après avoir fait le premier produit, on ne devra pas ramener à zéro; mais bien effectuer la seconde opération, comme si la première n'avait pas été faite, et on lira la somme des deux premiers produits sur les ouvertures de la galerie. En continuant de même pour un troisième, un quatrième, un n^o... produit, on lira successivement sur la galerie la somme des trois, des quatre, des n premiers produits.

Principe de la machine qui fait connaître la somme des produits sans cesser d'indiquer les produits partiels. — Les machines à double galerie ont l'avantage de faire connaître à la fois le dernier produit partiel et la somme de tous les produits obtenus jusque-là. Mais il faut y ramener chaque fois à zéro la galerie inférieure, celle qui est destinée à marquer les produits partiels.

Pour concevoir la construction d'une seconde galerie jouissant de la propriété qui vient d'être indiquée, il suffit d'imaginer que toute la partie inférieure du mécanisme, celle qui détermine le mouvement des disques derrière les fenêtres de la galerie inférieure, existe en double, et que le second mécanisme soit superposé au premier. Le ramènement à zéro, pour cette seconde galerie, se fait en écrivant sur les échelles un multiplicande égal au nombre qu'elle marque et en multipliant par 1 dans le sens de la soustraction. Le reste est nécessairement nul et tous les cadrans de la galerie sautent à zéro.

Application des principes précédents à l'addition et à la soustraction. — L'addition n'est qu'un cas particulier de la multiplication. On voit donc que l'on trouvera la somme d'une suite de nombres en les écrivant successivement sur les échelles et en multipliant chacun deux par l'unité.

Les mouvements de rotation des cylindres pouvant s'opérer dans les deux sens, on fera une soustraction en opérant la multiplication du plus petit nombre par l'unité en sens inverse de la multiplication du plus grand.

Mais il ne faut pas croire que la rotation en sens inverse peut avoir lieu indéfiniment comme la rotation en sens direct. Elle ne peut s'opérer que jusqu'à concurrence de la somme des nombres qui ont été inscrits sur la galerie par une rotation en sens direct.

Mécanisme particulier qui évite les tâtonnements dans la division. — Voici comment on est parvenu à donner à la machine cette propriété fondamentale.

Lorsque le ramènement à zéro vient d'être opéré tous les bridons sont, par rapport aux pignons des disques qu'ils font tourner, dans une position telle que la dent de chaque bridon vient à peine de franchir, dans le sens du mouvement direct, la *croix de Malte* sur laquelle il agit pour déterminer la rotation du disque correspondant. De plus, tous les bridons se commandent les uns les autres par l'intermédiaire d'engrenages, de sorte que si, dans la position correspondant à zéro, on vient à arrêter le dernier bridon à gauche, par un ressort fixé dans une encoche, aucun de ces bridons ne pourra tourner dans le sens inverse du mouvement. Si donc on a fait tourner quelques-uns des boutons dans le sens direct, de manière à marquer sur la galerie un nombre quelconque, on ne pourra *démarquer* sur cette même galerie, on ne pourra tourner en sens inverse que jusqu'à concurrence du nombre obtenu par le mouvement direct, car arrivé là on se trouvera à zéro.

L'effet de cette disposition si peu compliquée servirait de guide dans la soustraction, s'il en était besoin, pour une opération aussi simple : ainsi dans le cas où l'on voudrait soustraire un nombre d'un nombre plus petit, on serait averti de l'impossibilité du calcul par un arrêt insurmontable, que l'on rencontrerait lorsque les chiffres de la galerie marquent zéro. Mais l'utilité principale de l'arrêt consiste en ce qu'il évite toute espèce de tâtonnement dans la division. En effet, lorsqu'après avoir écrit le dividende sur la galerie et le diviseur sur les échelles, on veut chercher le quotient, tous les boutons auxquels correspondraient des unités trop élevées ne peuvent se mouvoir *sinistrorsum*. On ne cesse d'éprouver de la résistance à ce mouvement qu'arrivé au bouton du cadran sur lequel doivent être les plus hautes unités du quotient. On tournera donc ce bouton *sinistrorsum* jusqu'à ce que l'on éprouve une résistance qui empêche d'aller plus loin. Alors on passera au bouton qui le suit immédiatement vers la droite et on agira de même sur celui-ci, et l'on continuera ainsi jusqu'au dernier bouton à droite.

Sans l'arrêt, la division ne pourrait s'opérer que par voie de soustraction simple, parce que l'on manquerait complétement de guide. Avec l'arrêt, la division devient, par la machine de MM. Maurel et Jayet, une opération aussi sûre et aussi prompte que la multiplication. Cet arrêt est représenté dans la *fig.* 14.

Il ressort d'ailleurs de tout ce qui précède que, la division étant terminée, la galerie indique le reste s'il y en a un.

Opérations numériques faites avec la machine. — Notre examen n'aurait pas été complet si nous n'avions pas cherché à nous rendre compte de l'avantage qu'il peut y avoir, dans la pratique, à employer la nouvelle machine à calcul.

Sans reproduire ici les détails des expériences faites par la commission, on dira seulement que dans ces essais M. Maurel, avec la machine, a mis moins de temps à faire une opération complète qu'il n'en faudrait pour *écrire* la même opération sur le papier, connaissant tous les éléments partiels de cette opération.

Toutefois, cette prodigieuse rapidité pourrait évidemment entraîner quelques erreurs, si l'on se croyait astreint à opérer toujours avec autant de précipitation.

. . . .

Résumé et conclusions. — La machine à calculs présentée à l'administration par MM. Maurel et Jayet nous paraît un des appareils les plus ingénieux et les plus parfaits qui aient jamais été imaginés. Le mécanisme a ce caractère remarquable que, nonobstant son extrême complication, il n'offre aucune des chances de dérangement ou de rupture qui se trouvent dans une foule de machines plus simples et moins sujettes à dérangement en apparence. La manière d'opérer est si simple qu'elle peut être apprise en quelques instants par un enfant, par une personne d'une intelligence bornée, n'ayant aucune notion de calcul et sachant seulement lire les nombres. Les opérations se font avec une rapidité telle qu'il ne faudrait pas moins de temps pour en inscrire sur le papier toutes les phases supposées connues que pour les achever à l'aide de la machine. Le prix est encore fort élevé ; mais il baisserait sans aucun doute, dans une très-forte proportion, si le nombre des commandes était assez considérable.