REVUE UNIVERSELLE

DES MINES, DE LA MÉTALLURGIE
DES TRAVAUX PUBLICS, DES SCIENCES ET DES ARTS
APPLIQUÉS A L'INDUSTRIE

ANNUAIRE DE L'ASSOCIATION
DES INGÉNIEURS SORTIS DE L'ÉCOLE DE LIÉGE

SOUS LA DIRECTION DE

M. CH. DE CUYPER

Professeur ordinaire à la Faculté des sciences de l'Université de Liége,
Inspecteur des études à l'École des arts et manufactures et des mines,
Membre honoraire de l'Association des Ingénieurs,

ET DE

M. A. HABETS

Ingénieur honoraire des mines,
Directeur des publications de l'Association des Ingénieurs sortis de l'École de Liége.

Propr.-gérant : M. A. NOBLET, ingénieur civil

DEUXIÈME SÉRIE
De la Revue universelle des mines, etc.

TROISIÈME SÉRIE
De l'Annuaire de l'Association des Ingénieurs

TOME VIII
1880. — 2e SEMESTRE

PARIS
9, rue des Sts-Pères

LIÉGE
70bis, Avenue d'Avroy

ARITHMOMÈTRE DE THOMAS.

PRINCIPE FONDAMENTAL, DESCRIPTION ET USAGE,

PAR

M. A. CAVALLERO,

Professeur de machines à vapeur et de chemins de fer à l'École d'application des ingénieurs et Président de l'Institut royal technique de Turin.

Des différentes machines destinées à venir en aide aux calculateurs en remplaçant une grande partie de calcul mental par de simples opérations mécaniques, la plus parfaite est, sans contredit, celle dont M. Thomas de Colmar a posé le principe en 1822 et qu'il a successivement perfectionnée au point de permettre aux ingénieurs, aux observatoires astronomiques, aux banques, aux compagnies de chemins de fer, aux sociétés d'assurances, d'en tirer tous les avantages pratiques désirables.

Cette machine à calculer a fait l'objet de rapports particuliers à l'Académie des sciences, ainsi qu'à la Société d'encouragement, et diverses instructions ont été publiées en vue d'en vulgariser l'usage. Parmi ces instructions, celle que M. le Commandeur A. Cavallero a insérée dans le Tome VIII des *Annales de l'Institut royal technique de Turin*, se distingue surtout par la clarté de l'exposition et par l'ordre méthodique des détails des diverses opérations. C'est après avoir reconnu par son expérience personnelle l'aide puissante que tout calculateur, chargé de composer des tableaux numériques, peut trouver dans l'Arithmomètre, que ce savant ingénieur s'est décidé à résumer, dans une note assez étendue, le principe de sa construction et les procédés de son application.

Nous avons cru que les lecteurs de la *Revue* accueilleraient avec intérêt la traduction de la partie essentielle de ce travail, et c'est avec l'autorisation de l'auteur que nous nous empressons de la faire paraître.

C. D. C.

I.

Principe fondamental de l'arithmomètre de Thomas. — Pour élucider la description que nous nous proposons de faire de l'arithmomètre de Thomas, nous croyons utile d'exposer, avec tout le développement nécessaire, le principe fondamental de cette machine, dont l'énoncé sommaire se résume dans l'emploi de roues dentées composées chacune d'un nombre de dents variable à volonté.

Imaginons un petit cylindre mobile autour d'un axe horizontal, denté sur un peu moins de la moitié de son pourtour et portant neuf dents dont la longueur varie en croissant uniformément d'une dent à l'autre; la première occupe $^1/_9$ de la longueur du cylindre, la deuxième $^2/_9$, la troisième $^3/_9$ et ainsi de suite jusqu'à la dernière qui occupe toute la longueur.

Parallèlement et à côté de ce cylindre, qui reçoit son mouvement de rotation d'une manivelle montée à l'une de ses extrémités, est placé un second axe de rotation, à section carrée, sur lequel glisse un pignon cylindrique de dix dents. La distance entre les deux axes est telle que le pignon occupant une position convenable sur son axe, engrène à chaque tour du cylindre avec un certain nombre de dents de celui-ci, ou bien n'est rencontré par aucune.

S'il est placé sur le premier neuvième de la longueur du cylindre, il ne pourra être rencontré que par la plus longue dent de celui-ci, de sorte que pour une révolution entière du cylindre il ne tournera que d'une dent ou d'un dixième de tour. S'il se place sur le cinquième neuvième, il sera rencontré par cinq dents du cylindre, et, à chaque révolution de celui-ci, il tournera de cinq dixièmes de tour. Enfin, s'il glisse au delà du dernier neuvième, il ne fera prise avec aucune dent du .cylindre.

Imaginons encore : 1° que le pignon, en se déplaçant sur son axe, entraîne avec lui un index glissant le long d'une échelle graduée, sur laquelle, à égale distance entre eux et en correspondance successive avec chacune des divisions de la longueur du cylindre, sont inscrits les chiffres 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9; 2° qu'à l'une des extrémités de l'axe de rotation du même pignon se trouve solidairement appliqué un disque portant les dix chiffres ci-dessus, uniformément répartis sur sa circonférence ; 3° qu'enfin chacun de ces chiffres, dans la rotation du pignon et du disque, apparaisse à une lucarne pratiquée dans une paroi du bâti de tout le mécanisme. On conçoit qu'au moyen d'une pareille disposition de ces divers organes, si l'on veut faire comparaître dans la lucarne un des chiffres 0, 1, 2, etc..., il suffira de placer l'index annexé au pignon sur le chiffre correspondant de l'échelle, et d'imprimer simplement un tour de manivelle.

Par exemple, l'index se trouvant sur le chiffre 5 de cette échelle, le pignon fera prise avec cinq dents du cylindre, il avancera ainsi de cinq dents pendant la rotation de la manivelle ou du cylindre, et le chiffre 5 du disque ou du cadran viendra se placer dans la lucarne.

L'instrument étant réduit à un seul cylindre avec son pignon, son cadran et sa lucarne, ne pourrait reproduire que des nombres d'un seul chiffre. En conséquence, pour représenter d'une manière analogue un nombre de plusieurs chiffres ou ordres d'unités, il faudra ajouter à côté du système précédent autant d'autres systèmes identiques, composés chacun d'un cylindre, d'un pignon, d'un cadran et d'une lucarne, qu'on veut obtenir d'ordre d'unités.

On pourra alors simplifier la structure de l'instrument sous le rapport du mouvement simultané de rotation des différents cylindres, en transmettant ce mouvement par l'intermédiaire de roues d'angle, commandées par un même arbre de couche, à l'extrémité duquel est montée la manivelle motrice. En conséquence, en supposant que les systèmes soient au nombre de 8, on pourra, dans les 8 lucarnes correspondantes, inscrire les nombres entiers depuis 0 jusqu'à 99 999 999, et cela en donnant pour chaque nombre un seul tour de manivelle motrice.

II.

Mécanisme spécial destiné à exécuter les retenues ou reports d'un cadran à l'autre. — Un certain nombre A étant inscrit dans les lucarnes de l'instrument, supposons que, laissant ce nombre tel qu'il est, on dispose les index des pignons de manière à marquer un autre nombre entier B tel que la somme A + B n'exige aucun report ou retenue dans le passage d'un ordre d'unités au suivant. Il est évident que cette somme viendra se placer aux lucarnes par un second tour qui sera imprimé dans le même sens à la manivelle motrice.

Si, au contraire, quelques-uns des chiffres des deux nombres A et B, correspondant au même ordre d'unités, donnent, par leur somme, un nombre plus grand que 9, il faudra reporter la partie de ce total qui excède 9 à l'ordre d'unités immédiatement supérieur, c'est-à-dire au cadran suivant. On comprend qu'un pareil report doit pouvoir s'effectuer indépendamment du mouvement du cylindre auquel appartient ce dernier cadran, et, de plus, sans devoir en déplacer le pignon de sa position actuelle.

La nécessité de ces retenues d'un cadran à l'autre explique la lacune des dents sur une partie du pourtour de chaque cylindre.

Après un demi-tour, ce cylindre a déjà fait avancer le pignon du nombre de dents qui correspond au chiffre particulier à marquer par son cadran. Puis, pour le reste du tour, il tourne à vide sans plus commander le pignon ; ce dernier reçoit alors le mouvement du cylindre d'ordre immédiatement inférieur, de la manière suivante : A l'instant où le disque de ce système qui doit marquer un nombre plus grand que 9, fait apparaître dans la lucarne le zéro qui suit le chiffre 9, il fait en même temps agir un doigt qui, poussé par un ressort, déplace un petit bouton solidaire avec l'axe de rotation du cylindre en question. Ce bouton, dans son déplacement, engrène avec un second pignon également, de dix dents, monté en un point fixe sur l'axe de rotation du disque du système suivant, et le fait avancer d'une dent, tandis que le pignon mobile sur cet axe tourne à vide.

En conséquence, le disque ci-dessus, qui, pendant que son cylindre achève sa rotation, ne participe plus à ce mouvement, avance encore d'un chiffre et effectue le report voulu ; en même temps le ressort réagit et ramène le doigt et le bouton à leurs positions premières.

En ce qui concerne le mécanisme que nous venons de décrire et qui a pour objet l'enregistrement des retenues, nous avons à ajouter une observation importante.

Pour faciliter la manœuvre de la manivelle et assurer la bonne conservation de la machine, il importe que les résistances que le mécanisme oppose dans les reports des retenues de plusieurs ordres-unités aux unités supérieures ne se développent pas toutes en même temps, mais bien successivement.

M. Thomas a réalisé ce perfectionnement en distribuant les dents des différents cylindres de manière qu'elles occupent des parties différentes des surfaces latérales par rapport à un plan fixe de comparaison, qui est le plan des axes géométriques de tous les cylindres.

III.

Mécanisme commutateur du sens de la rotation des cadrans, afin d'effectuer les soustractions au lieu des sommes. — Nous avons indiqué la manière aussi simple que sûre d'effectuer avec l'arithmomètre la somme de deux nombres entiers quelconques A et B. On dispose successivement les boutons-indicateurs de manière à marquer sur leurs échelles, d'abord le nombre A et puis le nombre B.

A peine le nombre A est-il inscrit qu'un premier tour de la manivelle motrice le fait apparaître dans les lucarnes; puis, ayant marqué le nombre B, un second tour de manivelle dans le même sens amène aux lucarnes la somme A + B.

Supposons maintenant, pour fixer les idées, que B soit plus petit que A et qu'on doive soustraire B de A, c'est-à-dire obtenir la différence A—B, au lieu de la somme des deux nombres. Si l'on pouvait faire tourner la manivelle en sens contraire, on concevrait facilement qu'après avoir enregistré le nombre A dans la lucarne par un premier tour et marqué le second nombre B avec les pignons indicateurs, un second tour de manivelle dans le sens opposé fît apparaître dans la lucarne la différence A — B au lieu de la somme A + B.

Mais, comme il convient, surtout pour pouvoir enregistrer facilement le nombre des tours de la manivelle, de conserver le même sens de rotation, M. Thomas est parvenu à réaliser cet avantage en ajoutant un troisième mécanisme spécial, dont nous indiquerons la partie essentielle. Les disques-cadrans ne sont pas montés, comme nous l'avons indiqué pour plus de simplicité, directement sur les axes de rotation des pignons indicateurs, mais ils en reçoivent le mouvement au moyen de trois petites roues d'angle disposées de telle sorte que deux d'entre elles tournant dans le même sens avec l'axe du pignon et par suite avec la manivelle-motrice, la troisième, qui entraîne le cadran, puisse tourner à volonté dans l'un ou l'autre sens.

Pour renverser la rotation des cadrans par rapport à celle de la manivelle motrice, on fait usage d'un levier combiné avec d'autres organes. On comprend qu'ainsi, en continuant la rotation de la manivelle dans le même sens, on obtiendra sur les cadrans la différence au lieu de la somme des deux nombres. Nous désignerons par la suite, sous le nom de *commutateur*, le mécanisme particulier dont nous venons d'indiquer la fonction.

IV.

Description de l'arithmomètre. — Le développement donné à l'exposition du principe fondamental de la construction de l'arithmomètre nous dispense d'entrer ici dans les détails de sa description, pour lesquels nous renvoyons à la légende qui se trouve à la suite de cet article. Nous nous bornerons aux indications suivantes :

La fig. 1 de la planche 14 est, en projection horizontale, la réduction au $^1/_3$ de l'arithmomètre complet, vu dans sa cassette dont on a enlevé le couvercle. Les fig. 2 et 3 sont les projections horizontales, en véritable grandeur : 1° d'une partie de l'instrument sans les deux plaques superposées aux deux parties fixe et mobile du mécanisme, et 2° d'une portion de la partie mobile vue de bas en haut et supposée détachée du mécanisme placé en dessous.

On peut considérer le mécanisme entier de l'arithmomètre comme composé de cinq mécanismes distincts, à savoir : 1° Le système des tambours ou cylindres dentés et des pignons qui en dépendent, lequel sert à former la somme des nombres entiers qui n'exigent aucun report d'un ordre d'unités à l'autre; 2° d'un mécanisme spécial qui, lorsque les sommes à effectuer exigent des reports ou retenues, opère ces retenues indépendamment des cylindres susdits; 3° d'une série de disques ou cadrans appliqués sur une plaque mobile, à l'effet de multiplier entre eux deux nombres entiers quelconques, c'est-à-dire avec un multiplicateur ayant plus d'un chiffre; 4° d'un commutateur ou mécanisme pour renverser le mouvement des organes qui doivent exécuter les opérations voulues, afin de mettre l'instrument à même de soustraire et diviser au lieu d'additionner et multiplier; 3° d'une série particulière de cadrans servant à enregistrer le nombre de tours de manivelle. Nous allons examiner séparément et dans l'ordre indiqué chacun de ces mécanismes partiels.

Au moyen d'une manivelle montée sur un axe vertical près de l'extrémité droite de l'arithmomètre (fig. 1 et 2), on communique un mouvement de rotation à un arbre de couche horizontal, qui le transmet à huit cylindres également horizontaux et munis de dents de longueurs différentes sur la moitié environ de leur pourtour. Avec ces cylindres, et suivant le nombre de dents correspondant au chiffre que chaque cylindre doit reproduire, on met en prise autant de pignons mobiles le long d'axes de section carrée et parallèles aux axes des cylindres. De cette manière et pour autant que dure l'engrènement des cylindres et des pignons, on fait tourner les cadrans, que nous appellerons dorénavant *cadrans principaux* ou *supérieurs*, et qui amènent aux lucarnes supérieures les chiffres de tout nombre entier qui ne se compose pas de plus de huit chiffres. Les pignons sont mis en position au moyen des échelles graduées de 0 à 9, qui sont gravées sur la plaque de l'arithmomètre, le long d'un même nombre de coulisses, dans chacune desquelles glisse, dans les deux sens, un bouton à index.

Les boutons entraînent les pignons et les placent au point voulu. Le nombre donné est inscrit dans les huit premières lucarnes supérieures de droite, par un tour de manivelle exécuté dans le sens de la marche des aiguilles d'une montre.

A chaque tour de la manivelle, les cadrans restent immobiles pendant l'intervalle de temps où les cylindres, n'étant plus en prise avec les pignons, tournent à vide. Or, ces intervalles de temps sont mis à profit pour pouvoir, par un second tour de manivelle, après lequel doit apparaître dans les lucarnes supérieures la somme du nombre précédent avec lui-même, effectuer les retenues d'un cadran à l'autre ou enregistrer les tours entiers faits par chaque cadran sur le cadran suivant à gauche. Pour cet objet, à peine un des cadrans fait-il apparaître le chiffre 9 dans sa lucarne que, grâce à une disposition convenable des dents sur les différents cylindres, commence l'action à vide du cylindre suivant à gauche ; en d'autres termes, celui-ci cesse de faire marcher son cadran. En même temps, une dent annexée au cadran du cylindre précédent a déjà armé un déclic à ressort, au moyen duquel le même cylindre fait communiquer le mouvement au cadran suivant mentionné ci-dessus, mais seulement pour faire avancer un seul chiffre, vu qu'aussitôt le ressort réagit et interrompt cette communication de mouvement. De la sorte, le dernier des cadrans considérés tient compte du tour entier donné au cadran précédent à droite.

Les cadrans mentionnés jusqu'à présent sont disposés sur une partie de l'instrument que nous appellerons *plaque mobile* ou *glissante*, vu qu'on peut à volonté la faire glisser de gauche à droite et réciproquement. Afin de bien comprendre la fonction de cette plaque, supposons qu'on ait à additionner un nombre entier plus de 9 fois avec lui-même, c'est-à-dire le multiplier par un autre nombre entier composé de plus d'un chiffre. Comme alors le nombre entier, exprimant le produit qui doit demeurer inscrit dans les lucarnes supérieures, pourra contenir plus de huit chiffres et, par suite, devra occuper d'autres lucarnes que les huit premières à droite, on voit, en raison du nombre limité des cylindres, la nécessité de les mettre en prise avec quelques-uns des cadrans correspondant aux nouvelles lucarnes. D'autre part, il est à noter, par exemple, qu'après les neuf premiers tours de la manivelle motrice les tours suivants ne peuvent plus altérer le chiffre des unités simples du produit, c'est-à-dire le chiffre inscrit dans le premier cadran à droite, qu'on pourra rendre indépendant du premier cylindre de droite en mettant le second cadran en communication avec ce cylindre, le troisième cadran avec le second cylindre, et ainsi de suite jusqu'au neuvième cadran avec le huitième cylindre. Il faudra de même dégager le second cadran de droite du premier cylindre, avec lequel il se trouve en prise, et déplacer d'une manière analogue les cadrans successifs de la gauche vers la droite dès que le nombre des tours de la manivelle aura dépassé 99, ou bien, en d'autres termes, dès qu'on devra multiplier le premier nombre donné par le chiffre des centaines d'un multiplicateur de trois chiffres.

Telle est la raison d'être de la plaque mobile de l'arithmomètre, laquelle, transportée dans ses différentes positions, est maintenue au point voulu par une dent, qui fait saillie sur sa face inférieure et pénètre dans des encoches pratiquées dans le bâti de l'instrument. Pour faire glisser cette plaque dans l'un ou l'autre sens, on la soulève par le bord longitudinal inférieur en la faisant tourner autour d'un axe horizontal attaché à l'autre bord parallèle et qui glisse dans des anneaux fixés sur le bâti.

Le mécanisme commutateur dont nous avons indiqué l'objet, ou le mode d'action, a pour organe principal un levier, dont on voit, fig. 1, l'extrémité armée d'un bouton. Ce levier se meut verticalement dans une courte coulisse ménagée dans la plaque fixe de l'arithmomètre, parallèlement aux coulisses des huit boutons à index, et aux extrémités de laquelle se trouvent les inscriptions : *Addition. Multiplication* et *Soustraction. Division*. En poussant le levier contre l'une ou l'autre de ces extrémités, on renverse, au moyen d'organes de transmission visibles dans la fig. 2, le sens de la rotation des cadrans supérieurs ou principaux, tandis que la manivelle motrice continue à tourner dans le même sens. Au nombre des organes désignés ci-dessus, nous signalerons les trois roues d'angle, qui servent à transmettre le mouvement à chaque cadran, et dont deux, tournant autour d'un axe horizontal commun, qui est l'axe même du pignon indicateur correspondant, se trouvent reliées entre elles par un manchon mobile le long de cet axe. Le levier du commutateur, passant de l'une à l'autre position extrême, ne fait que déplacer légèrement le long de cet axe les deux dernières roues.

Par ce déplacement, la roue annexée au cadran et qui s'engrenait, par exemple, avec celle des deux roues placées en dessous, qui correspond au mouvement direct pour l'addition et la multiplication, vient s'engrener avec l'autre roue et imprime au cadran le mouvement rétrograde de la soustraction et de la division.

En ce qui concerne le dernier mécanisme partiel, c'est-à-dire le compteur des tours de la manivelle motrice, il suffira d'indiquer qu'il se compose de neuf autres cadrans, qui correspondent aux lucarnes inférieures (fig. 1) et que nous appellerons cadrans inférieurs.

Ces cadrans sont commandés par la manivelle motrice au moyen d'un rouage particulier (fig. 2), qui ne fait marcher qu'un seul cadran à la fois, lequel change avec la position de la plaque mobile.

Ainsi, dans la disposition indiquée (fig. 1), le cadran, qui reçoit seul le mouvement à chaque tour de la manivelle, est le premier à droite. En faisant avancer la plaque mobile de une, deux, trois encoches vers la droite, le mouvement de la manivelle fera marcher le deuxième, le troisième cadran.

En achevant ici la description de l'arithmomètre, nous appellerons encore l'attention sur les deux crémaillères annexées respectivement à la série des cadrans supérieurs et à celle des cadrans inférieurs, ainsi que sur les boutons placés à côté de chacun des cadrans des deux séries.

Les crémaillères servent à ramener au zéro à la fois et rapidement les deux séries de cadrans, en faisant tourner dans le sens voulu les deux gros boutons appliqués aux extrémités de la plaque mobile. Les petits boutons placés à côté des cadrans servent à ramener séparément chacun d'eux à zéro, ou à tout autre chiffre donné. Mais les deux crémaillères, comme les deux petits boutons des dix premiers cadrans principaux de droite, ne peuvent se mouvoir qu'après que la plaque mobile a été soulevée. L'une et l'autre crémaillère, lorsque tous les cadrans sont ramenés à zéro, rentrent d'elles-mêmes dans leurs guides propres par l'action d'un ressort de montre placé sur l'axe de chacun des gros boutons qu'il suffit de relâcher légèrement.

V.

Mode d'effectuer avec l'arithmomètre les opérations de l'arithmétique. — L'exposition qui précède suffit pour faire comprendre sans difficulté les manœuvres à faire pour exécuter avec cette machine n'importe quel calcul numérique, surtout si l'on remarque qu'elles n'exigent la connaissance d'aucune règle particulière, et qu'elles suivent rigoureusement les règles ordinaires de l'arithmétique. L'opération première et fondamentale qu'on doit savoir exécuter a pour objet l'inscription d'un nombre donné dans les cadrans principaux, à savoir : 1° lorsque le nombre donné ne contient pas plus de huit chiffres; 2° lorsqu'il se compose de plus de huit chiffres; 3° lorsqu'il se termine par un ou plusieurs zéros.

Soit donné, par exemple, le nombre 87,534,672 à inscrire dans les huit lucarnes supérieures de droite (fig. 1). En partant de la gauche, on placera successivement les boutons indicateurs en regard des chiffres 8, 7, 5, 3, 4, 6, 7, 2; puis, après avoir tourné le lever du commutateur contre l'extrémité qui se rapporte à la somme, tous les cadrans principaux étant à zéro, on donnera un tour à la manivelle motrice et l'on verra apparaître dans les huit lucarnes de droite le nombre proposé 87,534,672.

Si l'on voulait inscrire le nombre 9,999,999,999,999,999, qui est le plus grand nombre composé de 16 chiffres, il est clair que la partie formée des huit premiers chiffres de droite pourra être reproduite entièrement dans les huit premières lucarnes supérieures de droite, suivant le mode indiqué ci-dessus. On remplira ensuite les huit autres lucarnes de gauche, avec les chiffres restants, au moyen des petits boutons annexés aux lucarnes mêmes, en ayant soin toutefois, pour les deux premières à droite, de tenir la plaque mobile soulevée.

L'exemplaire représenté pl. 14, et qui correspond à la seconde des quatre grandeurs que l'inventeur a adoptées pour son arithmomètre, ne peut produire un nombre supérieur à celui que nous considérons ici.

Rappelant enfin ce que nous avons dit plus haut sur le rôle de la plaque mobile, il convient de reconnaître que les nombres composés de plus de huit chiffres, mais dont les chiffres au-delà de huit sont autant de zéros placés à droite, peuvent s'inscrire plus expéditivement par le procédé indiqué pour le premier cas. Ainsi pour le nombre 5,786,430,000, composé de dix chiffres, après avoir mis tous les cadrans supérieurs à zéro, on fera glisser la plaque mobile de deux encoches, de manière à dégager du mécanisme moteur les deux premiers cadrans à droite; puis, ayant inscrit avec les boutons indicateurs dans leurs huit coulisses le nombre de huit chiffres 57,864,300, un simple tour de manivelle suffira pour faire apparaître d'un trait, dans les dix premières lucarnes de droite, le nombre 5,786,430,000.

VI.

Addition des nombres entiers et des nombres décimaux. — Chaque tour de la manivelle motrice reproduisant dans les lucarnes supérieures le nombre inscrit dans les coulisses, et l'arithmomètre opérant de lui-même les reports de l'un à l'autre ordre d'unités, il est évident que: 1° Si ce nombre reste le même, il suffira de 2, 3, 4,.... tours de manivelle pour en obtenir successivement dans les lucarnes le double, le triple, le quadruple; 2° Si, à chaque tour de manivelle, on change le nombre représenté par les boutons indicateurs, le nombre final obtenu dans les lucarnes après le dernier tour sera la somme de tous les nombres inscrits successivement dans les coulisses.

En conséquence, la marche à suivre pour obtenir, au moyen de l'arithmomètre, la somme d'autant de nombres entiers qu'on voudra, se réduit aux opérations suivantes :

a) Placer les cadrans principaux et les boutons à zéro ;

b) Disposer le commutateur pour la somme ;

c) Inscrire successivement dans les coulisses les nombres à additionner et donner un tour de manivelle après chacune de ces inscriptions.

Le même procédé pourra être étendu aux nombres décimaux, après les avoir préalablement réduits au même dénominateur. Par exemple, soient donnés les nombres **23**,41 ; **218**,815 ; **3574**,0242 ; **968**,7, qui, réduits à avoir le même nombre de décimales, deviennent **23**,4100 ; **218**,8150 ; **3574**,0242 ; **968**,7000. Considérés alors comme nombres entiers par la suppression des virgules, on les inscrira successivement dans les coulisses, et l'on donnera un tour de manivelle après chaque inscription. On obtiendra ainsi, dans les lucarnes supérieures, le nombre 47849492, dont on séparera à droite par une virgule les quatre premières décimales, de manière à obtenir pour le total cherché **4784**,9492. Cette séparation des chiffres décimaux peut se faire au commencement de l'opération au moyen d'épingles d'ivoire, dont l'arithmomètre est munie, et de petits trous forés à cet usage entre les lucarnes tant supérieures qu'inférieures ; dans le cas qui nous occupe on enfoncera une épingle dans le quatrième trou à la droite de la rangée des lucarnes supérieures.

VII.

Soustraction et preuve. — On connaît le rôle du commutateur, c'est-à-dire on sait qu'il suffit de pousser le levier de ce mécanisme contre l'extrémité de sa coulisse, qui porte l'inscription *Soustraction-Division* pour qu'un tour de la manivelle motrice, au lieu d'opérer une somme, soustraie le nombre exprimé dans les coulisses de celui qui est marqué dans les lucarnes supérieures.

La machine opère d'elle-même les emprunts à faire entre les divers ordres d'unités. En conséquence, voici la marche à suivre pour soustraire un nombre entier ou un nombre décimal d'un autre nombre, en ayant soin, pour les nombres décimaux, de les réduire d'abord à avoir le même nombre de décimales :

a) Ramener les cadrans principaux et les boutons à zéro, et disposer le commutateur pour la somme ;

b) Représenter le plus grand nombre au moyen des boutons à index et, par un tour de manivelle, le reproduire dans les lucarnes supérieures ;

c) Mettre le commutateur au point correspondant à la soustraction ;

d) Inscrire le nombre à soustraire dans les coulisses et donner un second tour de manivelle, après lequel on verra apparaître dans les lucarnes supérieures la différence cherchée.

Le commutateur étant ramené au premier point, il est clair qu'un troisième tour de manivelle reproduira le plus grand nombre dans les lucarnes supérieures, offrant ainsi un moyen très simple d'avoir la preuve de la soustraction effectuée.

VIII.

Multiplication; limites des nombres auxquelles cette opération peut être poussée avec l'arithmomètre. — La multiplication d'un nombre entier par un autre nombre entier d'un seul chiffre s'exécute, après avoir inscrit le multiplicande dans les lucarnes supérieures, en donnant autant de tours de manivelle qu'il y a d'unités dans le multiplicateur. Si ce dernier contient plus d'un chiffre, ainsi que nous l'avons déjà indiqué au sujet de la plaque mobile, on opérera comme suit :

a) Ramener à zéro les cadrans principaux, les boutons indicateurs et les cadrans inférieurs.

b) Placer le commutateur au point de la multiplication;

c) Inscrire le multiplicande dans les coulisses;

d) Donner autant de tours de manivelle qu'il y a d'unités dans le premier chiffre du multiplicateur; on verra apparaître dans les lucarnes supérieures le premier produit partiel, et dans la première lucarne inférieure à droite restera inscrit le chiffre considéré du multiplicateur.

e) Transporter la plaque mobile d'une encoche vers la droite et donner autant de tours de manivelle qu'il y a d'unités dans le chiffre des dizaines du multiplicateur.

Ce chiffre se trouvera reproduit dans la seconde lucarne inférieure et dans les lucarnes supérieures on aura la somme des deux premiers produits partiels. On continue ainsi jusqu'à entier épuisement du multiplicateur, qui finira par être reproduit entièrement dans les lucarnes inférieures.

Pour les nombres décimaux on procédera comme pour les nombres entiers, en séparant à droite autant de chiffres décimaux qu'en comptent les deux facteurs.

La multiplication de plusieurs nombres entre eux s'opérera rapidement par l'emploi de l'arithmomètre, en suivant une marche analogue à celle indiquée ci-dessus, d'abord pour les deux premiers facteurs, puis pour le produit résultant et le troisième facteur et ainsi de suite.

Il est facile de reconnaître jusqu'à quel point il est possible de pousser l'emploi de l'arithmomètre pour la multiplication des nombres. Il suffit de remarquer que le produit final, devant être inscrit dans les 16 lucarnes supérieures, ne pourra jamais avoir plus de 16 chiffres, et que d'autre part le nombre des chiffres d'un produit de nombres entiers est égal à la somme des nombres des chiffres des différents facteurs, ou à cette somme moins un.

De ces observations on conclut évidemment qu'un arithmomètre à 16 lucarnes supérieures, tel que celui qui est représenté planche 14, peut au plus multiplier un nombre composé de 8 chiffres par un autre nombre également de

8 chiffres, ou un nombre de 9 chiffres par un autre de 7 chiffres, vu qu'on doit encore ajouter aux considérations qui précèdent cette autre que le nombre des chiffres du multiplicateur ne peut dépasser celui des cylindres, qui est huit pour les arithmomètres, à 16 lucarnes supérieures. On pourra encore multiplier des nombres de 9 et 10 chiffres, respectivement par des nombres de 8 et 7 chiffres, lorsque le produit ne contiendra pas plus de 16 chiffres.

En conséquence, le nombre des lucarnes supérieures constitue un élément caractéristique de la puissance de l'arithmomètre dont les différentes grandeurs se distingueront entre elles par la simple indication de ce nombre (1).

IX.

Division ; preuve de cette opération ; manière de trouver autant de décimales qu'on veut du quotient, lorsqu'il n'est pas un nombre entier. — L'opération arithmétique de la division d'un nombre entier par un autre, consistant en une série de soustractions successives du diviseur effectuées sur le dividende, jusqu'à ce qu'on obtienne un reste égal à zéro ou tout au moins plus petit que le diviseur, on conçoit immédiatement le procédé à suivre pour les nombres entiers. Pour l'appliquer aux nombres décimaux, on donnera au dividende et au diviseur le même nombre de décimales, puis on les traitera comme des nombres entiers, sauf à séparer, à la fin de l'opération, dans le quotient, les décimales voulues.

Ce procédé peut donc se formuler comme suit :

a) Ramener à zéro les cadrans supérieurs et inférieurs, ainsi que les boutons à index ;

b) Disposer le commutateur pour l'addition ;

---

(1) Les grandeurs adoptées jusqu'à présent par M. Thomas correspondent aux nombres de 10, 12, 16 et 20 lucarnes.

c) Inscrire d'abord le dividende dans les lucarnes supérieures, puis le diviseur dans les coulisses, en partant de la droite ;

d) Transporter le commutateur au point de la division ;

e) Faire glisser la plaque mobile vers la droite d'autant d'encoches qu'il en faut pour que le premier ou le second chiffre à gauche du dividende se trouve au-dessus du premier chiffre, également à gauche du diviseur, suivant que le premier chiffre du dividende sera plus grand ou plus petit que le premier chiffre du diviseur, puis donner à la manivelle le nombre de tours, jusqu'à ce que le premier ou les deux premiers chiffres considérés du dividende soient réduits à un seul chiffre plus petit que le premier chiffre du diviseur (1). Si l'on a eu la précaution de ramener de nouveau à zéro tous les cadrans inférieurs, le premier chiffre du quotient apparaîtra dans une des lucarnes de ces cadrans ;

f) Faire reculer d'une encoche la plaque mobile et opérer comme ci-dessus, ce qui amènera dans le cadran inférieur suivant de droite le second chiffre du quotient. Si le premier chiffre à gauche du nouveau dividende est plus petit que le chiffre correspondant du diviseur, le second chiffre du quotient sera zéro, et il faudra faire avancer encore la plaque mobile d'une encoche. L'opération se continuera de la sorte jusqu'à ce qu'on ait zéro dans les lucarnes supérieures, ou bien un nombre plus petit que le diviseur. Ce nombre est le reste final de la division, tandis que le quotient cherché est inscrit dans les lucarnes inférieures.

Exemple : Soit à diviser 5 309 251 par 8 257. Le premier de ces nombres étant inscrit dans les lucarnes supérieures et le second dans les coulisses, on transporte la plaque mobile vers la droite jusqu'à ce que le second chiffre 3 du dividende vienne au-dessus du premier chiffre 8 du diviseur.

(1) En d'autres termes, plus généraux, jusqu'à ce que la partie à gauche du dividende, qu'on sépare ordinairement pour obtenir le premier chiffre du quotient, devienne un nombre plus petit que le diviseur.

Ayant disposé le commutateur pour la division, on donnera, après avoir remis toutes les lucarnes inférieures à zéro, six tours de manivelle. Les deux premiers chiffres du dividende étant ainsi réduits à 3, chiffre moindre que le premier chiffre 8 du diviseur, on conclura que 6 est le premier chiffre du quotient; on fera rentrer d'une encoche la plaque mobile, de sorte que le second chiffre 5 du premier reste 355,051, inscrit dans les lucarnes supérieures, se trouve sur le premier chiffre 8 du diviseur.

On donnera 4 tours de manivelle et l'on aura 4 pour le second chiffre du quotient, vu que les deux premiers chiffres du dividende actuel se trouvent réduits à 2, chiffre moindre que 8, et le dividende même au reste 2477. Enfin, la plaque mobile ayant été transportée d'un autre encoche, de manière à faire correspondre le second chiffre 4 du dernier reste obtenu dans les lucarnes supérieures au premier chiffre 8 du diviseur, et trois tours de manivelles ramenant toutes les lucarnes à zéro, on prendra 3 pour le troisième et dernier chiffre du quotient, qui sera exactement 643 et se trouvera inscrit dans les lucarnes inférieures.

La preuve de la division s'obtiendra en multipliant le diviseur, inscrit dans les coulisses, par le quotient, et en laissant le reste tel qu'il est dans les lucarnes supérieures, lorsque ce reste n'est pas zéro. Aussi, en reprenant l'exemple supérieure on placera le commutateur au point de la multiplication, et l'on donnera trois tours de manivelle, Ayant transporté la plaque mobile d'un encoche vers la droite, on donnera 4 autres tours de manivelle, puis après un nouveau déplacement d'une nouvelle encoche dans le même sens, 6 derniers tours de manivelle complèteront le nombre 5309251 égal au dividende, qui apparaîtra dans les lucarnes supérieures.

Lorsque le quotient n'est pas un nombre entier, on ajoutera au dividende autant de zéros qu'on veut avoir de décimales à ce quotient; puis, après avoir exécuté la division comme nous l'avons indiqué ci-dessus, on séparera dans le quotient entier le nombre voulu de chiffres décimaux.

Prenons comme exemple la recherche jusqu'à un demi-millième du quotient de 8517 divisé par 12649, ce qui revient à réduire la fraction $\frac{8517}{12649}$ en fraction décimale avec une erreur moindre qu'un demi-millième : on divisera 85170000 par 12649, et, ayant obtenu le quotient entier 6733 avec un dernier reste 4283, on conclura que 0,673 est le quotient demandé.

X.

Extraction de la racine carrée. — La formation des puissances au moyen de l'arithmomètre ne présentant aucune difficulté, nous passerons à l'extraction de la racine carrée des nombres entiers. Si, au contraire, on donnait un nombre décimal, ou si la racine cherchée n'était pas un nombre entier, nous pouvons déjà faire remarquer qu'il faudrait procéder comme pour les nombres entiers, après avoir rendu le nombre des décimales pair dans le premier cas, et, dans le second, après avoir ajouté autant de couples de zéros qu'on veut obtenir de décimales à la racine. Ces divers points établis, voici la marche à suivre pour l'extraction de la racine carrée d'un nombre entier.

a) On partage le nombre donné en tranches de deux chiffres à partir de la droite. La première tranche à gauche pourra n'avoir qu'un seul chiffre ;

b) Tous les cadrans et les boutons étant placés à zéro, le commutateur au point de l'addition, on inscrit le nombre donné dans les lucarnes supérieures ; et comme le nombre des chiffres de la racine est égal à celui des tranches indiquées ci-dessus, on prend autant de coulisses qu'on doit avoir de ces chiffres, en partant de la droite.

Désignons ces coulisses, en allant de la gauche vers la droite, par S_1, S_2, S_3, S_4,..... Ceci fait, on transporte le commutateur au point de la division, et la plaque mobile vers la droite jusqu'à ce que le premier chiffre à gauche du nombre donné, ou le second si la première tranche à gauche est de deux chiffres, corresponde à la coulisse S_1 ;

c) On cherche mentalement, comme dans le calcul arithmétique, le plus grand carré contenu dans la première tranche à gauche et par suite sa racine ; on obtient ainsi le premier chiffre de la racine demandée, qu'on marque avec le bouton de la coulisse S_1, puis on donne autant de tours de manivelle qu'il y a d'unités dans ce chiffre, et l'on voit celui-ci apparaître dans une des lucarnes inférieures, tandis que dans les lucarnes supérieures la première tranche à gauche est diminuée du carré du premier chiffre de la racine.

d) On transporte ensuite la plaque mobile d'une encoche vers la gauche. Avec le bouton de la coulisse S_1 et, au besoin, avec celui de la coulisse suivante à gauche, on marque le double du chiffre obtenu de la racine. Si les chiffres des lucarnes supérieures qui correspondent à ce chiffre doublé forment un nombre inférieur, il est clair que, dans ce cas, le second chiffre de la racine est zéro, et l'on doit faire glisser d'une seconde encoche la plaque mobile. Tout cela fait, on divise le nombre que constituent les chiffres mentionnés des lucarnes supérieures par le double du premier chiffre de la racine, qui est placé au-dessous, et le quotient, qui ne peut dépasser 9, est le second chiffre de la racine cherchée. On donne donc autant de tours de manivelle qu'il faut, mais jamais plus de 9, en s'arrêtant au moment où, dans les lucarnes supérieures, les chiffres correspondant au double de la racine cherchée sont remplacés par un nombre plus petit que ce double. Le nombre de tours de manivelle ainsi accompli, qui représente le second chiffre de la racine, apparaît dans un autre des lucarnes inférieures.

e) On indique le double de la partie ainsi obtenue de la racine au moyen des boutons des coulisses S_1, S_2, et au besoin, comme nous l'avons déjà indiqué, en se servant du bouton de la première coulisse qui suit à gauche. On fait glisser la plaque mobile d'une nouvelle encoche sur la gauche et on continue l'opération jusqu'à ce qu'on ait achevé de considérer toutes les tranches du nombre donné. La racine entière sera inscrite dans les lucarnes inférieures et le dernier reste apparaîtra dans les lucarnes supérieures si le nombre donné n'est pas un carré parfait, d'où résulte un moyen assez expéditif de faire la preuve de l'opération effectuée. Ayant ramené le commutateur au point de la multiplication et inscrit, en partant de la droite, la racine obtenue dans les coulisses S_1, S_2, S_3,.... on multipliera cette racine par elle-même, en laissant dans les lucarnes supérieures le reste résultant de l'extraction de la racine. On aura la preuve de l'exactitude de l'opération en voyant apparaître dans ces lucarnes le nombre donné.

Exemple. — Soit donné le nombre décimal

5035061463,982204

dont la racine carrée ne peut pas se calculer au moyen des tables ordinaires de logarithmes, même pour la partie entière.

Le nombre des chiffres décimaux étant pair, on fera immédiatement la décomposition du nombre en tranches binaires, de sorte que l'opération proposée se réduit à extraire la racine carrée d'un nombre entier de 16 chiffres, laquelle se composera de 8 chiffres, dont on se rappellera que les trois premiers à droite sont des chiffres décimaux. Voici l'indication de cette racine avec la décomposition en tranches de deux chiffres :

$$\sqrt{50.35.06.14.63.98.22.04}$$

Nous aurons à employer les 8 coulisses que nous indiquerons par S_1, S_2, S_3,...... S_8 en partant de la gauche. On inscrira le nombre sous le radical dans les lucarnes supérieures en faisant usage, même pour tous les chiffres, des boutons annexés à ces lucarnes. On placera le commutateur au point de la division et l'on fera glisser la plaque mobile vers la droite jusqu'à ce que le second chiffre à gauche 0 du nombre donné se trouve sur la coulisse S_1. Le plus grand carré contenu dans 50 étant 49, le premier chiffre de la racine cherchée sera 7 et on le marquera avec le bouton de cette coulisse. Donnant alors 7 tours de manivelle pour retrancher le carré 49 de la première tranche 50, ce dernier nombre sera remplacé par 1 dans les lucarnes supérieures, et le premier chiffre 7 de la racine apparaître dans la seconde lucarne inférieure à gauche.

Le double du chiffre obtenu étant 14, on le marquera avec les boutons de la coulisse S_1 et de la suivante à droite S_2, vu qu'il n'y en a plus d'autre à gauche. Pour le même motif, au lieu de deux encoches, comme on devrait le faire puisque le chiffre 1 qui reste de la première tranche formant, avec le premier chiffre 3 de la tranche suivante 35, le nombre 13 plus petit que le double 14 de la racine obtenue, le second chiffre de la racine est zéro, on transportera la plaque mobile d'une seule encoche vers la gauche. Le double de la partie obtenue étant 140, on inscrira ce nombre 140 dans les coulisses S_1, S_2, S_3 et, de même qu'on le fait dans le calcul arithmétique, on divisera le nombre composé de 135 et du premier chiffre 0 de la tranche suivant 06, c'est-à-dire le nombre 1350 par le double de 140 de la racine trouvée; pour cette division, le dividende et le diviseur sont déjà à leur place, c'est-à-dire avec le second chiffre 3 du dividende sur le premier chiffre 1 du diviseur. Bien que le nombre 140 soit contenu plus de 9 fois dans 1350, comme aucun chiffre de la racine ne peut dépasser 9, on conclura que le troisième chiffre de la racine est 9. Au moyen des boutons des quatre coulisses S_1, S_2, S_3, S_4, on indiquera le nombre 1409 et l'on donnera 9 tours de manivelle, ce qui fera apparaître dans les lucarnes inférieures le troisième chiffre 9, que nous venons d'obtenir de la racine (1), et dans les lucarnes supérieures, au lieu du nombre 13509, le reste 825.

On doublera de nouveau la partie actuellement obtenue

---

(1) Si, vu le grand nombre des chiffres de la racine cherchée, qui est supérieur au nombre 8 des coulisses de l'arithmomètre, représenté pl. 14 et choisi à dessein pour traiter immédiatement un des cas les plus compliqués, on n'avait dû faire rentrer que d'une seule encoche au lieu de deux la plaque mobile, les chiffres 7, 0, 9 de la racine, obtenus jusqu'à présent, se trouveraient inscrits tous les trois dans les lucarnes inférieures; tandis que dans le cas actuel le chiffre du milieu 0, manquant dans ces lucarnes, il faudra avoir soin de le rétablir dans la racine à la fin de l'opération.

de la racine, soit $2 \times 709 = 1418$, qu'on marquera au moyen des boutons des quatre coulisses S_1, S_2, S_3, S_4. A côté du reste cité 825 on considérera la tranche suivant 14, et on disposera le tout pour diviser 8251 par 1418, en faisant glisser la plaque mobile d'une encoche vers l'intérieur, afin d'amener le premier chiffre 8 du dividende sur le chiffre 1 du diviseur. Comme 1418 est contenu cinq fois dans 8251, on inscrira le nombre 14185 dans les cinq premières coulisses à gauche et on donnera cinq tours de manivelle. Le nouveau chiffre 5 de la racine apparaîtra dans les lucarnes inférieures, et on continuera de même jusqu'à épuisement complet de toutes les tranches du nombre proposé. La racine résultante étant 70958167, et devant avoir trois décimales, on obtiendra enfin comme valeur exacte le nombre décimal 70958,167.

XI.

Autre procédé d'extraction de la racine carrée. — Je crois utile de reproduire ici succinctement un autre procédé (1) d'extraction de la racine carrée d'un nombre, fondé sur une propriété de la progression arithmétique

$$\div 1 . 3 . 5 . 7 . 9 ......,$$

à savoir que la somme de tous les termes considérés dans cette progression est égale au carré du nombre de ces termes, et de plus que le dernier terme augmenté d'une unité est égal à deux fois le nombre de tous les termes de la progression. De cette propriété dérive, pour l'extraction de la racine carrée d'un nombre entier, le procédé suivant, que je me bornerai à indiquer sur un exemple.

Soit à extraire la racine carrée du nombre 378225. Ayant inscrit ce nombre dans les lucarnes supérieures et remarqué

(1) Voir le petit traité *Instruction pour se servir de l'arithmomètre, machine à calculer*, inventé par M. Thomas (de Colmar), Paris, 1873, pages 23 et suivantes.

que la racine compte trois chiffres, on considère les trois premières coulisses de droite, que nous nommerons S_1, S_2, S_3, en allant de gauche à droite. Après avoir mis le commutateur au point de la division, on transporte la plaque mobile vers la droite jusqu'au point où le deuxième chiffre 7 de la première tranche correspond à la coulisse S_1. On soustrait ensuite de la première tranche à gauche 37 successivement les termes 1, 3, 5, 7,.... de la progression susdite, au moyen d'autant de tours de manivelle, en inscrivant d'abord ces nombres 1, 3, 5, 7,.... dans la coulisse S_1 et dans celle qui la suit immédiatement à gauche, jusqu'à ce que le nombre 37 soit réduit à un autre plus petit que le dernier terme soustrait. On trouvera qu'il faudra soustraire les six premiers termes 1, 3, 5, 7, 9, 11 et l'on conclura que 6 est le premier chiffre de la racine demandée qui restera reproduit dans une des lucarnes inférieures.

Dans les lucarnes supérieures, au lieu de la première tranche considérée 37, on aura le reste 1 qui, joint aux autres tranches, forme le nombre 18225. Ce nombre contient encore le double produit $(600 \times 2) = 1{,}200$ de la partie 600, déjà obtenue de la racine par la partie restante, plus le carré de cette dernière partie. Il faudrait, en conséquence, afin d'obtenir la partie restante de la racine, retrancher successivement du nombre 18225 les termes de la progression

$$\div\ (1{,}200 + 1)\ .\ (1{,}200 + 3)\ .\ (1{,}200 + 5)\ .\ (1{,}200 + 7) \ldots.$$

Mais on procédera d'une manière plus expéditive en cherchant de cette même partie encore inconnue de la racine, qui est un nombre de deux chiffres, un seul chiffre à la fois, soit le premier chiffre des dizaines. En d'autres termes, il est préférable de considérer d'abord le nombre 182 formé du susdit reste 1 et de la seconde tranche 82 du nombre donné, De la sorte, au lieu de la progression précédente on devra prendre la suivante.

$$\div\ (120 + 1)\ .\ (120 + 3).\ (120 + 5),$$

dont les termes seront successivement soustraits de 182. On transportera donc la plaque mobile d'une encoche vers la gauche, afin que le nombre 18225 actuellement contenu dans les lucarnes supérieures vienne se placer avec son premier chiffre 1 sur le premier chiffre 1 du nombre 120 inscrit dans les coulisses S_1, S_2, et la précédente à gauche. Comme un seul tour de manivelle donne $182 - (120 + 1) = 61$, nombre plus petit que $(120 + 1)$, on conclura que 1 est le second chiffre cherché de la racine, chiffre qu'on verra en même temps apparaître dans une autre des lucarnes inférieures.

En continuant ce raisonnement on inscrira ensuite dans les coulisses S_1, S_2, S_3 et la précédente à gauche le double $2 \times 610 = 1220$ de la partie trouvée 610 de la racine; et ayant fait rentrer la plaque mobile d'une nouvelle encoche afin que le nombre 6125 resté dans les lucarnes supérieures vienne se placer avec son premier chiffre 6 sur le chiffre 1 du nombre 1220 inscrit dans les coulisses, on soustraira par des tours successifs de la manivelle les 5 premiers termes de la progression.

$$\div (1220 + 1) . (1220 + 3) . (1220 + 5) . (1220 + 7):$$

Après cette opération, tous les cadrans principaux se trouvant amenés à zéro, on en conclura que 5 est le dernier chiffre de la racine carrée du nombre proposé 378225, ou que ce dernier nombre est un carré parfait ayant 615 pour racine, laquelle sera reproduite en même temps dans les lucarnes inférieures.

XII.

Extraction de la racine cubique ; formation des tables des carrés et des cubes des nombres naturels ; avantage, dans certains cas, du travail simultané de deux calculateurs. — L'application de l'arithmomètre à l'extraction de la racine cubique d'un nombre entier, devant suivre en tous points la règle ordinaire de l'arithmétique, je crois inutile de la détailler ici. Seulement, je ferai remarquer que, cette opération exigeant de temps en temps l'enregistrement de certains nombres sur le papier, et même divers calculs qu'il est plus commode d'effectuer sans l'aide de l'instrument, il convient d'y employer simultanément deux personnes, dont l'une s'occupe uniquement des opérations mécaniques à faire avec l'arithmomètre, et l'autre des enregistrements et des calculs à effectuer sur le papier. De cette manière l'extraction non-seulement de la racine cubique, mais encore celle des racines 4e, 5e, etc., peuvent se faire assez facilement et rapidement.

Au nombre des opérations pour lesquelles il est avantageux de recourir au travail simultané de deux calculateurs, nous citerons la formation des tables des carrés et des cubes des nombres naturels 1, 2, 3, 4, 5, etc. Un calculateur manœuvre l'instrument pendant que l'autre enregistre successivement les résultats, exécute les petits calculs numériques ordinaires et dirige toute l'opération. Dans ces deux cas, il convient de former une table auxiliaire des différences successives entre les carrés, ainsi qu'entre les cubes, des nombres 1, 2, 3, 4.....; a étant un nombre entier quelconque, on a pour les différences dont il s'agit,

$$(a+1)^2 - a^2 = 2a + 1$$

et

$$(a+1)^3 - a^3 = 3a^2 + 3a + 1 = 3a\,(a+1) + 1.$$

En conséquence, un des calculateurs dictant successivement les nombres naturels, l'autre, au moyen de l'arithmomètre, pourra immédiatement obtenir les valeurs de $2a$ et $3a$, qui seront enregistrées par le premier calculateur. Celui-ci n'aura qu'à ajouter 1 unité aux valeurs de $2a$ pour former la première table auxiliaire des différences des carrés. Pour la formation de la table des carrés, on remarquera que les lucarnes supérieures, contenant déjà le carré d'un nombre entier a, il est évident que les valeurs successives de $(2a+1)$, étant inscrites sous dictée dans les coulisses, un simple tour de manivelle formera les carrés des nombres suivants. Il en sera de même pour les cubes, lorsqu'avec l'arithmomètre on aura trouvé les valeurs de $3a\,(a+1)$, qui se rapportent à la seconde des tables auxiliaires susdites.

XIII.

Emploi simultané de l'arithmomètre et des tables de logarithmes, ou des tables des lignes trigonométriques naturelles. — Il est de nombreux cas où il est fort avantageux de combiner l'emploi de l'arithmomètre avec celui des deux tables mentionnées ci-dessus. Ces cas se présentent lorsqu'on doit appliquer des nombres à des formules logarithmiques ou exponentielles, ou bien à des fonctions trigonométriques. Telles sont, par exemple, les deux formules suivantes :

$$\text{Log.}\, p = a - \frac{b}{\tau} - \frac{c}{\tau^2}$$

où

$$v = \frac{m}{p^n}.$$

proposées par **Rankine** pour calculer respectivement la pression p (en atmosphères) de la vapeur d'eau saturée à une température absolue τ, et le volume spécifique v (en mètres cubes) de la même vapeur à la pression p exprimée en atmosphères. Les quantités a, b, c, m, n sont autant de constantes ayant pour valeurs :

$$a = 4,8598919;\ b = 1484,3033008;\ c = 2203156,2866521;$$

$$m = 1,670433;\ n = \frac{16}{17}.$$

Il est évident que le calcul numérique de ces formules devient moins laborieux et peut s'effectuer avec toute l'exactitude voulue en faisant usage à la fois de l'arithmomètre et des logarithmes. Ainsi pour la première, dont le logarithme est décimal, il conviendra de déterminer les valeurs de τ^2, $\frac{b}{\tau}$ et $\frac{c}{\tau^2}$ au moyen de l'arithmomètre, puis celle de p en faisant usage de la table des logarithmes.

Pour la seconde formule, ayant obtenu la valeur de log. p au moyen de tables, les calculs pourront s'exécuter plus exactement et plus rapidement avec l'arithmomètre. Pareillement pour la formule suivante qu'on rencontre si fréquemment dans la mécanique appliquée.

$$Q. \frac{\sin\alpha \pm f \cos\alpha}{\cos\beta \pm f \cos\beta},$$

dans laquelle α et β représentent deux angles, Q l'intensité d'une force et f un coefficient, le calcul numérique se fera très-avantageusement en cherchant d'abord les valeurs de sin α, cos α, sin β, cos β, dans les tables des lignes trigonométriques naturelles, puis en effectuant chaque opération au moyen de l'arithmomètre.

En arrêtant ici cette exposition de la machine à calculer de Thomas, je crois en avoir écrit assez pour faire apprécier les avantages particuliers de cet instrument et en faire comprendre l'usage pour chaque genre de calcul numérique; j'ajouterai, toutefois, quelques considérations en vue de la vulgarisation de son emploi.

En premier lieu il importe de noter que les longues épreuves auxquelles cet arithmomètre a été soumis, mettent hors de doute sa solidité, bien qu'il se présente sous l'aspect d'une machine très-compliquée et très-délicate. La grande rapidité et l'extrême degré d'infaillibilité avec lesquels on peut exécuter les opérations les plus longues et les plus fatigantes de l'arithmétique, sont incontestablement établies. En 20 secondes on peut multiplier entre eux deux nombres composés chacun de 8 chiffres, et en 24 secondes on divisera un nombre de 16 chiffres par un autre de 8; il ne faut guère plus d'une minute pour extraire la racine carrée d'un nombre de 16 chiffres, tout en faisant encore les preuves des opérations.

A ces titres si précieux de mérite, si l'on ajoute le prix relativement peu élevé (300 francs à Paris), la possibilité de faire réparer le mécanisme par un simple horloger, son petit volume (le plus grand modèle mesurant cent. 55 × 16 × 7), la manœuvre très aisée pour toute personne, enfin son entretien facile, qui n'exige de temps en temps que quelques gouttes d'huile, on est en droit d'attendre que la machine de

M. Thomas, si utile aux astronomes, aux mathématiciens, aux ingénieurs, aux financiers pour toute espèce de calculs numériques de longue haleine et avec une grande quantité de chiffres, parviendra à se répandre dans notre péninsule; et si ces modestes pages peuvent contribuer à cet effet, je m'estimerai heureux de les avoir écrites et publiées.

XIV.

Légende de la planche annexée à cette note. — Fig. 1. Arithmomètre vu en projection horizontale dans sa cassette, au tiers de la grandeur véritable.

Fig. 2. Projection horizontale en véritable grandeur de l'arithmomètre sans la plaque mobile.

Fig. 3. Projection horizontale de la plaque mobile vue de bas en haut (grandeur véritable).

AA, plaque mobile, ou glissante, portant deux séries de lucarnes, les unes C dites supérieures au nombre de 16, dans lesquelles apparaissent les chiffres des nombres sur lesquels on doit opérer, et les autres D, au nombre de 8, appelées lucarnes inférieures, dans lesquelles sont enregistrés les tours accomplis par la manivelle motrice. Le plus grand nombre qu'on peut inscrire dans les lucarnes supérieures est 9 999 999 999 999 999.

BB, plaque fixe, qui couvre supérieurement presque toute la partie fixe de l'arithmomètre, sur laquelle elle est maintenue par les deux vis g et g'.

La plaque mobile porte un axe cylindrique Ω (fig. 2 et 3) qui entre dans deux œillets α attachés à la plaque fixe BB, lorsque l'instrument est monté, c'est-à-dire lorsque les deux plaques ne sont pas séparées l'une de l'autre comme on les voit dans les figures 2 et 3. Cet axe, tout en étant invariablement relié à la plaque mobile AA par trois oreilles β, peut tourner dans les deux œillets α, ce qui permet de soulever la plaque par le bord qui dépasse la partie fixe BB, en la faisant tourner autour de cet axe. Ainsi soulevée, la plaque mobile peut encore glisser de gauche à droite et réciproquement.

E, boutons munis latéralement des index j, au nombre de huit, que l'on peut faire glisser transversalement dans autant de coulisses a pratiquées dans la plaque BB. Les index s'avancent le long de huit échelles graduées, sur lesquelles sont marqués, à d'égales distances, les dix chiffres naturels 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, et ils peuvent marquer sur ces mêmes échelles tous les nombres entiers de 0 à 99 999 999, qu'on veut reproduire dans les lucarnes supérieures C de la plaque mobile, ou ajouter aux nombres déjà inscrits dans ces lucarnes, ou bien encore retrancher de ces nombres.

F, manivelle motrice, munie à son extrémité libre d'une poignée et ne pouvant tourner que dans un seul sens, celui de la marche des aiguilles d'une montre, autour d'un axe vertical coïncidant avec son autre extrémité i. Sous cette manivelle se trouve fixée sur la plaque BB une petite dent h taillée en biais. Une dent semblable, c'est-à-dire coupée également en biais, est reliée à la manivelle à une distance de l'axe de rotation i égale à celle de la dent h: de sorte que la manivelle devant, à chaque tour, faire passer la dent qu'elle porte sur celle de la plaque, comme sur un plan incliné, ressent un léger obstacle qui indique la fin d'un tour entier.

G, levier du mécanisme commutateur servant à déterminer le sens dans lequel tournent les cadrans principaux qui correspondent aux lucarnes supérieures C de la plaque mobile. Ce levier tourne, dans la coulisse f, autour d'un axe horizontal qui traverse son extrémité inférieure et que porte une des barres J reliant entre elles les deux parois verticales KK, K'K', entre lesquelles se trouvent les parties du mécanisme placées sous la plaque fixe BB. Le même levier G, au moyen du tirant L et d'un bras M, produit la rotation, dans l'un ou l'autre sens, de l'axe horizontal l et par suite, au moyen des deux pointes qui relient cet axe à la plaque UU, détermine le déplacement de celle-ci dans le sens transversal de la machine. Selon que le levier G et la plaque U U sont placés dans l'une ou l'autre de leurs positions extrêmes, la manivelle, tournant toujours dans le même sens, communiquera aux cadrans principaux de l'arithmomètre une rotation directe ou rétrograde, en d'autres termes, la machine reste disposée de manière à pouvoir exécuter, soit les additions et les multiplications, soit les soustractions et les divisions. Ceci explique les inscriptions *addition-multiplication* et *soustraction-division*, sur la plaque fixe BB, aux deux extrémités de la coulisse *f*.

I et H, boutons tournant autour d'axes verticaux, et servant à ramener rapidement à zéro les cadrans des lucarnes inférieures D et supérieures C. On fait tourner respectivement ces deux boutons avec les mains droite et gauche, vers la partie centrale de l'instrument par rapport au bord inférieur de la plaque mobile, en ayant soin de tenir cette plaque soulevée : de la sorte, on déplace dans le sens longitudinal deux crémaillères Z Z et Z′ Z′, l'une de gauche à droite et l'autre en sens contraire.

Les deux crémaillères, à leur tour, font tourner des pignons spéciaux, annexés aux axes des cadrans X des lucarnes inférieures et des cadrans Y des lucarnes supérieures.

Ces cadrans, étant rendus indépendants du mécanisme moteur de l'instrument par le soulèvement de la plaque A A, tournent jusqu'à ce que le chiffre 0 vienne se placer dans la lucarne de chacun d'eux. Chaque cadran étant ainsi ramené à zéro reste fixe, vu que les pignons, ainsi que les deux crémaillères, n'ont que neuf dents ou, pour mieux dire, sont privés de la dent qui correspond au zéro de leur cadran, et l'engrènement entre crémaillère et pignon cesse dès que le zéro apparaît dans la lucarne, c'est-à-dire que le pignon présente à la crémaillère le triple espace vide qui correspond à la dent manquante. On peut voir quelques-uns de ces espaces vides sur la fig. 3, où les pignons *n* sont représentés pour les cadrans X des lucarnes inférieures. Dès que les cadrans des lucarnes supérieures ou inférieures ont été remis au point 0, il suffit de lâcher les boutons H et I pour que la pression d'un ressort de montre, relié à leur axe de rotation, les oblige à tourner en sens contraire et à ramener les crémaillères dans leurs positions premières. On voit fig. 3 le tambour $\varkappa$, qui contient le ressort du bouton de droite I pour les lucarnes inférieures. Les deux crémaillères glissent dans des prisons Ψ et Ψ'. De plus, dans leur course active comme dans le retour à vide, elles sont légèrement déplacées dans le sens transversal, de manière à se rapprocher ou à s'éloigner des pignons. Tout cela s'exécute au moyen de coulisses, comme on le voit pour les prisons Ψ, ou bien en coupant une partie du bord inférieur de la crémaillère en plan incliné et en obligeant ce plan à passer sur une cheville fixée dans la plaque AA. M. Thomas a employé cette dernière disposition pour la crémaillère Z′Z′ des lucarnes supérieures.

K″ K″, troisième paroi longitudinale du bâti renfermant les parties du mécanisme placé sous les deux plaques fixe et mobile de l'arithmomètre. Elle est un peu moins haute que les parois KK et K′K′, et elle est reliée à la seconde au moyen de barres transversales, comme nous l'avons déjà dit pour les deux parois plus grandes.

N, arbre principal de transmission par lequel la manivelle motrice commande tout le mécanisme. Cette transmission du mouvement se fait, au moyen des roues d'angle φ et μ, à l'arbre N qui commande les cylindres P au moyen d'autres couples de roues d'angles k et h'.

O, rochet dont la dent n'est pas représentée sur la figure et qui empêche le mouvement rétrograde de la manivelle motrice F, fig. 1, et par suite le recul de tout le mécanisme.

P, cylindres horizontaux au nombre de huit, parallèles l'un à l'autre, mobiles autour de leurs axes et portant sur leur surface latérale, et sur la moitié de leur pourtour, neuf dents de longueurs différentes. En partant des extrémités de ces cylindres du côté de l'arbre de couche N, la première dent occupe toute la longueur du cylindre, la suivante les $^8/_9$ de cette longueur et ainsi de suite jusqu'à la dernière qui n'occupe que $^1/_9$.

Q, axes de rotation également horizontaux et disposés parallèlement aux cylindres P, dont ils reçoivent le mouvement pour le communiquer aux cadrans principaux Y, fig. 3, de l'arithmomètre. A cet effet, sur ces axes de section carrée sont montés les pignons dentés cylindriques n, qui peuvent glisser le long des axes avec leurs collets m. Suivant qu'à partir de l'arbre N chaque pignon est avancé de $^1/_9$, $^2/_9$, $^3/_9$, ... $^9/_9$ de la longueur des cylindres P, il avance à chaque tour de ceux-ci de 1, 2, 3..... 9 dents. Le glissement de ces pignons sur leurs axes s'obtient en faisant avancer les boutons E, fig. 1, dans les coulisses a pour les mettre en face des chiffres 0, 1, 2, 3,.....9 des échelles latérales gravées sur la plaque fixe BB ; chaque bouton, au moyen d'un bras relié au collet m, entraîne avec lui le pignon n.

R et S, axes de rotation également horizontaux et parallèles aux précédents Q, qui reçoivent d'une manière continue le mouvement de l'arbre de couche N et le transmettent aux axes R′ et S′, lorsque les reports des tours de l'un à l'autre des cadrans principaux Y doivent s'étendre au neuvième et au dixième de ces cadrans, c'est-à-dire aux deux cadrans qui suivent ceux qui correspondent aux huit cylindres P.

T et W, disque tournant avec l'axe S et bras horizontal relié au levier G (fig. 2) du mécanisme commutateur du sens suivant lequel doivent tourner les cadrans principaux.

Le disque T est échancré d'un segment sur une partie de son contour, et, chaque fois que la manivelle motrice a achevé sa révolution, il vient se placer avec son échancrure devant le bras W qui, pouvant alors passer de l'une à l'autre face du disque, permet de déplacer le levier du commutateur, c'est-à-dire de le transporter de l'une à l'autre extrémité de sa coulisse f. En conséquence, il est à noter que le commutateur ne peut se déplacer de sa position actuelle, si la manivelle F n'est d'abord poussée contre sa dent d'arrêt h.

X, cadrans compteurs des tours de manivelle et correspondant aux lucarnes inférieures de la plaque mobile (fig. 1). Ils sont au nombre de neuf, et, lorsque la plaque mobile AA n'est pas soulevée de la manivelle, ils reçoivent séparément le mouvement de rotation autour de leur axe, au moyen d'un système de roues dentées dont la dernière est le cadran lui-même, qui porte, à cet effet, dix dents sur sa circonférence.

Afin que chaque cadran puisse compter de 0 à 9 tours de la manivelle, il faut qu'il soit placé avec la cavité correspondante τ pratiquée inférieurement dans la plaque mobile, au-dessus de la roue dentée cylindrique ω (fig. 2), située dans un plan vertical, tandis que le cadran est horizontal. Ainsi, en plaçant le premier cadran de droite en prise avec la roue ω, on peut compter les tours de manivelle jusqu'à 10 ; en y transportant le second cadran par le glissement de la plaque mobile vers la droite, on comptera les mêmes tours de manivelle de nouveau de 0 à 10, et ainsi successivement pour les autres cadrans. Ces transports successifs de la plaque mobile et des cadrans sont indispensables pour passer des chiffres d'un ordre d'unités à ceux des autres ordres.

Y, cadrans principaux des lucarnes supérieures C de l'arithmomètre (fig. 1 et 3), disposés horizontalement lorsque la plaque mobile se trouve a sa place habituelle; ils sont au nombre de 16, dont les huit premiers à droite correspondent aux axes Q et les deux suivants aux axes R′ et S′. L'axe vertical de rotation de chaque cadran porte, outre la petite roue dentée cylindrique qui engrène la crémaillère Z′Z′, une roue d'angle, qui suivant la position donnée à la plaque U U du commutateur, engrène l'une ou l'autre des roues semblables p, p' placées en dessous et montées sur les axes Q, R′, S′; c'est ainsi qu'on donne au cadran le sens voulu de rotation. La disposition des deux roues p, p' pour les différents systèmes est très simple, et elle consiste en un petit tube avec lequel elles font corps et que la plaque U U fait avancer ou reculer sur les axes cités ci-dessus Q et R′, S′.

b, fig. 1, petits boutons qui, lorsque la plaque mobile est soulevée, servent à ramener séparément chacun des cadrans principaux au chiffre qu'on veut avoir. Chaque bouton a le même axe de rotation que le cadran Y. Afin que par la manœuvre des boutons les cadrans prennent un mouvement intermittent, et que chaque chiffre s'arrête un instant dans sa Clucarne , le contour du cadran est ondulé et rencontre pour ainsi dire, à l'apparition de chaque chiffre, un léger obstacle à son mouvement dans un ressort γ, qui par son extrémité libre ayant la forme d'un crochet, pénètre dans les creux du contour.

c, (fig. 1) boutons semblables et disposés comme les précédents pour ramener à zéro, ou à tout autre chiffre, les cadrans des lucarnes inférieures D. Nous avons déjà expliqué comment, au moyen des boutons H et I, les cadrans principaux Y, comme les cadrans X, peuvent être ramenés rapidement tous en même temp à zéro, fig. 1 et 2).

d et *e*, fig. 1, petits trous pratiqués dans la plaque mobile entré les lucarnes supérieures et inférieures, dans lesquels on enfonce une pointe d'ivoire, afin de séparer la partie décimale de la partie entière des nombres inscrits dans les deux séries de lucarnes.

o, petites roues dentées cylindriques, calées sur les axes Q et R′, S′, et destinées à produire le mouvement de ces axes lorsque la machine doit opérer des reports et des retenues de l'un à l'autre des cadrans Y. Voici l'explication de cette manœuvre : supposons qu'un de ces cadrans soit au point de passer du chiffre 9 à 0, ou, en d'autres termes, qu'on doive reporter 1 au cadran suivant à gauche, c'est-à-dire, faire avancer ce cadran d'un chiffre indépendamment du mouvement que lui communique son cylindre P. Il faut d'abord que ce cylindre laisse immobile le pignon *n* et que l'axe de rotation Q du nouveau cadran puisse recevoir le mouvement de l'autre pignon *o*. On sait que le cylindre P tourne à vide pour la demi-circonférence qui n'est pas munie de dents, et n'entraine plus le pignon *n*, ni l'axe Q. C'est pendant cette rotation à vide du cylindre P que son cadran Y, s'il est sur le point de passer du chiffre 6 à 0 sous sa lucarne, rencontre avec la dent ε le loquet *z*, fig. 2 et 3, qu'un ressort *w* retient à sa place. Ce ressort étant forcé, la petite aiguille horizontale *qq* correspondante est déplacée parallèlement à elle-même vers les cyllndres P, faisant prendre le doigt *t* dans la roue dentée *o* de l'axe Q ou du cadran Y, qui suivent.

La roue o et le cadran avançant ainsi d'une dent ou d'un chiffre, opèrent la retenue voulue, ou enregistrent une dizaine de tours du cadran précédent. Le manchon relié à l'aiguille qq au moyen d'un bras convenable et glissant avec le doigt le long de l'axe du cylindre P voisin à droite, présente, du côté de la paroi intermédiaire K'K', une surface héliçoïdale r, de sorte qu'à peine l'axe Q reprend le mouvement de son cylindre P, le manchon, étant poussé par le ressort w contre la dent ρ, retourne avec le doigt t, l'aiguille qq et le loquet z, aux positions premières.

s et u, roues dentées en étoile et douilles, les premières calées sur les axes Q, R', S', et les secondes montées sur les axes des cylindres P le long desquels elles peuvent glisser en même temps que les doigts t. Lorsque ces derniers sont déplacés de manière à venir s'emboiter dans les creux des roues dentées o, les douilles u se portent en face des roues s pour faciliter la rotation des axes Q, R', S' qu'exigent les reports de l'un à l'autre des cadrans Y, et pour contribuer à éviter toute déviation des petites aiguilles qq, durant leur déplacement.

v, encoches (fig. 2) taillées dans la paroi intermédiaire K'K au nombre de neuf, dans lesquelles vient s'encastrer la dent Δ dont est armée la plaque AA (fig. 2 et 3), afin de maintenir cette plaque en des points déterminés de son glissement longitudinal. Au moyen de ces encoches et de la dent Δ, la plaque AA peut être fixée longitudinalement en neuf positions différentes, pour chacune desquelles dix des cadrans principaux Y font prise avec les axes Q, R' et S', et un des cadrans X engrène la roue dentée ω.

xx et $x'x'$, guides de la plaque UU du commutateur.

y, y, chevilles qui relient la même plaque avec l'axe u appartenant également au commutateur, et dont il a été question ci-dessus.

π, ζ, axes horizontaux de rotation ; λ, σ, β, roues dentées cylindriques et ξ doigt calé sur l'axe du premier cylindre P de droite, servant tous à transmettre le mouvement de la manivelle au cadran X qui s'engrène avec la roue ω. A chaque tour de la manivelle motrice, le cylindre P désigné ci-dessus accomplit une révolution, le doigt ξ force successivement les roues dentées σ, θ, λ, ω, et, par suite, le cadran susdit X à avancer d'une dent, et le tour donné à la manivelle est enregistré dans la lucarne au-dessus de ce cadran.

ARITHMOMÈTRE DE THOMAS.

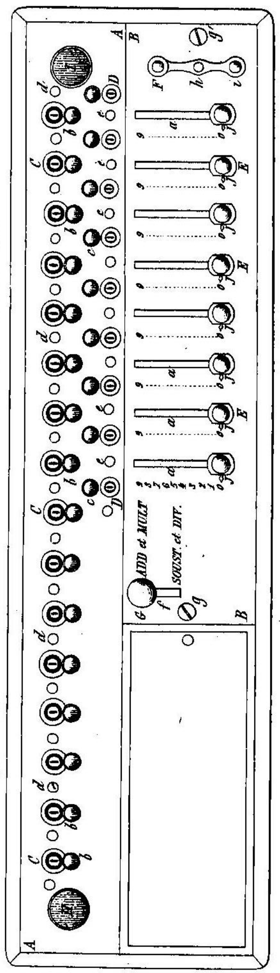

Fig. 1. Projection horizontale de l'arithmomètre. – Echelle 1/3.

Fig. 3. Projection horizontale de la plaque mobile vue de bas en haut.

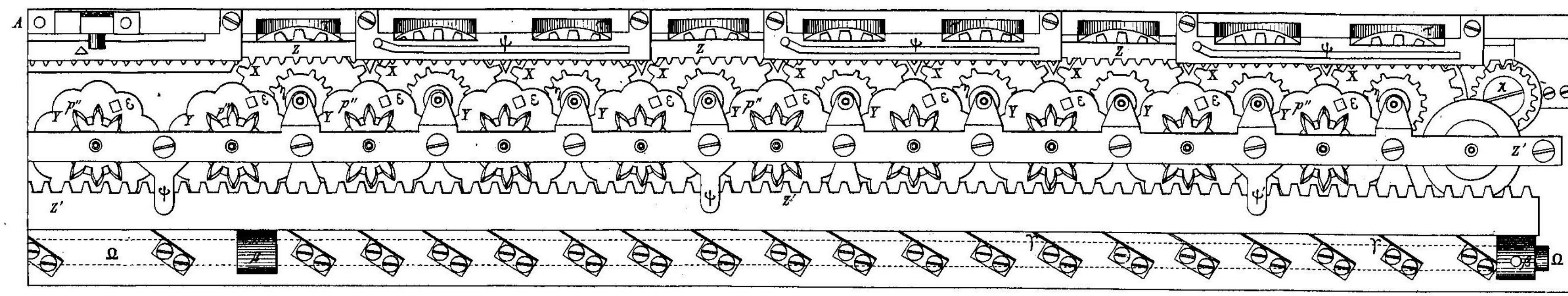

Fig. 2. Projection horizontale de l'arithmomètre, les deux plaques fixe et mobile étant enlevées.