

les pierres très-dures (voyez POTERIE, VERRERIE); dans ce cas, après les avoir fait chauffer jusqu'au blanc, on les étouffe en les projetant brusquement dans une grande masse d'eau froide. On calcine, pour leur faire prendre de la cohésion et leur assurer une durée pour ainsi dire indéfinie, les argiles (voyez BRIQUE, POTERIE).

Quant aux appareils de calcination, ils varient suivant le résultat à obtenir et la nature de la matière que l'on traite; aussi en renvoyons-nous la description aux articles spéciaux.

CALCULER (MACHINES A) (ang., *calculating machine*; all., *Rechnung maschine*). La possibilité d'exécuter des calculs à l'aide de mouvements mécaniques a été entrevue, pour la première fois, par le génie de Blaise Pascal. C'est à l'âge de dix-neuf ans qu'il conçut sa machine arithmétique, ayant vu que les rouages des roues d'engrenage pouvaient représenter des nombres, et les passages de dents en un point indiquer le nombre de ces dents. Cette conception mériterait d'illustrer seule ce grand esprit, célèbre à tant de titres, bien plus toutefois que la machine même qui, malgré les efforts de plusieurs géomètres et mécaniciens, de Leibnitz notamment, n'a jamais pu réaliser qu'un compteur additionnant les nombres inscrits les uns à la suite des autres. Nous chercherons à en donner une idée, d'après la description donnée par Diderot dans l'Encyclopédie et la figure 348, empruntée au même ouvrage.

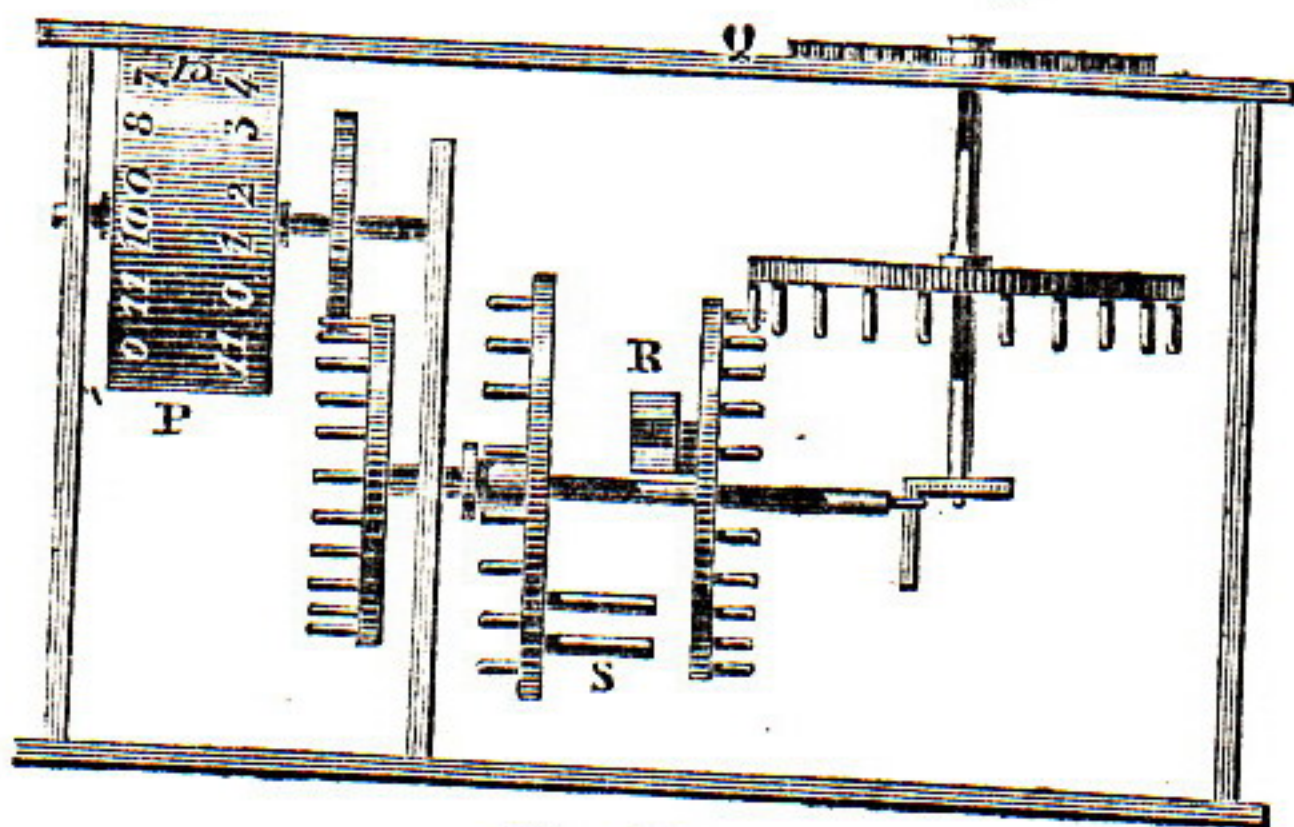


Fig. 348.

Machine arithmétique de Pascal. La base de la machine est la pièce dite *sautoir*, au moyen de laquelle la roue des dizaines tourne d'une dent lorsque la roue des unités a fait un tour entier. Les dispositions plus simples de griffes, d'ergots saillants des compteurs modernes ôtent tout intérêt à l'étude de cet organe compliqué que représente la figure 348. La plaque de cuivre qui forme la face antérieure de la machine porte une rangée de cercles mobiles QQ servant à écrire les nombres, et les résultats sont fournis par les chiffres placés à la partie antérieure des cylindres PP, placés d'équerre avec les premiers. La fourchette R accroche les chevilles S et passe entre elles par suite de son tracé, elle fait avancer la roue qui les porte d'une division par chaque tour de la première du mouvement circulaire des deux pièces. C'est bien un organe de compteur.

La seconde idée fort ingénieuse, que l'on doit remarquer dans cette machine, c'est d'avoir ramené la soustraction à l'addition, en graduant doublement les cylindres du résultat, tant suivant la suite naturelle des nombres, qu'en rétrogradant en sens inverse de leur mouvement; la seconde ligne, ainsi tracée, étant située sur une ligne différente de celle servant pour l'addition, au-dessous de celle-ci. Ainsi, sur le barillet représentant les unités des livres, sont tracées les deux rangées :

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

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

Il est évident que le chiffre supérieur, retranché de 9, donnera celui qui lui correspond dans la rangée in-

férieure, et de même pour toute espèce d'opération. Pour les deniers, par exemple, on écrira :

0, 11, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1.
 11, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10.

L'emploi de cette graduation va devenir clair par l'explication du fonctionnement de la machine, pour laquelle nous rendons la parole à Diderot.

Usage de la machine arithmétique pour l'addition. Commencez par couvrir de la bande mobile la rangée supérieure d'ouvertures où se lisent les chiffres gravés sur les cylindres P, P; mettez ensuite les roues de la rangée inférieure à zéro. Soient les sommes à ajouter en livres, sous et deniers (les dentures des roues étant taillées dans le rapport voulu) :

69	7	8
584	15	6
342	12	9

Prenez le conducteur; portez sa pointe dans la huitième denture du cercle Q, le plus à la droite; faites tourner ce cercle jusqu'à ce que l'arrêt vous empêche d'avancer.

Passez à la roue des sous ou au cercle Q, qui suit immédiatement celui sur lequel vous avez opéré en allant de la droite à la gauche; portez la pointe du conducteur dans la septième denture, à compter depuis la potence; faites tourner ce cercle jusqu'à ce que la potence S vous arrête; passez aux livres, aux dizaines, et faites la même opération sur leur cercle Q.

En vous y prenant ainsi, votre première somme sera évidemment écrite : opérez sur la seconde, précisément comme vous avez fait sur la première, sans vous embarrasser des chiffres qui se présentent aux ouvertures, puis sur la troisième. Après votre troisième opération, remarquez les chiffres qui paraîtront aux ouvertures des cylindres; ils marqueront la somme totale de vos trois sommes partielles.

Démonstration. Il est évident que, si vous faites tourner le cercle Q des deniers de huit parties, vous aurez 8 à l'ouverture correspondante à ce cercle; il est encore évident que, si vous faites tourner le même cercle de six autres parties, comme il est divisé en douze, c'est la même chose que si vous l'aviez fait tourner de douze parties, plus deux; mais, en le faisant tourner de douze, vous auriez remis à zéro le barillet des deniers correspondant à ce cercle des deniers, puisqu'il eût fait un tour exact sur lui-même : mais il n'a pu faire un tour sur lui-même que le second barillet, ou celui des sous, n'ait tourné d'un vingtième, et, par conséquent, mis le chiffre 1 à l'ouverture des sous. Mais le chiffre des deniers n'a pu rester à zéro; car ce n'est pas seulement de douze parties que vous l'avez fait tourner, mais de douze parties plus deux. Vous avez donc fait en sus comme si le barillet des deniers, étant à zéro, celui des sous à 1, vous eussiez fait tourner le cercle Q des deniers de deux dentures; mais, en faisant tourner le cercle Q des deniers de deux dentures, on met le barillet des deniers à 2, ou ce barillet présente 2 à son ouverture. Donc, le barillet des deniers offrira 2 à son ouverture, et celui des sous 1; mais 8 deniers et 6 deniers font 14 deniers, ou un sou, plus 2 deniers, ce qu'il fallait en effet ajouter, et ce que la machine a donné. La démonstration sera la même pour tout le reste de l'opération.

Exemple de la soustraction. Commencez par baisser la bande sur la ligne d'ouvertures inférieures; écrivez la plus grande somme sur les ouvertures de la ligne supérieure, comme nous l'avons prescrit pour l'addition par le moyen du conducteur; faites l'addition de la somme à soustraire, ou de la plus petite avec la plus grande, comme nous l'avons prescrit à l'exemple de l'addition; cette addition faite, la soustraction le sera aussi. Les chiffres qui paraîtront aux ouvertures mar-

queront la différence des deux sommes ou l'excès de la grande sur la petite, ce que l'on cherchait.

Soit	9,121	9	2
dont il faut soustraire	8,989	46	41

Si vous exécutez ce que nous avons prescrit, vous trouverez, aux ouvertures, 131 9 3.

Démonstration. Quand j'écris le nombre 9,121 1. 9 s. 2 d., pour faire paraître 2 à l'ouverture des deniers, je suis obligé de faire passer avec le directeur onze dents du cercle Q des deniers; car il y a, à la rangée supérieure du barillet des deniers, onze termes, depuis 0 jusqu'à 2: si à ce 2 j'ajoute encore 41, je tomberai sur 3; car il faut encore que je fasse faire onze dents au cercle Q: or comptant 41, depuis 2, on tombe sur 3. La démonstration est la même pour le reste. Mais remarquez que le barillet des deniers n'a pu tourner de 22, sans que le barillet des sous n'ait tourné d'un vingtième ou de douze deniers. Mais comme, à la rangée d'en haut, les chiffres vont en rétrogradant dans le sens que les barillets tournent; à chaque tour du barillet des deniers, les chiffres du barillet des sous diminuent d'une unité, c'est-à-dire que l'emprunt que l'on fait sur un barillet est acquitté sur l'autre, ou que la soustraction s'exécute comme à l'ordinaire.

Exemple de la multiplication. Revenez aux ouvertures inférieures; faites remonter la bande sur les ouvertures supérieures; mettez toutes les roues à zéro, par le moyen du conducteur, comme nous l'avons dit plus haut. Ou le multiplicateur n'a qu'un caractère, ou il en a plusieurs; s'il n'a qu'un caractère, on écrit, comme pour l'addition, autant de fois le multiplicande qu'il y a d'unités dans ce chiffre du multiplicateur: ainsi, la somme 4,245 étant à multiplier par 3, j'écris ou pose trois fois cette somme à l'aide de mes roues et des cercles Q, après la dernière fois, il paraît aux ouvertures 3,735, qui est en effet le produit de 4,245 par 3.

Si le multiplicateur a plusieurs caractères, il faut multiplier tous les chiffres du multiplicande par chacun de ceux du multiplicateur, les écrire de la même manière que pour l'addition; mais il faut observer, au second multiplicateur, de prendre pour première roue celle des dizaines.

La multiplication n'étant qu'une espèce d'addition, et cette règle se faisant évidemment ici par voie d'addition, l'opération n'a pas besoin de démonstration.

Exemple de division. Pour faire la division, il faut se servir des ouvertures supérieures; faites donc descendre la bande sur les inférieures; mettez à zéro toutes les roues fixées sur cette bande, et qu'on appelle *roues de quotient*; faites paraître aux ouvertures votre nombre à diviser, et opérez comme nous allons dire.

Soit la somme 65 à diviser par 5; vous dites: en 6, 5 y est, et vous ferez tourner votre roue comme si vous vouliez additionner 5 et 6; cela fait, les chiffres des roues supérieures allant toujours en rétrogradant, il est évident qu'il ne paraîtra plus que 4 à l'ouverture où il paraissait 6; car, dans 0, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 4 est le cinquième terme après 6.

Mais le diviseur 5 n'est plus dans 4; marquez donc 4 sur la roue des quotients, qui répond à l'ouverture des dizaines; passez ensuite à l'ouverture des unités, ôtez-en 5 autant de fois qu'il sera possible, en ajoutant 5 au caractère qui paraît à travers cette ouverture, jusqu'à ce qu'il vienne à cette ouverture ou zéro ou un nombre plus petit que 5, et qu'il n'y ait que des zéros aux ouvertures qui précèdent; à chaque addition, faites passer l'aiguille de la roue des quotients, qui est au-dessous de l'ouverture des unités, du chiffre 4 sur le chiffre 2, sur le chiffre 3; en un mot, sur un chiffre qui ait autant d'unités que vous ferez de soustractions: ici, après avoir ôté trois fois 5 du chiffre qui paraissait à l'ouverture des unités, il est venu zéro; donc 5 est 43 fois en 65.

Il faut observer ici qu'en ôtant une fois 5 du chiffre qui paraît aux unités, il vient tout de suite zéro à cette ouverture; mais que, pour cela, l'opération n'est pas achevée, parce qu'il reste une unité à l'ouverture des dizaines, qui fait, avec le zéro qui suit, 10, qu'il faut épuiser; or, il est évident que, 5 ôté deux fois de 10, il ne restera plus rien, c'est-à-dire que, pour exhaustion totale, ou pour avoir zéro à toutes les ouvertures, il faut encore soustraire 5 deux fois.

Il ne faut pas oublier que la soustraction se fait exactement comme l'addition, et que la seule différence qu'il y ait, c'est que l'une se fait sur les nombres d'en bas et l'autre sur les nombres d'en haut.

Mais, si le diviseur a plusieurs caractères, voici comment on opérera: soit 9,989 à diviser par 124: on ôtera 4 de 9, chiffre qui paraît à l'ouverture des mille, 2 du chiffre qui paraît à l'ouverture des centaines, 4 du chiffre qui paraît à l'ouverture des dizaines, et l'on mettra l'aiguille des cercles du quotient, qui répond à l'ouverture des dizaines, sur le chiffre 4. Si le diviseur 424 peut s'ôter encore une fois de ce qui paraîtra, après la première soustraction, aux ouvertures des mille, des centaines et des dizaines, on l'ôtera et on tournera l'aiguille du même cercle du quotient sur 2, et on continuera jusqu'à l'exhaustion la plus complète qu'il sera possible; pour cet effet, il faudra réitérer ici la soustraction huit fois sur les trois mêmes ouvertures; l'aiguille du cercle du quotient, qui répond aux dizaines, sera donc sur 8 et il ne se trouvera plus aux ouvertures que 69, qui ne peut plus se diviser par 424; on mettra donc l'aiguille du cercle du quotient, qui répond à l'ouverture des unités, sur 9, ce qui marquera que, 424 ôté 80 fois de 9,989, il reste ensuite 69.

Nous en resterons là de cette description; nous répéterons seulement qu'on ne saurait évidemment pas dire que cette machine fait autre chose que l'addition, et, grâce à une graduation convenable, la soustraction; nous donnerons plus loin la description de machines faisant réellement la multiplication, grâce à un organe spécial.

Nous décrirons maintenant la machine du docteur Roth, qui, bien plus simple que celle de Pascal, donne les mêmes résultats et peut être considérée comme une simplification de cette machine.

Machine à calculer, addition et soustraction, du docteur Roth. Cette ingénieuse machine consiste en une boîte longue et étroite, dont la surface supérieure est recouverte d'une plaque sur laquelle on a gravé des chiffres. A l'une des extrémités de la boîte est placé un style à pointe mobile destiné à écrire les nombres. La plaque est divisée en huit cadrans ou anneaux demi-circulaires; les six premiers, en allant de gauche à droite, servent à poser les nombres depuis les centaines de mille jusqu'à l'unité; les deux derniers sont consacrés aux fractions décimales du nombre à écrire. Autour de chaque cadran sont gravées deux séries de 10 chiffres de 0 à 10; les *noirs* servent pour l'addition, les *rouges* pour la soustraction, et dans les entailles demi-circulaires existent des dents dont les intervalles correspondent aux chiffres. Au-dessous des cadrans règnent deux rangées de trous destinés à présenter sur une ligne horizontale le nombre que l'on pose; nous leur donnerons le nom de tableau. Le tableau rouge supérieur est destiné à la soustraction; le tableau noir inférieur, à l'addition.

Lorsqu'on veut faire une addition et poser un nombre quelconque, on commence par ramener tous les trous ronds à zéro, puis on dégage le style placé à l'extrémité de la boîte; on en enfonce verticalement la pointe dans l'entaille au cran correspondant au chiffre que l'on veut poser, et on conduit ce cran de droite à gauche jusqu'à l'extrémité du cadran; le chiffre se produit aussitôt dans le trou placé immédiatement au-dessous du cadran sur

lequel on a opéré; on procède ensuite de la même manière, jusqu'au dernier, pour les chiffres suivants du nombre à poser, en observant que, s'il se rencontre un zéro, il n'y a pas à le marquer.

Supposons que l'on veuille écrire le nombre 4,630 francs 23 centimes; on placera le style dans le cran correspondant au chiffre 4 noir sur le cadran des mille, et on amènera les dents jusqu'à l'extrémité gauche; on écrira de même le chiffre 6 sur le cadran des cent, 3 sur celui des dizaines, et rien sur celui des unités, puisque le chiffre des unités est zéro; puis aux cadrans des fractions, 2 sur celui des décimes, et 3 sur celui des centimes; on aura, pour résultat de cette opération, le nombre. 4 630,23, écrit au tableau noir; si on veut ajouter à ce nombre celui de 29 837,55, par exemple, on opérera comme pour le

premier nombre et la somme. 31 467,78 se trouvera écrite au tableau noir. On peut, de cette manière, ajouter à un premier nombre tous ceux que l'on veut jusqu'à un million, et toujours l'addition exacte se fait à mesure que l'on écrit. Il est indifférent d'écrire les nombres en commençant par la gauche ou par la droite; seulement, le premier procédé est le plus commode.

Le mécanisme de cette ingénieuse machine est tellement simple que nous espérons le faire aisément comprendre sans figures. Les dents qui saillissent dans chaque entaille demi-circulaire appartiennent à une roue à rochet concentrique, à laquelle un cliquet permet seulement de se mouvoir de droite à gauche. Ces roues portent sur deux circonférences concentriques, et écrits en noir et en rouge, la série double des chiffres 0, 1, 2... 9, 0, 1, 2... 9, écrits les uns dans un sens, les autres dans l'autre, comme cela a lieu pour les deux séries simples gravées sur le pourtour des entailles circulaires. Les trous ronds des deux tableaux sont respectivement pratiqués au-dessus de ces deux circonférences. Il est alors évident que l'une de ces roues étant disposée de telle sorte qu'il y ait 0 au tableau noir, si l'on amène avec le style le cran 5 au cran 0, le chiffre 5 viendra remplacer le 0 dans le tableau noir; si l'on amène de nouveau le cran 2 au cran 0, la roue avancera de deux dents, et le chiffre $7 = 5 + 2$ remplacera le 5 au tableau noir. L'axe de chacune des roues à rochets porte une double came, contre laquelle vient appuyer, par le moyen d'un ressort, une saillie pratiquée sur l'un des bras d'un levier coudé, dont l'autre bras porte lui-même un ressort ou cliquet qui, à chaque demi-tour de la roue, fait sauter une des dents de la roue à rochet de gauche, de telle sorte que, lorsque la somme des unités, successivement écrites sur un cadran, atteint une dizaine, ce cliquet fait sauter une dent ou un chiffre du cadran de gauche. On conçoit donc que les additions se fassent comme nous l'avons indiqué, et que le nombre des cadrans et des roues à rochet détermine la grandeur des nombres sur lesquels on peut opérer.

Lorsque, ayant terminé une addition, on veut en commencer une autre, il faut commencer par ramener tous les trous ronds du tableau noir à zéro: pour cela, on attire d'abord à soi le bouton de cuivre placé à l'extrémité gauche de la boîte, lequel termine une tige cachée dans l'intérieur; par ce mouvement, la tige est dégagée d'un crochet qui la retient; on la fait alors sortir doucement et horizontalement, en tirant le bouton jusqu'à ce que l'on sente de la résistance, et, par ce moyen, on amène au tableau une succession de 9 représentant 99,999 francs 99 centimes. Si, après avoir repoussé la tige dans l'intérieur jusqu'à ce qu'elle soit de nouveau saisie par le crochet (précaution indispensable), on ajoute 4 centime, on obtient instantanément des zéros sur toute la ligne, et on peut dès lors commencer une nouvelle addition. Ce dernier mécanisme est aussi sim-

ple que les précédents; l'axe de chaque roue à rochet porte une seconde double came qui offre à peu près la forme d'un rhombe ou losange allongé et à faces légèrement évidées. La tige dont nous venons de parler pénètre jusqu'au milieu environ de la boîte, et est liée par deux boulons à une autre tige parallèle à la longueur de la boîte, portant huit mentonnets qui, lorsque la première tige est saisie par le crochet, se trouvent à la droite et un peu au-dessus de la ligne des axes de chacune des doubles comes ci-dessus, dont ils traversent le plan, et qu'ils ne peuvent pas alors toucher; mais, lorsqu'on dégage la première tige et qu'on la tire de droite à gauche, les boulons, qui joignent les tiges, glissent dans deux anneaux ou guides à peu près demi-circulaires, de telle sorte que tous les points de la seconde tige, et par suite les huit mentonnets qu'elle porte, décrivent des courbes égales et parallèles, pour venir se placer de l'autre côté de chaque roue à rochet dans une position symétrique. Quelle que soit alors la position de chaque double came, si elle n'est pas dans celle qui correspond au 9 sur le tableau noir, l'une des comes simples qui la composent se trouvera au-dessus de la ligne droite qui passe par les positions primitives des mentonnets, et sera entraînée par le mentonnet de droite, qui la ramènera dans la position voulue. Il est indifférent que le mentonnet touche l'une ou l'autre des comes de la double came, puisque chacune des moitiés de la roue à rochet porte les mêmes chiffres, dans le même ordre, en allant toujours dans le même sens.

Ces divers mécanismes étant bien compris, il est facile de voir comment il faudra s'y prendre pour faire une soustraction, en remarquant que les chiffres rouges sont écrits sous les chiffres noirs, en sens inverse, c'est-à-dire de droite à gauche, de telle sorte que la somme d'un quelconque des chiffres noirs et du chiffre rouge placé en regard au-dessous, soit sur l'un des cadrans, soit sur l'une des roues à rochet, est toujours égale à 9. A cet effet, on mettra, avant de commencer l'opération, tous les chiffres du tableau noir à 0; les chiffres rouges seront alors à 9; on écrira le nombre le plus grand avec les chiffres rouges; on écrira ensuite le plus petit nombre avec les chiffres noirs, et on lira la différence sur le tableau rouge. Pour éviter toute confusion, il sera convenable de mettre à 0, sur le tableau rouge, tous les cadrans non employés pour écrire le plus grand nombre avec les chiffres rouges.

Usage des machines à addition. Les machines arithmétiques pouvant servir à effectuer des additions semblent peu susceptibles de rencontrer des applications d'un ordre élevé, d'effectuer le calcul des valeurs des fonctions, des équations. Il n'en est pas ainsi, et les curieux travaux de Babbage (voyez *Complément, CALCULER*) ont fait voir comment les séries fort complexes aboutissant à des différences 3^{es}, 4^{es}... n^{mes} constantes, on pouvait, par simple voie d'additions successives, construire des tables dont le calcul est fort laborieux. La voie ouverte par le savant géomètre anglais peut conduire à une solution curieuse du problème, mais, n'y parvenant que par un moyen détourné, elle ne fournit pas de conséquences théoriques intéressantes comme celles auxquelles on arrive par la solution directe analysée dans l'article que nous venons d'indiquer.

Arithmomètre Thomas. L'organe principal de cette machine que nous représentons, en principe (fig. 349), qui fait sa supériorité incontestable sur les machines à calculer antérieures, et qu'on peut appeler l'organe de la multiplication, consiste dans un cylindre cannelé partiellement, que nous décrirons avant tout. La surface de chacun de ces cylindres, portés par chaque axe répondant à un chiffre du multiplicande, est couverte par neuf arêtes saillantes placées les unes contre les autres comme les dents d'un engrenage cylindrique. Ces arêtes ont des longueurs proportionnelles aux nom-

Arès 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1. La première occupe toute la longueur du cylindre, et la dernière n'en est que la neuvième partie. Un arbre à section rectangulaire, parallèle au cylindre cannelé, porte un pignon à dix

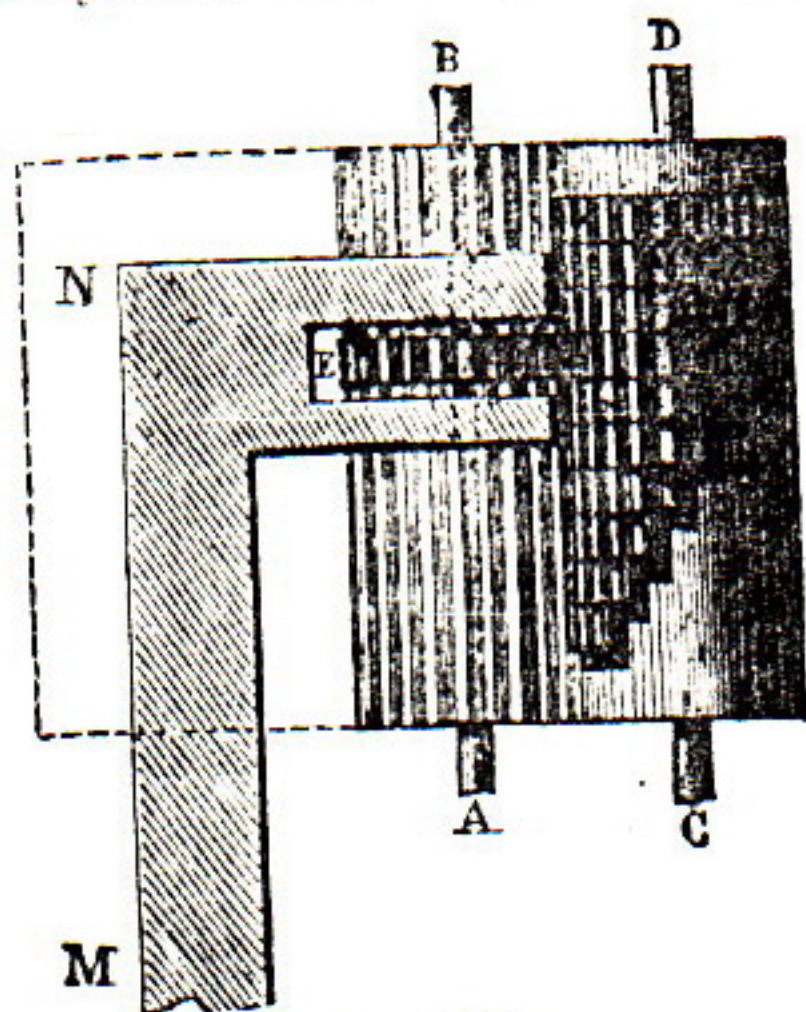


Fig. 349.

dents engrenant avec celui-ci, et mobile le long de cet arbre de manière à faire tourner par chaque tour 1, 2, . . . 9 dents, suivant sa position.

Ceci compris, revenons à la description de l'arithmomètre (fig. 350).

La boîte contenant le cylindre, l'arbre parallèle et le pignon mobile, est fermée par une table horizontale en cuivre dans laquelle on a pratiqué, exactement au-dessus de l'arbre, une coulisse A parallèle au cylindre. Sur le bord de cette coulisse, qui a même longueur que le cylindre, on a tracé dix divisions à égales distances et marquées des nombres 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9. Un index, qui glisse dans la coulisse et qui est lié au pignon mobile, le fait marcher le long de l'arbre. Supposons,

axe commun, sont maintenus par un pont au-dessous d'une tablette en cuivre qui est de niveau avec la table des coulisses. Dans cette tablette, il y a une petite ouverture circulaire ou fenêtre du cadran par laquelle on voit passer, à partir de zéro, les chiffres 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, quand le cadran fait un tour entier.

Maintenant, concevons que l'index soit placé sur le n° 3 de la coulisse et que le cylindre fasse un tour entier; les trois arêtes 1, 2, 3 du cylindre poussent trois dents du pignon mobile. Le pignon fixe, qui a même arbre que le pignon mobile, avance également de trois dents. La couronne, entraînée à son tour par le pignon fixe, marche aussi de trois dents, et le cadran fait trois pas. On voit arriver à la petite fenêtre du cadran les chiffres 1 et 2, puis le chiffre 3, qui remplace le zéro qui s'y trouvait d'abord.

A côté du cylindre que nous venons de décrire avec tous ses accessoires, et qui correspond aux unités, on a placé parallèlement à gauche des cylindres semblables pour les dizaines, les centaines, etc. La tablette porte, indépendamment des cadrans correspondants à chaque cylindre, d'autres cadrans sur la gauche en nombre au moins égal, afin de pouvoir exécuter les opérations qui conduisent à un grand nombre de chiffres.

Le moteur de la machine est une manivelle N que l'on tourne toujours de gauche à droite, et qui, au moyen d'un arbre de couche, fait tourner à la fois tous les cylindres cannelés de droite à gauche. Ceux-ci, par leurs arêtes saillantes, poussent les pignons mobiles, et les font toujours tourner de gauche à droite.

Pour transporter dans les fenêtres des cadrans un nombre donné 75, on pousse l'index du premier cylindre de droite ou des unités sur le numéro 5 de la coulisse; on fait de même monter l'index des dizaines sur le numéro 7. Le nombre 75 est alors écrit sur les coulisses avec deux index, et un tour de manivelle le transporte dans les fenêtres des deux premiers cadrans de

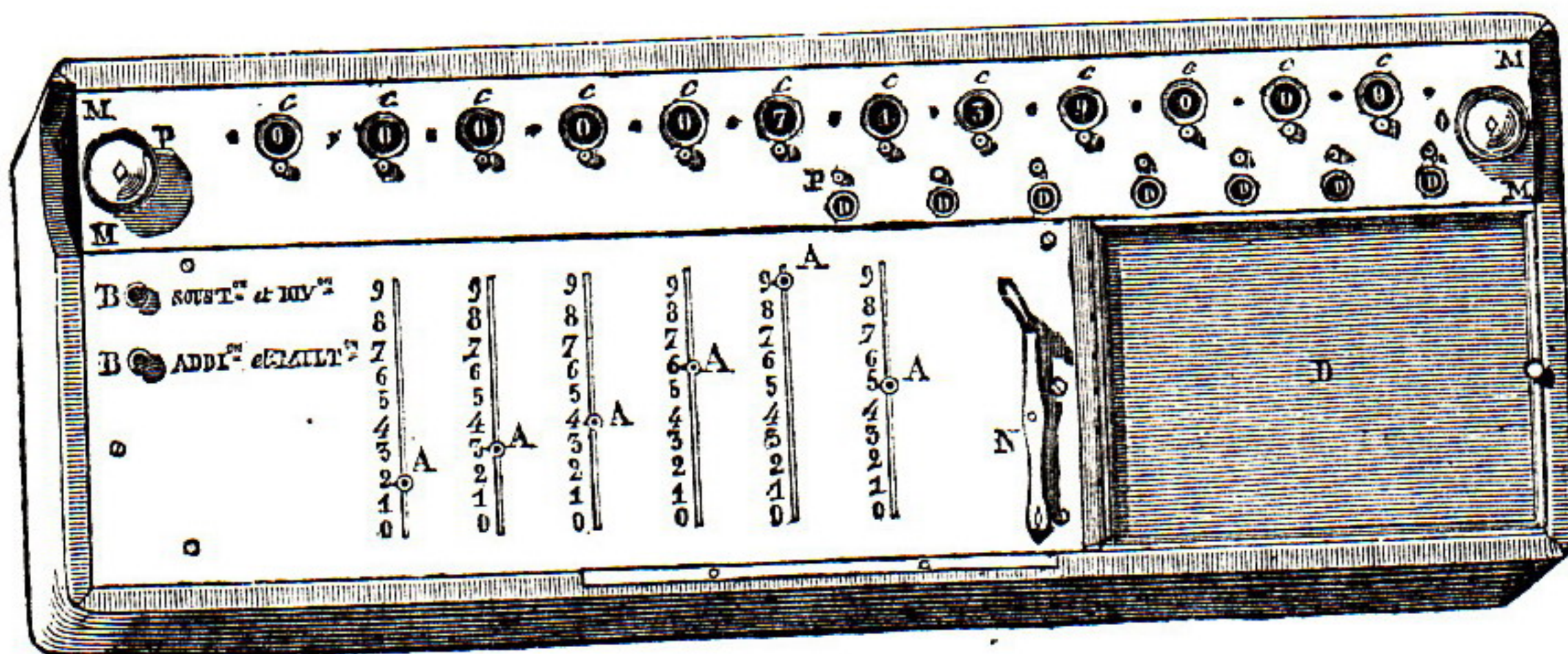


Fig. 350.

par exemple, que l'on pousse l'index sur le numéro 3 de la coulisse, le pignon qui le suit arrive vis-à-vis le commencement de l'arête saillante 3 du cylindre. Si le cylindre fait un tour entier, trois dents du pignon seront poussées par les trois arêtes saillantes 1, 2, 3, les seules qui puissent alors atteindre ce pignon, puisque les autres arêtes ne commencent qu'au-dessus du n° 3 de la coulisse.

L'arbre qui sert d'axe au pignon mobile porte à son extrémité, prolongée dans une autre boîte, un pignon fixe vertical à dix dents, qui engrène par sa partie supérieure dans une couronne ou roue d'angle horizontale à dix dents. L'axe vertical de cette couronne est aussi l'axe d'un cadran horizontal sur le contour duquel on a marqué, dans dix cases, les chiffres 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9. La couronne, le cadran qui est par-dessus, et leur

droite (fig. 350).

Addition. On écrit un nombre avec les index; on fait un tour de manivelle, et il est transporté dans les fenêtres où se trouvaient d'abord des zéros. On transporte de même un deuxième nombre, qui s'ajoute au premier, puis un troisième et ainsi de suite. La somme de tous ces nombres est alors écrite dans les fenêtres des cadrans.

Quand la somme de deux chiffres qui s'ajoutent sur un même cadran surpasse 9, les unités se trouvent dans la fenêtre de ce cadran, et la dizaine ou la retenue passe sur le cadran de gauche. Voici comment s'opère ce passage: quand le zéro qui suit 9 arrive à la petite fenêtre, une came en acier, placée sous le disque du cadran vis-à-vis zéro, presse et fait tourner le bras d'un levier coudé; une cheville ou doigt, qui tourne de droite à gauche,

s'engage dans les dents du pignon fixe des dizaines, le fait avancer d'un pas, et l'on voit le chiffre 4 à la fenêtre du cadran des dizaines. Pendant que les chiffres de 4 à 9 traversent la fenêtre du cadran des unités, qui tourne de droite à gauche, le support du doigt se déplace progressivement au moyen d'un plan incliné circulaire. Le bras du levier tourne en même temps en sens contraire, revient à sa première position, où il est de nouveau pressé par la came, lorsque le zéro reparaît dans la petite fenêtre. Un ressort presse l'autre bout du levier coudé, qui ne peut, en conséquence, tourner que par l'action de la came ou par le jeu du plan incliné.

Soustraction. Quand le grand nombre est transporté dans les fenêtres des cadrans et le petit nombre écrit avec les index, la soustraction s'opère par un tour de manivelle. Mais alors les cadrans, au lieu de tourner de droite à gauche dans l'ordre croissant 1, 2, 3, etc., comme pour l'addition, doivent tourner de gauche à droite dans l'ordre inverse des chiffres. Ce changement s'obtient au moyen d'un second pignon fixe sur chaque arbre. Ce second pignon vertical atteint la couronne horizontale dans un point diamétralement opposé au point où engrène le pignon pour l'addition. La couronne, poussée en sens contraire, fait tourner le cadran dans l'ordre inverse des chiffres. A l'aide d'un bouton indicateur amené sur les mots addition et multiplication, ou sur les mots soustraction et division, on est sûr de faire embrayer dans la couronne horizontale, d'un côté, le pignon pour l'addition, et de l'autre le pignon opposé pour la soustraction, en tournant toujours la manivelle de gauche à droite.

Multiplication. On écrit le multiplicande avec les index. Par un nombre de tours égal aux unités du multiplicateur, le multiplicande s'ajoute à lui-même autant de fois qu'il y a d'unités dans le multiplicateur, et le produit partiel se trouve dans les chiffres apparents des cadrans. Alors on fait glisser à la main, vers la droite, la tablette des cadrans, de manière que le cadran des dizaines prenne la place des unités, corresponde à celui des unités. Avec autant de tours de manivelle qu'il y a de dizaines dans le multiplicateur, le second produit partiel, qui se compose de dizaines, se forme et s'ajoute au premier produit partiel, mais en commençant par les dizaines. Pour chaque autre chiffre du multiplicateur, on continue d'avancer les cadrans d'un rang vers la droite, puis de tourner la manivelle pour former et ajouter les produits partiels correspondants. Le produit total, composé de la somme des produits partiels, pour tous les chiffres du multiplicateur, se trouve enfin dans les fenêtres des cadrans.

Division. On amène l'indicateur sur le mot division pour faire embrayer dans la couronne le pignon vertical, qui pousse chaque cadran, dans l'ordre inverse des chiffres, comme pour la soustraction. Après avoir écrit le dividende pour les fenêtres des cadrans et le diviseur avec les index, on voit quelle est la tranche de chiffres du dividende qu'il faut prendre sur sa gauche pour contenir le diviseur, et l'on fait glisser la tablette des cadrans de gauche à droite, de manière que le chiffre de droite de cette tranche réponde aux unités du diviseur. On tourne la manivelle jusqu'à ce que la tranche soit réduite, dans les fenêtres, à un nombre plus petit que le diviseur; le nombre de tours est précisément le premier chiffre de gauche du quotient. Le reste de la tranche et le chiffre suivant du dividende forment une seconde tranche; on fait rentrer d'un rang la tablette des cadrans pour que le nouveau chiffre de droite se trouve vis-à-vis des unités du diviseur. Alors le nombre de tours de la manivelle donne le second chiffre du quotient, et ainsi de suite. On continue de la même manière pour obtenir les autres chiffres du quotient. On doit écrire à part les chiffres du quotient, parce qu'il n'en reste pas de trace dans la machine. Quand la di-

vision ne se fait pas exactement, le reste se trouve dans les fenêtres des cadrans.

En résumé, l'arithmomètre effectue immédiatement l'addition et la soustraction. Quand deux nombres sont inscrits dans les fenêtres des cadrans et sur les coulisses avec les index, la somme ou la différence des nombres se trouve dans les fenêtres des cadrans après un tour de manivelle. Dans la multiplication et la division, quand on a écrit seulement le multiplicande avec les index, ou bien le dividende dans les fenêtres des cadrans et le diviseur avec les index, on doit faire autant d'opérations partielles qu'il y a de chiffres dans le multiplicateur ou le quotient, et, après chacune de ces opérations, il faut encore effectuer à la main le déplacement des cadrans. C'est par ce concours facile de l'opérateur, par le déplacement des ordres d'unités que l'inventeur est parvenu à construire une machine très-simple, très-commode, permettant d'exécuter avec promptitude les calculs les plus ordinaires de l'arithmétique.

Nous renverrons les lecteurs désireux de connaître les détails de la construction de cette ingénieuse machine à un rapport fait par M. Benoît à la Société d'encouragement (1851). Nous ajouterons seulement à ce qui précède quelques détails sur l'application que l'on peut en faire pour exécuter mécaniquement des calculs fort compliqués, ainsi que l'a montré M. Hirn.

L'arithmomètre, dit M. Hirn, est l'instrument des calculs étendus, rapides et *tout à fait rigoureux*; son exactitude et sa rapidité dans les calculs de nombres qui ont jusqu'à vingt-quatre figures au produit, au moyen de la machine qui n'admet que six figures au facteur, en font un appareil précis et incomparable dont se servira un jour l'astronome tout comme le comptable d'un bureau quelconque.

Ainsi, lorsqu'on emploie l'arithmomètre à des multiplications, à des divisions, à des extractions de racines carrées de nombres dont les figures ne dépassent pas ce que comporte l'instrument (5, 6, 8, 10 aux facteurs pour l'instrument de 5, 6, 8, 10 coulisses), le résultat s'obtient immédiatement avec un bénéfice de temps de dix-neuf vingtièmes sur le calculateur le plus exercé. A côté de cet avantage s'en place un autre qui lui est supérieur: c'est l'exactitude. Les fautes accidentelles et bien rares qui s'y produisent sont aperçues au tour même de manivelle qui y donne lieu.

Disons comment, pour en tirer tout le parti possible, M. Hirn étend la portée de l'instrument autant qu'il le comporte. Supposons, dans ce qui va suivre, qu'on se serve d'un arithmomètre de six chiffres ou figures, et qu'on soit parfaitement au courant de l'usage de l'arithmomètre, en ce qui concerne les quatre règles: les instructions publiées à ce sujet par M. Thomas, et accompagnant toujours l'arithmomètre, sont suffisamment claires dans ce sens. Nous prendrons pour exemple une multiplication.

Multiplication de nombres formés de plus de figures que n'en porte l'arithmomètre. — Supposons de suite le cas extrême, où l'on ait à faire une multiplication de deux nombres de douze figures chacun, comme, par exemple :

$$986523469728 \times 658976528973$$

Ces deux nombres peuvent s'écrire sous la forme
(986523000000 + 469728)
 $\times$ (658976000000 + 528973).

La multiplication peut donc se décomposer ainsi :
(986523 $\times$ 658976) 000000000000 I + 986523
 $\times$ 528973) 000000 II + (658976 $\times$ 469728) 000000 III
+ (469728 $\times$ 528973) IV.

Et, dès ce moment, l'opération est possible sur l'arithmomètre de six chiffres. On exécute les quatre multi-

plications isolément, sans s'occuper des zéros. En les transcrivant sur le papier, on les superpose en ajoutant douze zéros à I, six zéros à II et III, et laissant IV tel quel; mais, en commençant par la droite, il vient ainsi :

650094980448000000000000	I
521844030879000000	II
30953947828000000	III
248473429344	IV
650095814831757880429344	

Ainsi, en définitive, sur un arithmomètre quelconque, il est possible toujours de faire rapidement une multiplication de nombres ayant le double de figures que n'en porte la machine.

Nous ne donnerons pas les autres méthodes de calcul indiquées par le savant ingénieur; nous nous contenterons de rapporter ici ses conclusions.

Il faut certes de l'exercice et de l'habitude pour exécuter rapidement des opérations successives compliquées, et qui peuvent comprendre des sommes ou des différences de produits, de divisions, de puissances, etc.; bien moins cependant qu'on ne le penserait à première vue, et je ne crains point de me tromper en disant que huit jours de pratique suffisent pour mettre un calculateur un peu intelligent à l'abri de toute chance d'erreur.

Il ne sera pas difficile à un calculateur habile de trouver d'autres opérations nombreuses auxquelles se prête l'arithmomètre. Je dirai seulement, pour terminer, que l'emploi d'un instrument de 40 chiffres aux facteurs, qui se prête au calcul des logarithmes à 40 figures, deviendra un jour, pour les astronomes, par exemple, un moyen de sauver 44 heures de travail laborieux sur 42.

Machine à calculer de Maurel et Jayet, dite ARITHMAUREL. L'arithmomètre Thomas, inventé dès 1820, était oublié, quand la machine dont nous parlons fut présentée, en 1849, à l'Académie des sciences. Elle impressionna vivement l'opinion publique, et ce ne fut que la constatation tardive de la ressemblance de son organe principal avec celui de l'arithmomètre, qui la refroidit un peu. Ajoutons qu'elle n'est pas passée dans la pratique, que sa construction ne s'est pas multipliée à cause, croyons-nous, de la complication qu'apportait au mécanisme le non-déplacement de partie de l'appareil. Le rapport de M. Binet, excellente étude sur les machines à calculer, mérite d'être conservé; nous en extrayons ce qui suit.

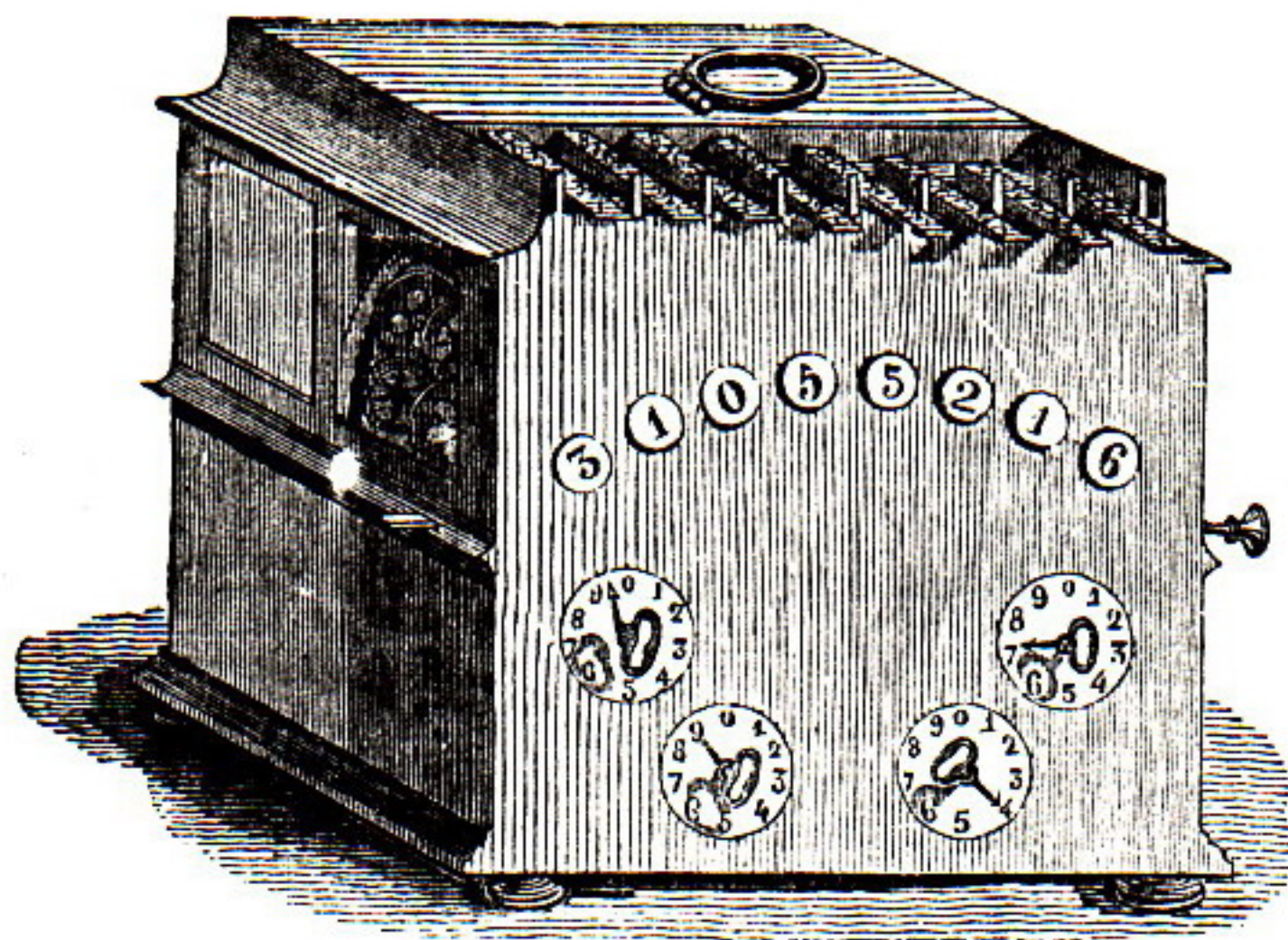


Fig. 354.

Le volume de l'instrument (fig. 354) n'est pas très-différent de celui de Pascal; sa structure, plus complexe repose également sur la possibilité de représenter tous les nombres entiers à l'aide de disques circulaires por-

tant chacun les dix chiffres : 0, 1, 2, 3, 9 : l'un de ces disques présente, à une première ouverture ou fenêtre, le chiffre des unités simples; un second disque, portant aussi les chiffres 0, 1, 2, 3, 9, amène, à une ouverture placée à gauche de la première, le chiffre des dizaines; à la troisième fenêtre se présente le chiffre des centaines, fourni par un troisième disque, et ainsi des autres. Dans la machine de Pascal, ce sont des cylindres convexes qui portent les chiffres des unités, des dizaines, etc. La plupart des machines à faire des additions ou soustractions, etc., ont emprunté ce dispositif; mais leurs différences essentielles résident dans la manière de faire mouvoir les disques ou les cylindres, dans la rapidité et la justesse des mouvements, et dans la simplicité des impulsions que le calculateur imprimera aux pièces de l'instrument, pour commander le déplacement de celles qui doivent écrire le résultat d'une opération.

Le mérite et la célérité de l'instrument de MM. Maurel et Jayet se révèlent surtout dans la multiplication et dans la division de nombres d'une certaine grandeur. Ainsi, par exemple, les deux nombres 2749 et 3937 multipliés entre eux ont donné, en moins de vingt secondes, le produit 10,877,783. Pour former ce produit, il a fallu écrire avec les échelles, en tirant les règles placées à la partie supérieure de l'instrument, le multiplicande 2749; il a fallu mouvoir les quatre aiguilles des cadrans : la première a parcouru sept divisions d'un cadran, et ce mouvement est déterminé par le chiffre 7 des unités du multiplicateur; la deuxième se mouvra de cinq divisions, parce que 5 est le chiffre des dizaines; la troisième se mouvra de neuf divisions à cause du chiffre 9 des centaines, et enfin la quatrième sera mue de trois divisions d'un dernier cadran. Le nombre des aiguilles à mouvoir est toujours le nombre des chiffres du multiplicateur. L'instrument en expérience exige que les deux facteurs n'admettent pas à la fois plus de quatre chiffres, c'est-à-dire que ces nombres soient au-dessous de dix mille; ou bien que, l'un étant de cinq chiffres, l'autre n'en ait que trois, ou moins; et en général que le nombre des chiffres des deux facteurs réunis n'excède pas huit, pour que la machine vous donne sur-le-champ le produit qui sera au-dessous de cent millions. On voit, au reste, quel parti on pourrait tirer de l'instrument pour obtenir des produits de nombres supérieurs: on formerait alors des produits partiels, qui seraient à ajouter l'un à l'autre par les procédés ordinaires, en ayant égard à l'ordre des unités décimales de ces produits partiels; l'instrument fournirait très-brièvement les produits partiels à ajouter. Il dispenserait toujours le calculateur de ce qu'il y a de fatigant lorsqu'il s'agit de multiplier de grands nombres.

Dans la règle la plus compliquée de l'arithmétique, dans la division, la machine de MM. Maurel et Jayet exécute rapidement la soustraction répétée du diviseur placé sur les échelles, du dividende placé dans les lucarnes (ce qui s'opère en l'écrivant sur les échelles et le multipliant par 4, ce qui le fait immédiatement paraître aux lucarnes); elle opère immédiatement sur tout dividende moindre que cent millions, qui serait à diviser par un entier au-dessus de dix mille, en sorte que le quotient n'ait pas plus de quatre chiffres. Chaque cadran donne (nous y revenons plus loin) le chiffre du quotient par une simple rotation en arrière. Ainsi le diviseur, moindre que le dividende, pourra être de plus de dix millions; le quotient ne comportera alors qu'un seul chiffre et s'obtiendra dans un instant, ainsi que le résidu de la division. Si le diviseur est au-dessous de dix millions, le quotient aura ou deux, ou trois, ou quatre chiffres qui seront fournis dans un temps fort court ainsi que le reste de la division; la machine aura encore épargné au calculateur le travail de mé-

moire, et l'aura dispensé de toute écriture à la plume. Si le diviseur était un nombre au-dessous de dix mille, et que le dividende eût huit chiffres, la machine ne donnerait pas le quotient complet: elle fournirait d'abord les quatre premières figures à gauche du quotient; par une seconde division, plus simple que la précédente, on obtiendrait le chiffre des unités.

La rapidité des opérations de la multiplication et de la division s'étend nécessairement au calcul du quatrième terme d'une proportion: quelques secondes donnent le résultat si le produit des moyens est au-dessous de cent millions, et que le diviseur soit dans les limites prescrites.

Composition de la machine. Donner une idée de la machine de MM. Maurel et Jayet sans avoir sous les yeux le mémoire descriptif, sans une multitude de planches, n'est pas chose facile. Nous nous contenterons d'en indiquer les principes fondamentaux:

Supposons que nous ayons à faire une multiplication. L'opération principale en vue de laquelle la machine a été construite, et dont toutes les autres se déduisent.

On commencera, comme nous l'avons dit plus haut, par écrire un facteur sur les règles placées à la partie supérieure de la machine, c'est-à-dire qu'on les tirera jusqu'à ce que le chiffre tracé sur l'échelle et à indiquer affleure la partie verticale voisine. Cette opération de traction fait avancer, par l'intermédiaire de griffes, quatre petits pignons, un pour chaque chiffre, quatre pour une machine permettant quatre chiffres au multiplicande. Chaque pignon glisse sur l'axe sur lequel il est enfilé, suivant un carré, d'un nombre d'épaisseurs égal au nombre de divisions égales dont on a fait avancer les règles, égal au nombre d'unités de chaque ordre. Or, ces épaisseurs sont précisément celles de roues dentées, solidaires avec des cylindres que font tourner les chiffres des multiplicateurs.

Ces roues dentées sont d'un nombre de dents tel qu'elles forment une série dans le rapport des nombres 1, 2, 3, 4 9 (ou n'ont que ce nombre de dents et ne garnissent que partie de la circonférence, et alors le mécanisme est disposé pour faire effectuer un tour entier aux cylindres pour chaque avancement d'une division d'aiguille), de telle sorte que, pouvant engrener avec les petits pignons de quatre dents dont nous venons de parler, et qui marchent toujours d'une dent pour une dent de la roue si l'échelle est sur la division 1, de deux dents pour la division 2, de trois dents pour la division 3, et ainsi de suite; c'est-à-dire qu'à l'aide de ce curieux organe, le produit du chiffre du multiplicande par le chiffre du multiplicateur, la somme des produits du chiffre du premier par les unités successives du second est immédiatement obtenue.

Si l'on a bien compris ce que nous venons d'indiquer, c'est-à-dire la description donnée plus haut de la roue à multiplication, on pourra saisir la disposition fondamentale de la machine de MM. Maurel et Jayet.

En effet, en tournant une aiguille d'un des cadrans qui correspondent à l'un des chiffres du multiplicateur, on tourne l'axe des cylindres montés sur le même axe que cette aiguille en nombre égal au nombre de chiffres du multiplicateur, c'est-à-dire, s'il a trois ou quatre chiffres, trois ou quatre cylindres. Les pignons différents qui engrènent avec chaque cylindre, et dont nous venons de parler, tournent donc d'un nombre de dents proportionnel au nombre d'unités, de dizaines, de centaines, etc., du produit.

Le problème se réduit à ajouter ces différents produits enregistrés sur chaque axe des pignons des dizaines, des centaines. Cette opération se fait à l'aide d'un système de cylindres dentés mis en rapport avec les pignons, dont la base antérieure porte les chiffres sur un cadran, qui montre le chiffre du produit à la

partie supérieure. Ils agissent comme dans un compteur, c'est-à-dire qu'un arrêt, placé sur un point de la roue (au point zéro quand on commence une opération), fait avancer d'une dent la roue de l'unité supérieure, lorsque le nombre d'unités qu'elle doit marquer atteint 10, lorsqu'elle a fait un tour complet.

Reprenons maintenant la multiplication, et voyons comment les choses se passent:

Soit à multiplier 3650 par 324. 3650 étant écrit sur les règles, et les cadrans multiplicateurs étant encore tous au 0, la galerie des produits marque 0 également; puis, quand on met la main à l'aiguille des unités pour la reporter sur le 4, on la fait nécessairement passer devant les chiffres 1, 2 et 3; or, si on opère lentement, et que l'on porte les yeux sur la galerie, on voit successivement apparaître d'abord 3650, puis son produit par 2, puis par 3, puis par 4. De même, si l'on agit sur le cadran des dizaines, on voit que le passage de son aiguille sur les unités de seconde espèce détermine dans la galerie les apparitions successives de nouveaux produits, lesquels se composent du premier produit partiel obtenu par le jeu du premier cadran, plus le multiplicande multiplié successivement par 10, par 20, et ainsi de suite pour les cadrans des centaines et des mille, s'il y en a.

En réalité, la machine arithmétique de MM. Maurel et Jayet procède, pour faire une multiplication, par une voie moins directe encore que la nôtre; car elle forme successivement autant de produits partiels qu'il y a d'unités comprises dans la somme des valeurs absolues de tous les chiffres du multiplicateur, et elle additionne tous ces produits au fur et à mesure qu'ils se forment. Mais comme la génération de ces produits s'accomplit, à cause de la légèreté des organes, avec une vitesse excessive, il en résulte que l'opération mécanique, plus compliquée dans son ensemble, s'effectue en réalité plus rapidement que celle à laquelle le temps nécessaire à la succession de nos idées assigne une durée plus longue.

L'analyse du procédé arithmétique adopté par les auteurs de la machine en question pour la multiplication va nous servir à comprendre comment cette même machine est immédiatement propre à opérer la division, l'addition et la soustraction. Il nous suffira d'ajouter que, la multiplication une fois faite, on peut la défaire, en faisant rétrograder les aiguilles du multiplicateur vers le zéro. Il arrive alors que le produit obtenu se réduit peu à peu par la soustraction successive de tous les produits partiels dont il s'était formé, et qu'il s'annule en même temps que le nombre indiqué aux cadrans multiplicateurs. Or, un produit étant donné et inscrit à la galerie, et l'un de ses facteurs aussi inscrit aux échelles du multiplicande, l'autre facteur étant inconnu, et les aiguilles au zéro sur tous les cadrans multiplicateurs, on peut utiliser la propriété qu'a la machine de marcher en arrière; on sollicite les aiguilles à rétrograder sur leurs cadrans, on voit en même temps s'évanouir le nombre proposé comme dividende, et l'on est averti de la fin de l'opération par une résistance opposée par la machine elle-même. Les aiguilles, ayant ainsi rétrogradé jusqu'à la manifestation d'un obstacle intérieur, s'arrêtent à des numéros dont l'ensemble compose précisément le quotient cherché. Si la division n'est pas possible exactement, le reste demeure en évidence à la galerie des produits. Il va sans dire que le mouvement rétrograde indicateur du quotient doit s'évaluer sur des chiffres disposés dans le sens où s'opère ce mouvement lui-même.

Quant à l'addition et à la soustraction, rien de plus simple. Comme nous avons dit, la multiplication est ramenée à une série d'additions et de multiplications par 10, par 100, par 1,000; que, de même, la division n'est qu'une série de soustractions et de divisions par

40, par 400, par 4,000. Si donc on veut additionner plusieurs nombres ensemble, il suffira de les inscrire successivement aux échelles du multiplicande et de les faire passer et s'accumuler à la galerie des produits en les multipliant par 1. Pour la soustraction, on inscrit le plus fort des deux nombres à la galerie des produits, le nombre à soustraire aux échelles du multiplicande, et on le soustrait une fois en faisant rétrograder d'un cran l'aiguille du cadran affectée aux unités du multiplicateur; le reste apparaît à la galerie des produits.

Observations sur les machines numériques. Si l'on réfléchit un instant comment il se fait que la machine précédente résolve le problème de la construction des machines propres à effectuer les quatre règles de l'arithmétique, on reconnaîtra facilement que cela résulte de ce que les rapports des chemins parcourus par les pièces qui se conduisent par engrènement, et par suite d'une manière certaine, sont exprimés par des fonctions de la nature de celles qu'il s'agit d'obtenir, spécialement la fonction *produit*. L'organe spécial et bien intéressant pour la cinématique, que nous avons décrit, est équivalent à une série de pignons et de roues dentées. On comprend aisément qu'il serait impossible de représenter d'autres fonctions, d'autres séries de nombres par machines du genre de celles dont nous parlons, que celles qui expriment les relations de mouvement des pièces qui engrènent.

On peut se demander si la machine, dont nous venons de parler, épuise tous les résultats possibles en ce genre. Il le paraît à première vue, puisqu'elle réussit parce qu'elle peut réaliser la fonction *produit*, à laquelle peut se joindre la fonction *somme*.

Cependant, il est une fonction complexe qui n'a pas été encore utilisée, c'est la fonction *puissance*. On sait, en effet, qu'un système employant des pignons montés chacun sur même axe qu'une roue, de roues dentées égales de w dents engrenant avec k pignons égaux entre eux, fournit la relation entre les vitesses du premier et du dernier axe $\left(\frac{w}{p}\right)^k$ (Voir ROUES DENTÉES). On pourrait donc construire une machine fournissant les puissances successives d'un nombre déterminé, s'il était possible de disposer un système de roues et de pignons tels que le rapport $\frac{w}{p}$ pût varier en faisant varier la composition du système de roues, ce qui conduirait à une machine très-curieuse. En un mot, il ne paraît pas complètement impossible de tirer parti de cette fonction, pour obtenir des puissances, pour construire rapidement les valeurs successives d'une équation, pour une valeur de x (voir *Introduction*), et construire ainsi, par suite, la courbe qui permettrait d'obtenir les racines de l'équation.

Toutefois, en cherchant à préciser les conditions auxquelles il faudrait satisfaire dans la construction de cette dernière machine, on reconnaît qu'il faudrait une complication très-grande pour embrasser une étendue de puissances un peu considérable, et, par suite, pour obtenir des avantages assez minimes, bien moindres certainement que ceux de la machine dont nous venons de parler, surtout au point de vue de l'utilité pratique.

Machines graphiques. Les limites du problème des machines à calculer, considéré dans toute sa généralité, qui semblent fixées par la nature même des roues dentées, et la complication des mécanismes qui résultent de leur multiplicité, se reculent considérablement, surtout quant aux déductions théoriques, quand on considère les roulettes, les ingénieux appareils dits PLANIMÈTRES, si ingénieusement combinés pour la mesure des surfaces rapportées sur un plan et que, pour ce motif, nous nommons machines graphiques. Par leur nature

essentielle, puisqu'elles permettent de mesurer des aires, ce sont des machines à multiplier, à obtenir le produit xy , ou mieux l'intégrale $\int xdy$ que représente la surface à évaluer limitée par des courbes rapportées à des coordonnées x et y . Comparativement aux roues dentées, les roulettes représentent les rouages d'un nombre quelconque de dents, et les résultats limités par le nombre des roues dentées se trouvent acquis pour un système qui en représente un nombre indéfini, qui est, par suite, un organe nouveau permettant d'effectuer la multiplication et l'addition immédiate des produits, d'atteindre, par cela même, au moins théoriquement des solutions inattaquables avant l'invention de ces nouveaux mécanismes. M. Stamm a montré (*Complément, CALCULER*) comment il fallait les combiner pour obtenir des puissances quelconques, résolvant ainsi, théoriquement, le problème de la construction de la machine à équation, bien plus étendu que celui que l'on se propose habituellement quand on parle de machines à calculer.

Nous donnerons ici une solution pratique d'un genre de calcul fort long et qui se rencontre fréquemment, dans l'art de l'ingénieur surtout, obtenue par M. Lallanne, en combinant le PLANIMÈTRE avec la règle logarithmique.

Nous ne reproduirons pas ici la description du planimètre, auquel nous consacrons un article spécial que l'on doit lire en même temps que celui-ci. Nous dirons seulement que le planimètre ici employé est le planimètre à cône portant une roulette qui tourne avec lui. Les mouvements perpendiculaires à l'axe du cône sont enregistrés par la rotation de cette roulette, et ceux parallèles, par son déplacement transversal, c'est-à-dire par différence des rayons du cône avec lesquels elle engrène dans chaque position. De là résulte l'indication sur un cadran de la valeur des produits à évaluer. Pour la démonstration de l'exactitude de ce mode d'opération, voir l'article PLANIMÈTRE.

Avant de passer à la description de la combinaison dont nous voulons parler, nous donnerons la description de l'ingénieux et utile instrument dit règle à calcul.

RÈGLE À ÉCHELLE LOGARITHMIQUE. *Règle à calcul* (*angl. sliding rule*). La plus usitée des machines à calculer est la règle à calcul, qui se compose de deux règles dont l'une, plus étroite, peut glisser dans une coulisse pratiquée sur l'autre; elles portent toutes les deux une série de divisions numérotées, et espacées à partir du zéro, proportionnellement aux logarithmes des chiffres correspondants; c'est en réalité une table logarithmique d'une grande simplicité.

Pour s'en servir, par exemple pour opérer la multiplication de 5 par 7, il suffit d'ajouter à la suite de la longueur, qui sur une des règles porte le chiffre 5, celle qui, sur l'autre, porte le chiffre 7, en plaçant l'extrémité de la règle mobile au point 5 de la règle fixe; et le produit sera le nombre 35 qui, sur cette dernière, correspond à la somme des logarithmes des deux nombres. La division se fait de même par une simple soustraction. Rien n'est plus ingénieux et moins compliqué que cette opération, et on est réellement surpris de la promptitude avec laquelle on fait par ce moyen les calculs les plus longs et les plus difficiles, sinon avec une grande précision (à cause de la petitesse des divisions), au moins avec une approximation bien souvent suffisante dans la pratique. Avec une grande habitude de l'emploi de la règle à calcul, et en aidant au résultat de la lecture par le calcul mental, servant à déterminer le dernier chiffre, l'ordre des unités les plus élevées du résultat, etc., quelques ingénieurs font aisément sur le terrain tous les calculs dont ils ont besoin.

Le principe du fonctionnement de la règle à calcul,

le glissement d'une règle sur une autre, n'est autre chose qu'un moyen bien simple de mettre l'une au bout de partie de l'autre, d'additionner ou de soustraire des longueurs qui, divisées logarithmiquement, reportent aux résultats d'opérations effectuées sur des logarithmes, c'est-à-dire à des multiplications ou des divisions. On conçoit aisément qu'on puisse avec des règles analogues résoudre des triangles rectilignes et sphériques, extraire des racines de tous les degrés, estimer les volumes des corps d'après leur poids, ou réciproquement, etc. Pour les instructions pratiques, nous renverrons aux divers ouvrages publiés sur cette règle.

La figure 352 représente la règle à calcul.

Sur la face postérieure de la règle on inscrit ordinairement les données les plus utiles dans le cours des expériences.

sur les côtés de sa coulisse; des index de saillies inégales, attachés à la base du chariot, les uns à droite de la règle en I', et les autres à gauche en I'', servent à lire sur chacune de ces échelles. Celui de ces index qui marque sur le bord à droite de la règle mobile fait partie d'un vernier.

Il est clair qu'au moyen de ces règles on pourra obtenir les produits de la forme $Pp + P'p'$ en prenant des longueurs $2P, 2P' \dots p, p'$ sur les règles. Mais si l'on imagine, dit M. Lalanne, que la distance p soit comptée sur la règle transversale, non plus à partir d'un point quelconque de cette règle, mais bien à partir d'un point tel que, l'index du mouvement transversal y étant placé, la roue inférieure du compteur porterait en son milieu sur le sommet réel du cône, une seule opération suffira pour obtenir le produit Pp . Car, dans la pre-

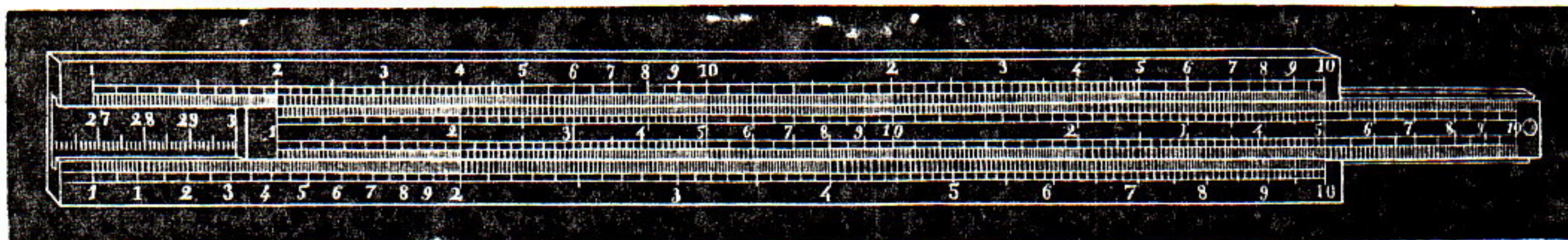


Fig. 352.

On a construit des règles formées de cylindres concentriques gradués qui offrent l'avantage de présenter, sous des dimensions restreintes, les ressources d'une règle droite d'un mètre de long. Un curseur rend l'emploi de l'instrument plus sûr.

On a souvent fait avec succès, surtout en Angleterre, des règles propres à des opérations spéciales, à abréger

mière position du compteur, la roue inférieure étant placée sur une section circulaire qui se réduit à un point, le mouvement longitudinal donnerait une indication nulle; le mouvement longitudinal du cône, lorsque l'index transversal aura été placé à la distance p du point pris pour origine sur la règle transversale, indiquera donc exactement le produit Pp . Réciproquement,

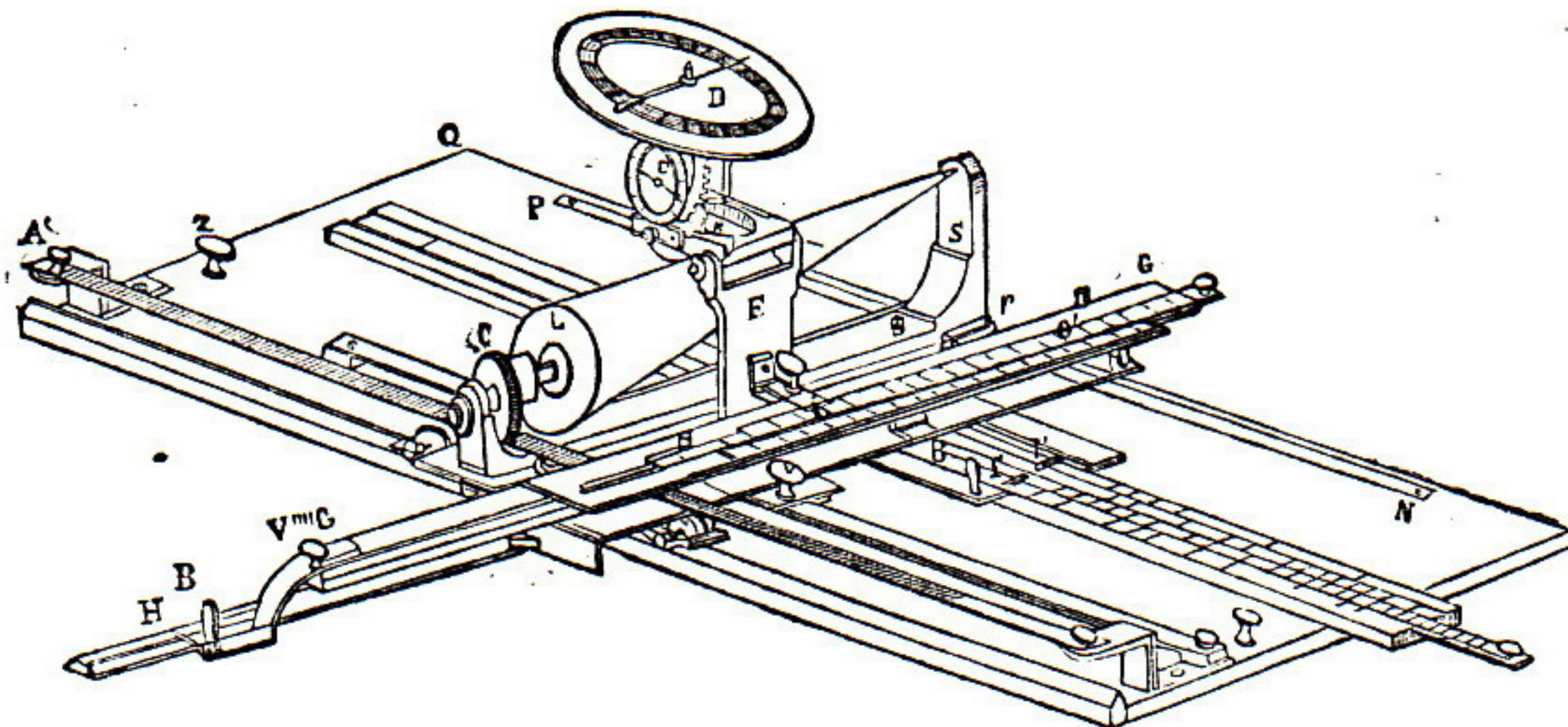


Fig. 353.

des calculs qui se répètent fréquemment, par l'introduction, dans la graduation, de constantes usuellement employées.

Arithmoplanimètre. La figure 353 représente un planimètre à cône muni des deux règles à calcul, longitudinales et transversales, que M. Lalanne ajoute au planimètre, pour calculer certaines formules.

La réglette transversale G' est mobile le long d'une rainure parallèle à la génératrice horizontale L du cône pratiquée dans l'épaisseur d'une plaque G , laquelle est fixée au chariot, parallèlement au plan du plateau. Deux index fixés à l'avant-corps F du compteur, et dont le premier fait partie d'un vernier, servent à placer ce compteur sur un point déterminé de la réglette ou de sa coulisse.

Une deuxième règle est mobile dans une coulisse parallèlement au mouvement du chariot. Différentes échelles sont gravées sur les deux bords de la règle et

étant donnés le produit Pp et l'un des facteurs p , il suffira de placer l'index transversal à la distance p du point pris pour origine et de chercher sur quelle longueur on doit faire marcher le cône pour que le compteur marque le produit Pp . Cette longueur sera le quotient cherché.

Une chose très-remarquable dans cette machine, c'est que, bien que le compteur n'enregistre que des multiplications, elle se prête pourtant avec la plus grande facilité à l'addition de ces mêmes quantités, c'est-à-dire au calcul des formules de la forme $Pp \pm P'p'$. Il suffit pour cela de soulever un peu le disque du compteur; l'espèce d'engrenage n'aura plus lieu, et, l'index étant reporté de p en p' , les secondes indications viendront s'ajouter aux premières.

Mais puisque la machine donne immédiatement le résultat d'expressions de la forme $Pp \pm P'p'$, il en résulte qu'à l'aide des échelles logarithmiques tracées

sur les règles et sur le limbe circulaire, on obtiendra, sans plus de difficultés, les résultats compris dans la formule:

$$\text{Log. } x = m \log. a \pm n \log b \pm p \log c \pm \dots$$

C'est-à-dire qu'on pourra calculer mécaniquement, pour ainsi dire, une expression de la forme:

$$x = \frac{a^m b^n c^d \dots}{a^m b^n c^d \dots}$$

CALEBASSE. Dans les fonderies de peu d'importance, où le moulage constitue le travail le plus important de l'atelier, et lorsqu'on n'a besoin que de faibles quantités de fonte, et par intervalles irréguliers, on se

les chauffer, les pochettes p, p , au moyen desquelles la fonte est versée dans les moules.

La tuyère f ne fait pas saillie, elle traverse le mur m et reçoit le vent soit d'un soufflet en cuir q , soit d'un ventilateur à bras. Lorsque l'on fond au coke ou au charbon de bois, la tuyère est presque horizontale et rase le bord supérieur de la calebasse; lorsqu'on con-

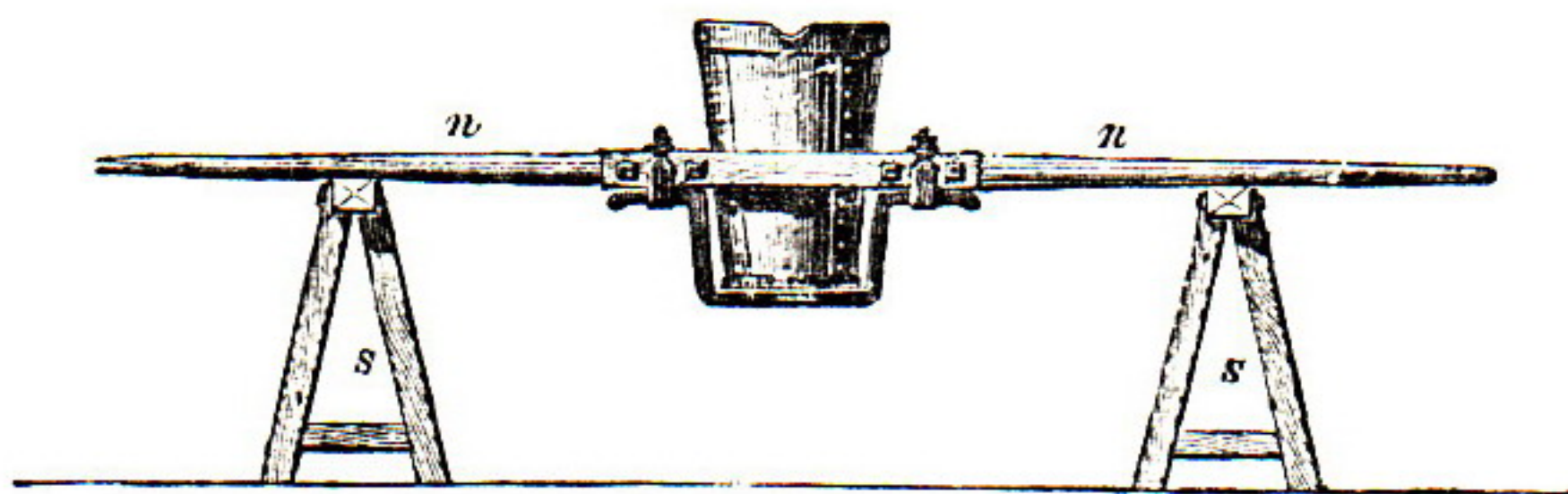


Fig. 355.

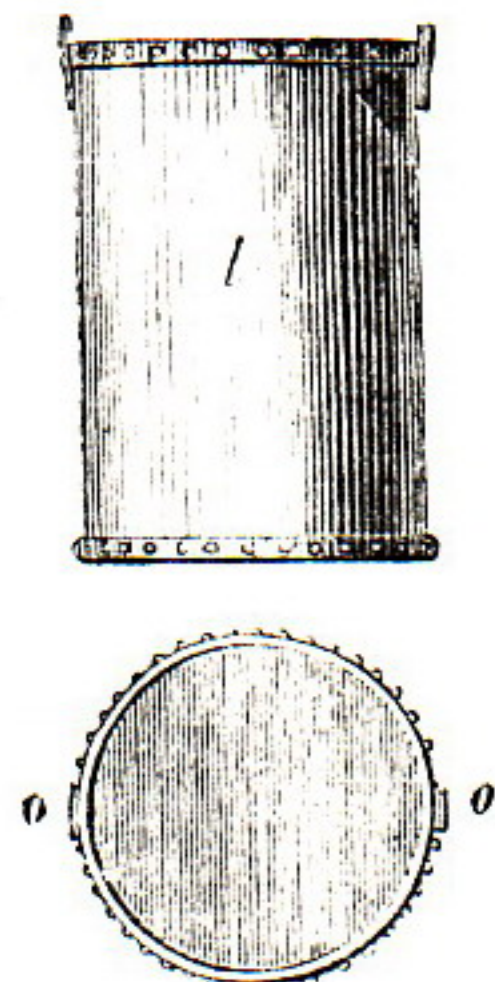


Fig. 356.

sert, à Paris, pour refondre la fonte, de creusets en terre de Picardie ou en graphite, chauffés dans des fourneaux à vent ou des fourneaux à courant d'air forcé. Ce procédé est très-coûteux, tant par suite du prix et de la casse des creusets que par l'énorme consommation relative de combustible, et en outre exige l'emploi de plusieurs creusets, si l'on a besoin d'une quantité de fonte qui dépasse 50 ou 75 kilogrammes. Dans ce cas, il est bien préférable sous tous les rapports d'employer le système de fonderie dit à la calebasse, qui, d'après Réaumur, était déjà employé en France au commencement du dernier siècle, qui est encore actuellement très-répandu en Belgique, et qui cependant paraît être tout à fait inconnu de nos fondeurs.

Les dimensions des calebasses sont très-variables; dans les unes, dont se servent les calebassiers ambulants, on ne fond que quelques kilogrammes de métal; dans les autres, établies à demeure, on peut liquéfier à la fois jusqu'à 500 kilogrammes de fonte. Nous ne décrirons que ces dernières, dont les autres sont un diminutif.

Dans une calebasse fixe, on distingue le fourneau, dont les parties essentielles sont le creuset ou calebasse et la cuve ou tour du feu, la soufflerie et la cheminée.

La calebasse c (fig. 355) est une sorte de poche en tôle forte intérieurement revêtue d'argile; le tour du feu t (fig. 356) est une portion de cylindre en tôle forte également torchée avec de l'argile, et munie de deux oreilles, o, o , dans lesquelles on engage une barre de fer pour le manœuvrer.

On élève le fourneau le long d'un mur m , sous une hotte h , en plaçant d'abord la calebasse c avec le support nn qui sert à l'enlever lorsque la fusion est terminée; on la recouvre avec le tour du feu t , que l'on accole au mur m (fig. 357), de manière à fermer complètement le cylindre. L'assemblage de la calebasse et du tour du feu, ainsi que la jonction de ce dernier avec le mur, se font avec de la terre argileuse; enfin on enduit d'argile tout l'intérieur du fourneau, de manière à lui donner une forme à peu près semblable à celle du vide d'un cubilot. Pour conserver la chaleur, on enterre la calebasse et la partie inférieure du tour du feu dans du sable maintenu ordinairement sur chaque côté par un petit mur en briques x . Des crochets z, z , fixés dans le mur m , servent à soutenir au-dessus du feu, afin de

traire on fond avec de la houille point trop collante, on lui donne une inclinaison assez forte, afin d'avoir une chaleur suffisante dans la calebasse. La conduite du

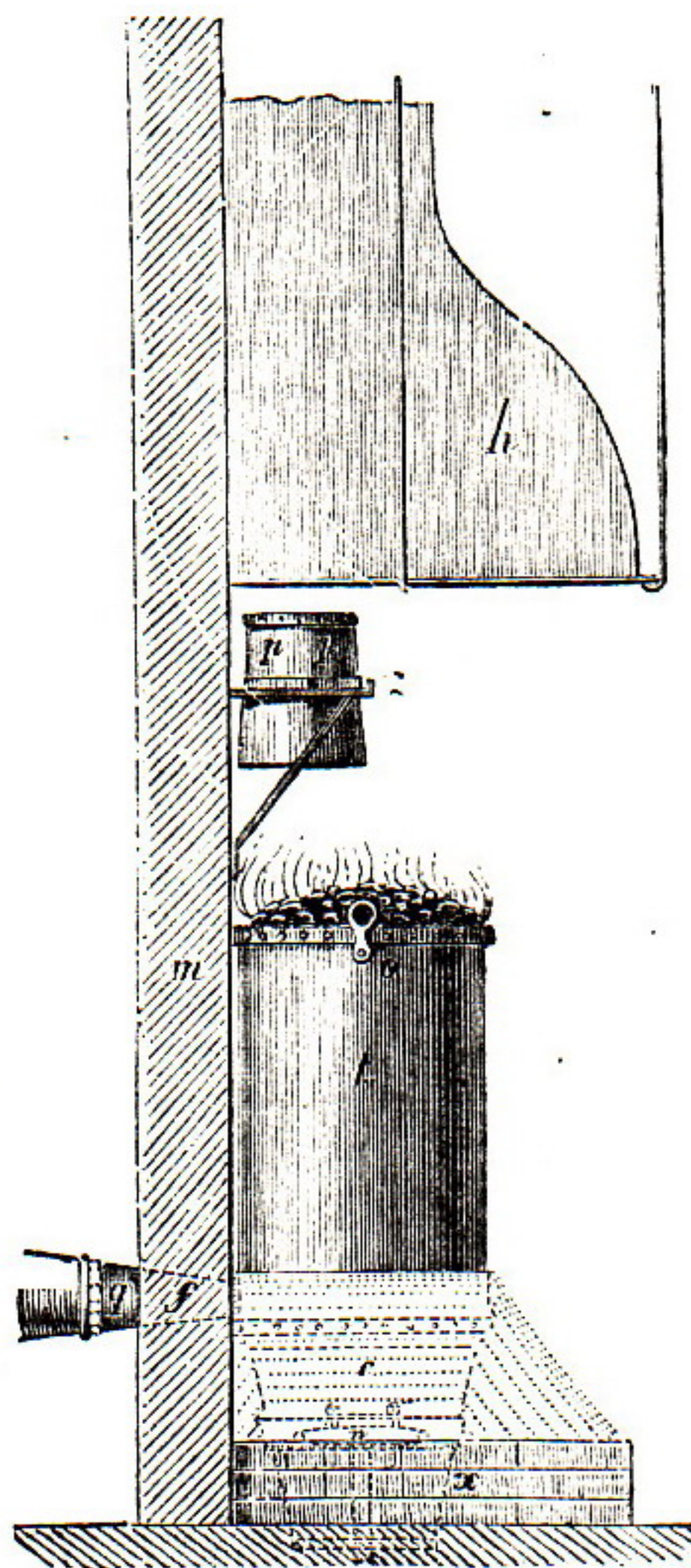


Fig. 357.

feu se fait à peu près comme pour un petit cubilot; tantôt on charge en une seule fois par-dessus le combustible toute la fonte à refondre; tantôt, et le plus souvent, on l'introduit à plusieurs reprises en l'alternant