

Histoire de l'automatisation du calcul

Alain GUYOT



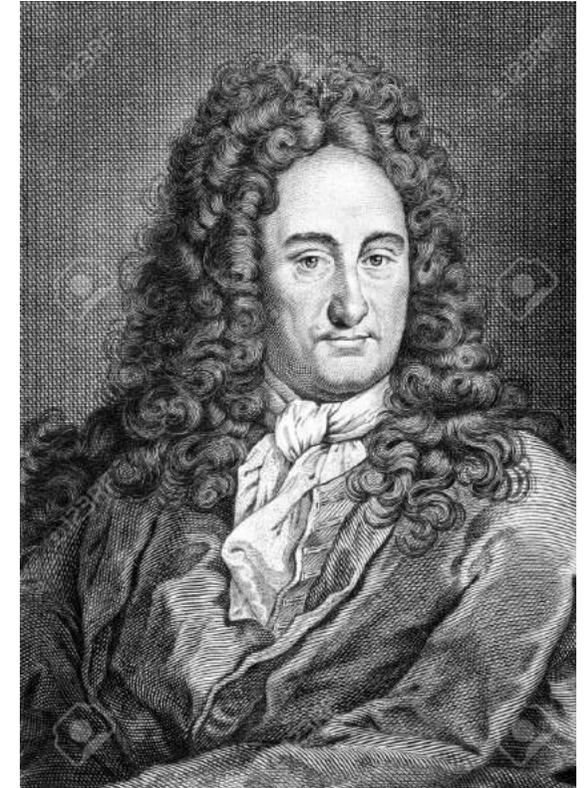
Jeudi 28 novembre 2019
auditorium du bâtiment IMAG

 (33) 06 67 09 92 59

 Alain.Guyot@aconit.org

La demande de machine est pressante

- De tout temps, le calcul a constitué le souci constant des mathématiciens, géomètres et astronomes (Kepler).
- Les calculs sont longs, fastidieux, sources d'erreurs. Ils sont du temps perdu pour la réflexion et la recherche (Kepler, ≈ 1620)
- Il est indigne de tels hommes de perdre des heures à un travail d'esclave, qui pourrait fort bien être confié à n'importe qui avec des machines (Leibniz, ≈ 1671)
- *Indignum enim est excellentium virorum horas servili calculandi labore perire, quia Machina adhibita vilissimo cuique secure transcribi posset*
- J'en ai eu plus d'une fois le dégoût (Alexis Clairaut, ≈ 1750)
- Je me sentis effrayé à la vue des longs calculs qu'il me fallait entreprendre (Jean-Baptiste Delambre, ≈ 1800)



Gottfried Wilhelm (von) Leibniz

Les mécaniques à faire des calculs

Les inventeurs de calculateurs mécaniques ont introduit :

- la règle à calcul (ligne logarithmique) : Neper / Edmund Gunther (1620)
- le totalisateur : Blaise Pascal (1645)
- la multiplication addition/décalage (Buggée) : Gottfried Leibniz (1710)
- l'addition a retenue sauvegardée : lord Charles Stanhope (1775)
- le tabulation de polynôme (degré 6) : Charles Babbage (1834)
- la multiplication et la division entièrement automatiques : Maurel (1842)
- l'interdiction du débordement par blocage : Timoléon Maurel (1842)
- la racine carrée semi automatique : August Toepler (1865)
- la programmation (avec saut conditionnel) : Charles Babbage (1888)
- la microprogrammation des instructions : Charles Babbage (1888)
- l'anticipation de la retenue (carry look ahead) : Babbage (1888)
- la représentation signe/valeur absolue : Natale Capellaro (1948)
- l'arrondi (Logos 27-2 Olivetti) : Teresio Gassino (1967)

sans compter le parallélisme (jusqu'à 6 accumulateurs), le "pipeline", etc.

Plan

Plan de l'exposé : faute de temps, ne présenter que quelques machines qui ont marqué l'histoire du calcul.

Lors de la soutenance de la thèse de René Perret, en 1956, *Jean Kuntzmann affirmait qu'un calculateur, c'était 95% de mathématiques et 5% de physique*, alors que Louis Néel affirmait exactement l'inverse.

Extrait du Discours de Louis Néel à la réception du Nobel :
En effet, en 1938, après avoir donné une interprétation théorique de la curieuse variation de la chaleur spécifique du nickel au voisinage du point de Curie, j'ai passé deux mois de vacances, matin et soir, à tourner la manivelle d'une machine à calculer afin de comparer mes résultats à l'expérience.

Blaise Pascal (1623-1662)

La **pascaline** (1642)

Addition ou bien soustraction automatique

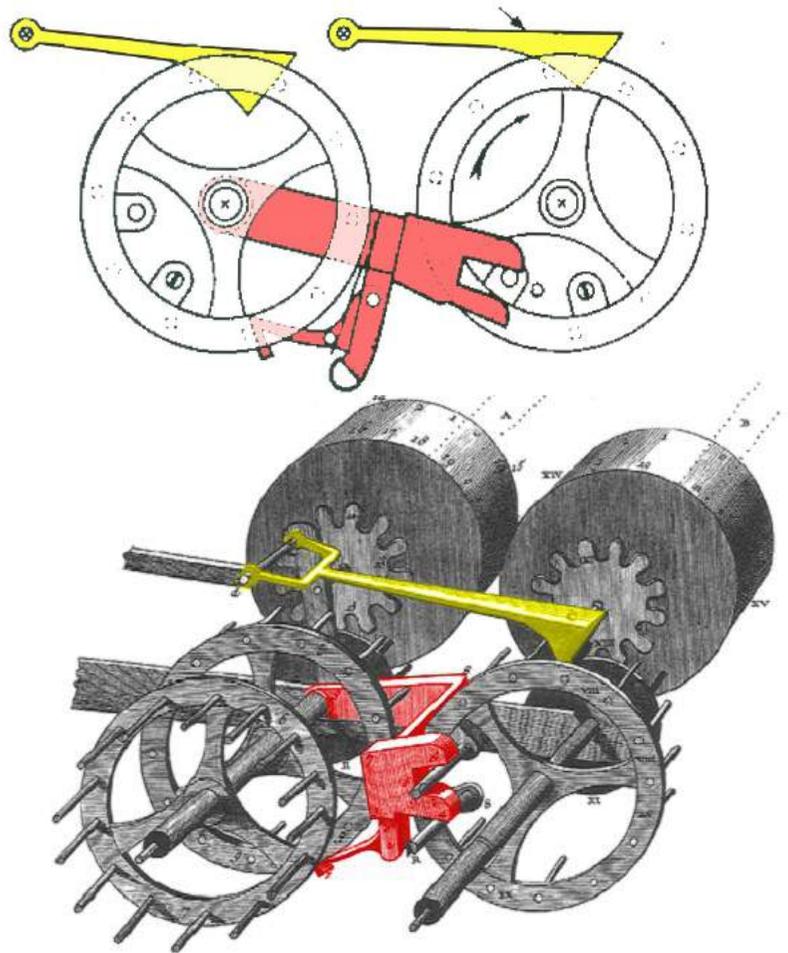
Premier « calculateur mécanique »



Pascal consacra une dizaine d'années aux Pascalines
8 exemplaires ont survécu.
Beaucoup de musées possèdent des répliques d'époque.

Pascaline, signée par Pascal en 1652 (Musée des arts et métiers)

Automatisation du report de la retenue (1642)

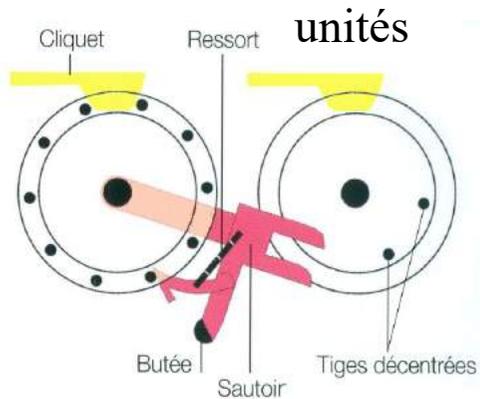


Deux pièces importantes
1- le cliquet (en jaune)
2- le sautoir (en rouge)

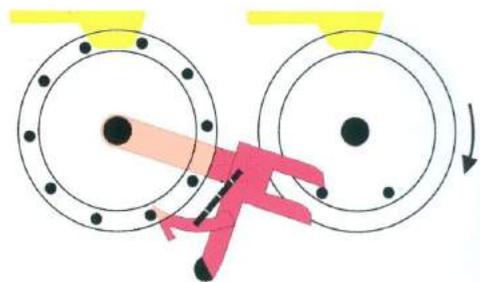


Maquette du sautoir au muséum
Henri-Lecoq de Clermont-Ferrand

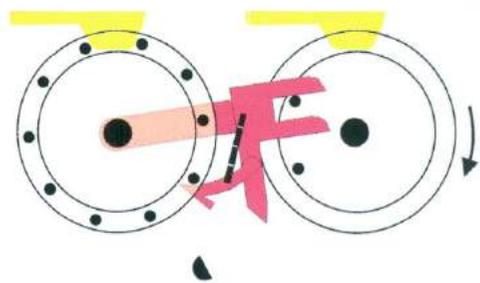
Propagation de la retenue de la Pascaline (suite)



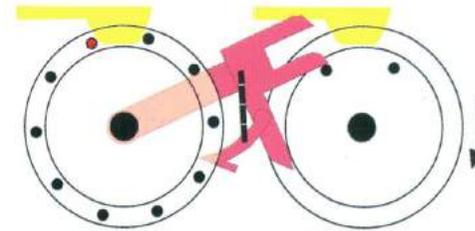
1
entre 0 et 5 la
roue des unités
tourne librement



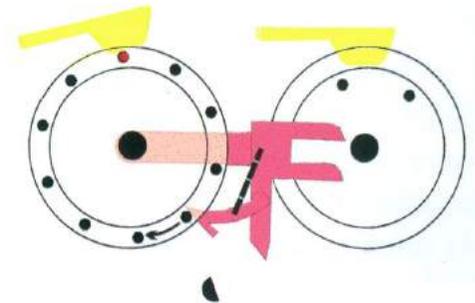
2
la roue des unités est
à 5, elle engène le
sautoir et le soulève



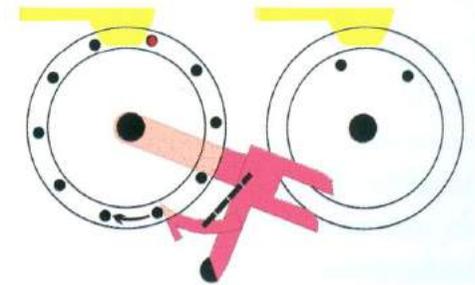
3
le sautoir frotte la tige
de la roue des dizaines.
Le cliquet empêche la
roue des dizaines d'être
entraînée



4
la roue des unités
passe le 9. Le sautoir
est libéré



5
le sautoir retombe.
La roue des dizaines
soulève le sautoir des
centaines et le
cliquet des dizaines



6
le cliquet retombe et
discrétise la roue des
dizaines

Implications philosophiques de la Pascaline

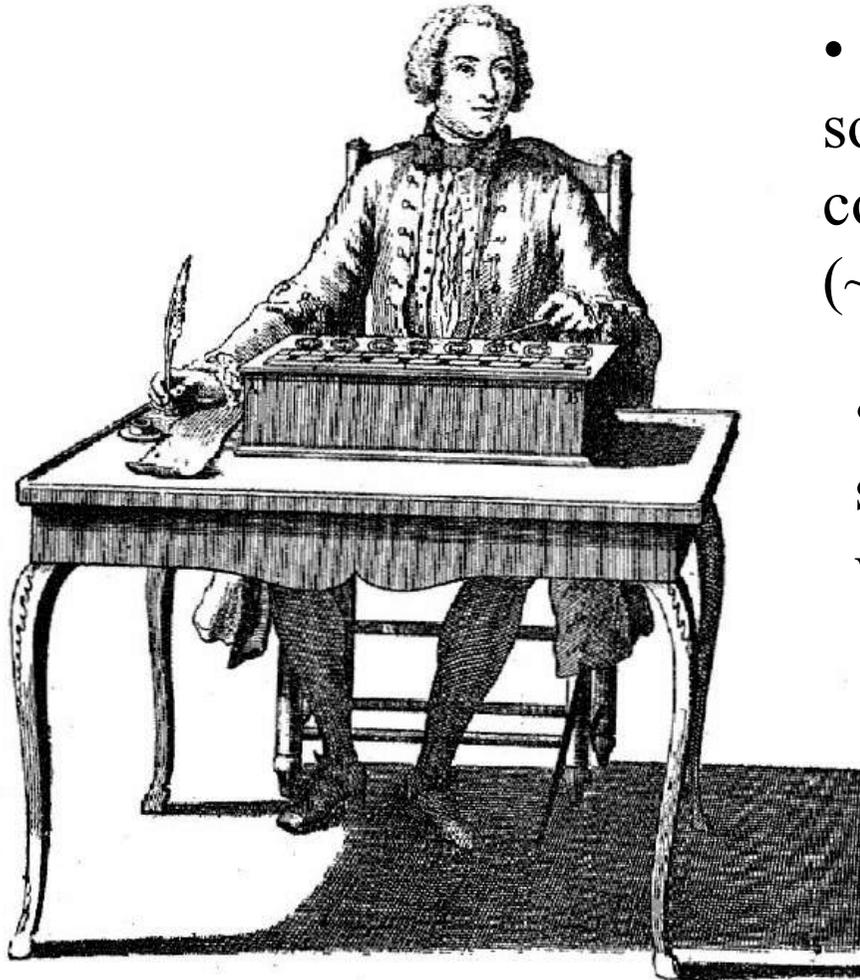
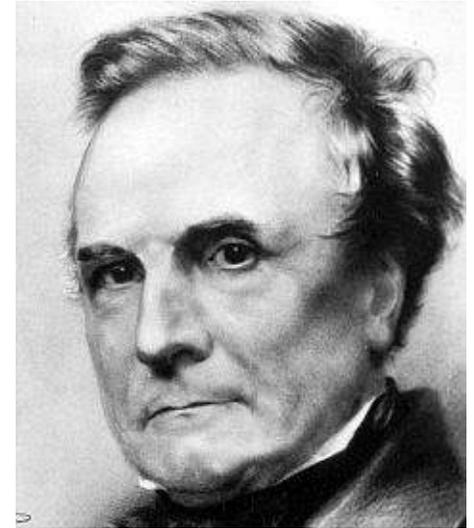


Fig. 1. — La machine de Pascal
et la manière de s'en servir.

- Pour la première fois on pouvait lire une somme qui n'avait pas été calculée par un comptable mais par une machine.
(~ 200 ans après le premier texte imprimé)
 - Dans « La République » Platon écrit que savoir compter est indispensable à qui veut être simplement homme (315 BC)
 - Dans « l'Épinomis » le nombre est un don divin et le calcul est le propre de l'homme
- Avec Pascal, Galilée, ... la représentation du monde est remise en cause au 17^e siècle.

Automatisation du calcul de polynômes (1822)

- Charles Babbage (1791-1871) est plus connu pour ses machines qu'il n'a pas construites que pour ses nombreux ouvrages et contributions (timbre postal).
- La «Machine à différences»
6 accumulateurs de 20 chiffres décimaux, verticaux.
Impression en creux sur une plaque de cuivre,
flan prêt pour une presse à imprimer.
- Évaluation des fonctions par un polynôme de degré 7.
Accumulateurs initialisés avec les dérivées de la fonction
(série de Taylor).
- Les schémas de Babbage sur ses machines sont assez difficiles,
compris seulement au XX^e siècle (~7 000 pages) grâce à l'ordinateur



Reconstitution de la «machine à différences»



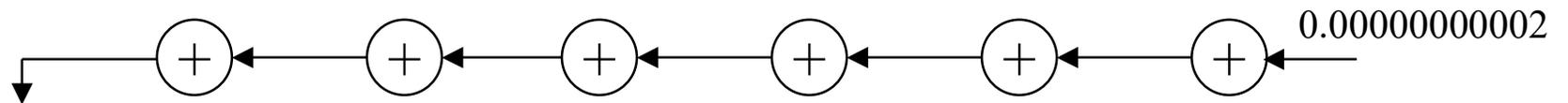
Les 6 accumulateurs 20 chiffres sont verticaux dans la partie supérieure. A gauche, les cames qui séquent les opérations. A droite la machine à graver les flan pour l'imprimerie. On distingue (un peu) les hélices de retenue.

La manivelle est entraînée par une opératrice, mais Babbage avait prévu une machine à vapeur.

Reconstitué en 2008. 4,6 tonnes, 8 000 pièces
Computer History Museum, Mountain View
<http://www.computerhistory.org/babbage/>

Tabulation du logarithme décimal

Exemple de construction de table (Excel)



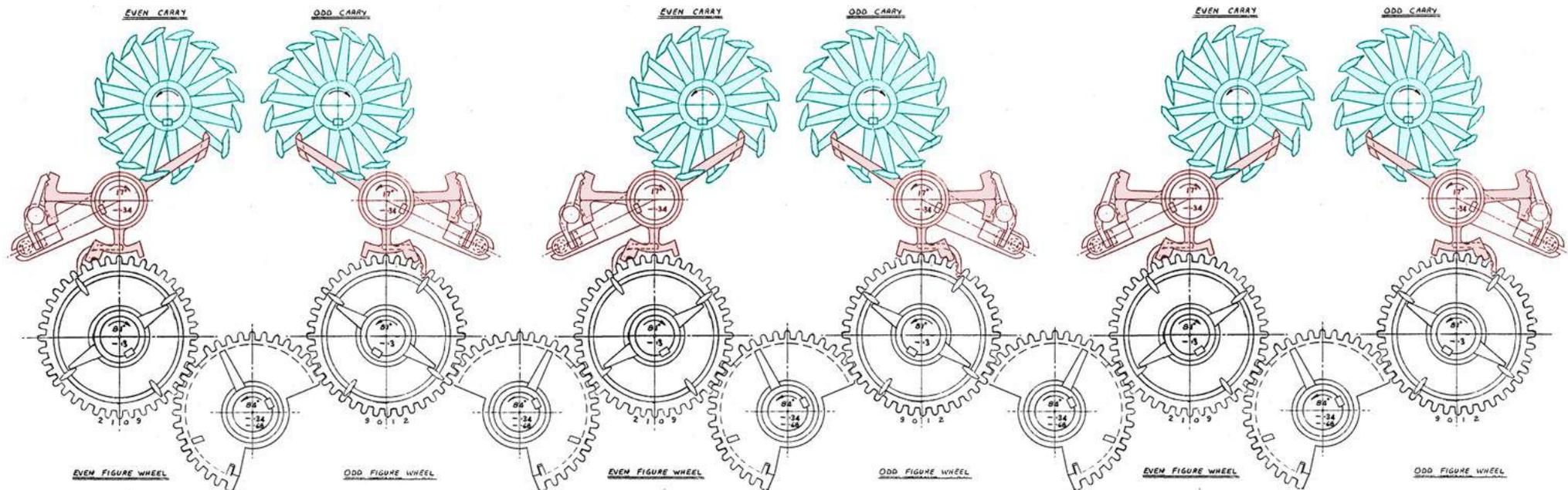
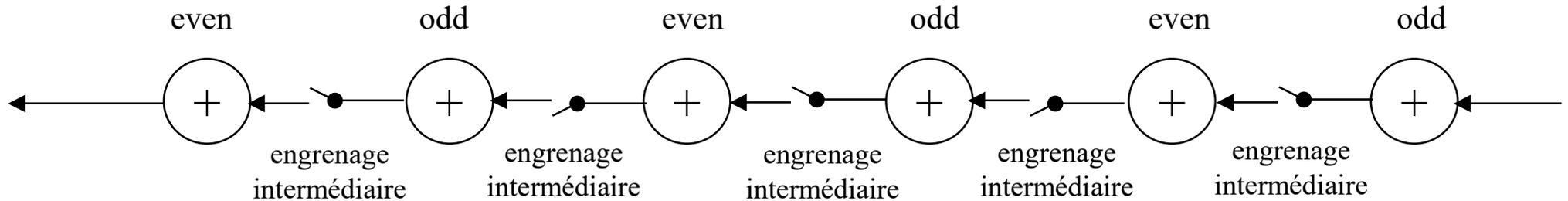
x	log(x) (tableur)	log(x)	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta 3$	$\Delta 4$	$\Delta 5$	$\Delta 6$	$\Delta 7$
130	2,113943352307	2,113943352307	0,003353642008	-0,000026098644	0,000000409397	-0,000000009709	0,000000000309	-0,000000000012	0,000000000002
131	2,117271295656	2,117271295657	0,003327943350	-0,000025698657	0,000000399987	-0,000000009410	0,000000000299	-0,000000000010	0,000000000002
132	2,120573931206	2,120573931218	0,003302635561	-0,000025307790	0,000000390867	-0,000000009119	0,000000000291	-0,000000000008	0,000000000002
133	2,123851640967	2,123851641020	0,003277709803	-0,000024925758	0,000000382032	-0,000000008835	0,000000000284	-0,000000000006	0,000000000002
134	2,127104798365	2,127104798542	0,003253157521	-0,000024552281	0,000000373477	-0,000000008555	0,000000000280	-0,000000000004	0,000000000002
135	2,130333768495	2,130333768980	0,003228970439	-0,000024187083	0,000000365199	-0,000000008278	0,000000000277	-0,000000000002	0,000000000002
136	2,133538908370	2,133538909534	0,003205140554	-0,000023829885	0,000000357198	-0,000000008001	0,000000000277	0,000000000000	0,000000000002
137	2,136720567156	2,136720569679	0,003181860145	-0,000023480409	0,000000349476	-0,000000007722	0,000000000279	0,000000000002	0,000000000002
138	2,139879086401	2,139879091450	0,003158521771	-0,000023138373	0,000000342036	-0,000000007440	0,000000000282	0,000000000004	0,000000000002
139	2,143014800254	2,143014809731	0,003135718281	-0,000022803490	0,000000334883	-0,000000007152	0,000000000288	0,000000000006	0,000000000002
140	2,146128035678	2,146128052549	0,003113242818	-0,000022475464	0,000000328027	-0,000000006857	0,000000000295	0,000000000008	0,000000000002

Tabulation par différence finie (13 chiffres, Babbage en utilisait 20)

Cette table liste $\log(x)$ pour $x = 130$ à 140 . Les valeurs initiales sont données par Excel. Les désaccords entre Excel et les « différences finies » sont imprimés en rouge.

Accumulateurs de la machine à différence (1849)

Six accumulateurs "pipe-linés"



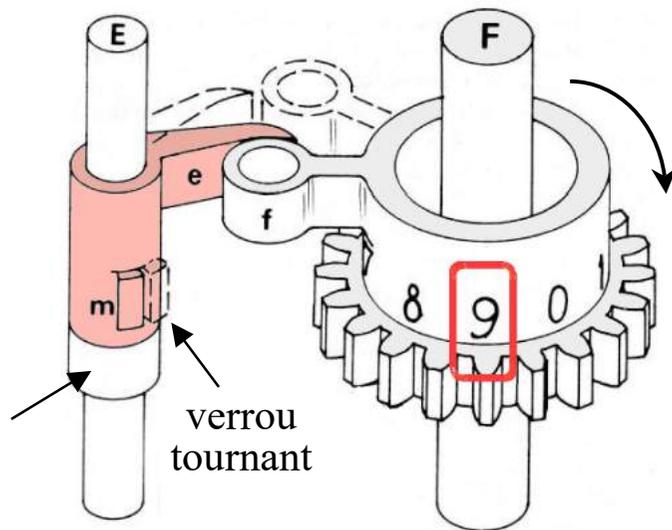
Reconstitution de la machine à différence (2002)



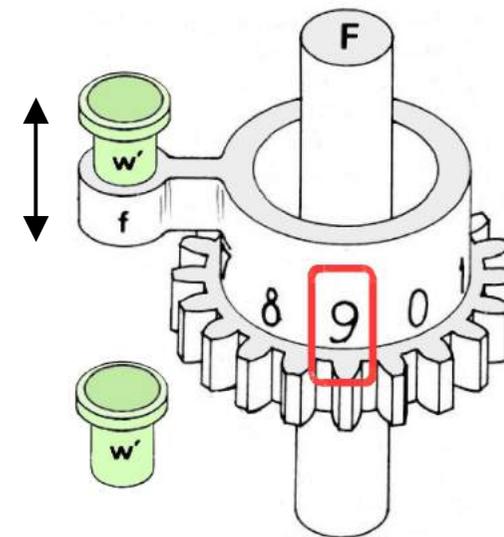
Babbage invente la "retenue bondissante" (1837)

Lors de la propagation, la retenue "bondit" par dessus une suite de 9 (e.g. 99999999)

Le délai de l'addition est indépendant du nombre de chiffres. Babbage était très fier ce système, perfectionné par Olivetti, ancêtre des additionneurs des ordinateurs modernes.



Mémorisation : quand une roue passe de 9 à 0 le bras **f** tourne le levier **e** (rose). Le levier **e** est repoussé à zéro au début de l'addition.



Propagation de la retenue : le bras **f** porte une cheville coulissante **w'** (vert). La cheville **w'** est retenue par une collerette

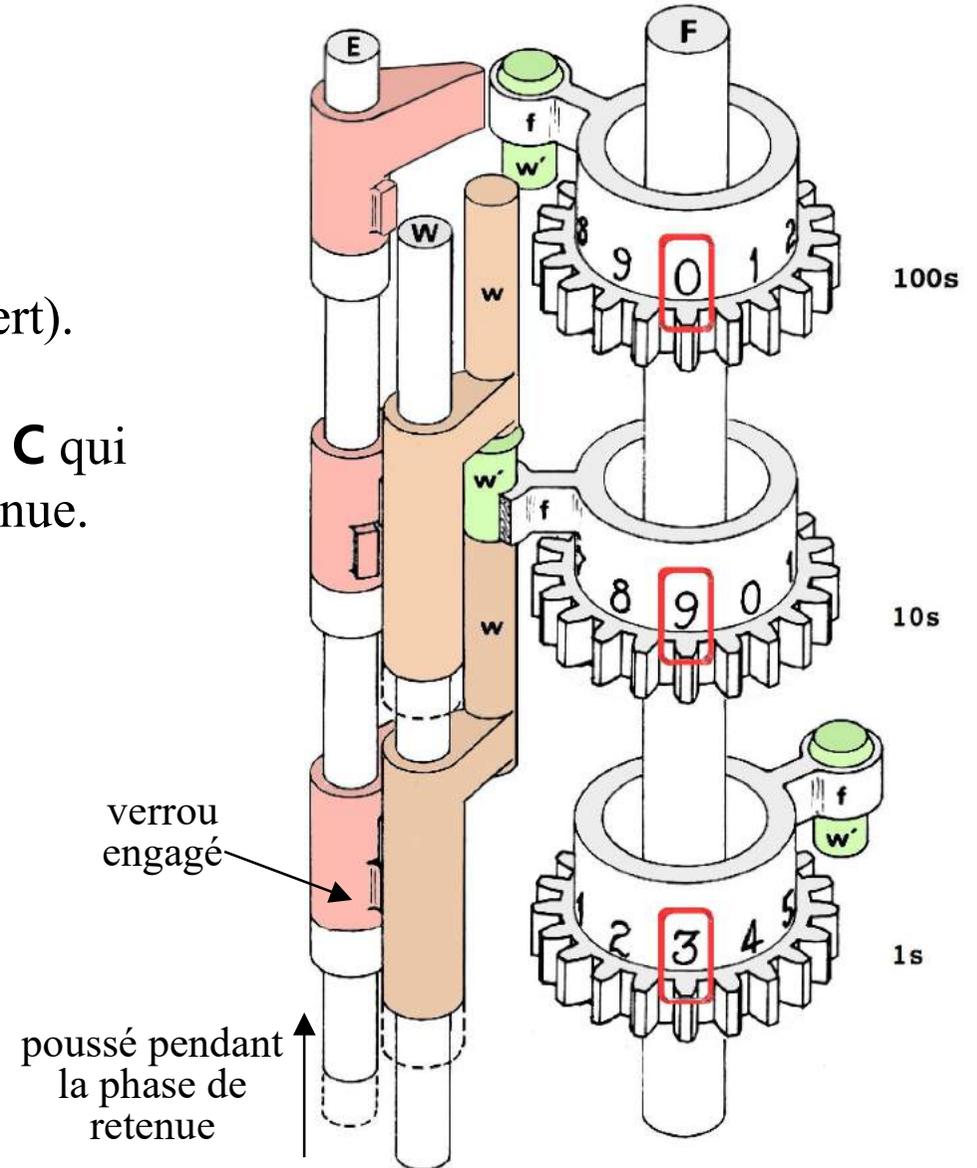
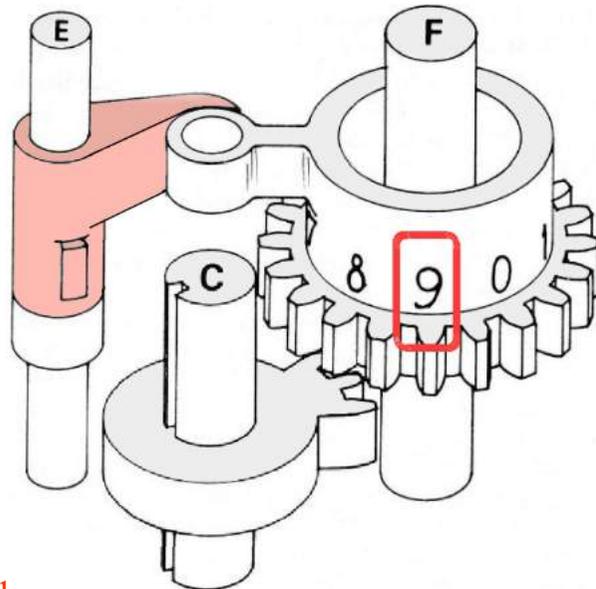
Retenue anticipée (suite)

L'idée est de pousser vers le haut une pièce coulissante **W** (marron) quand il y a retenue.

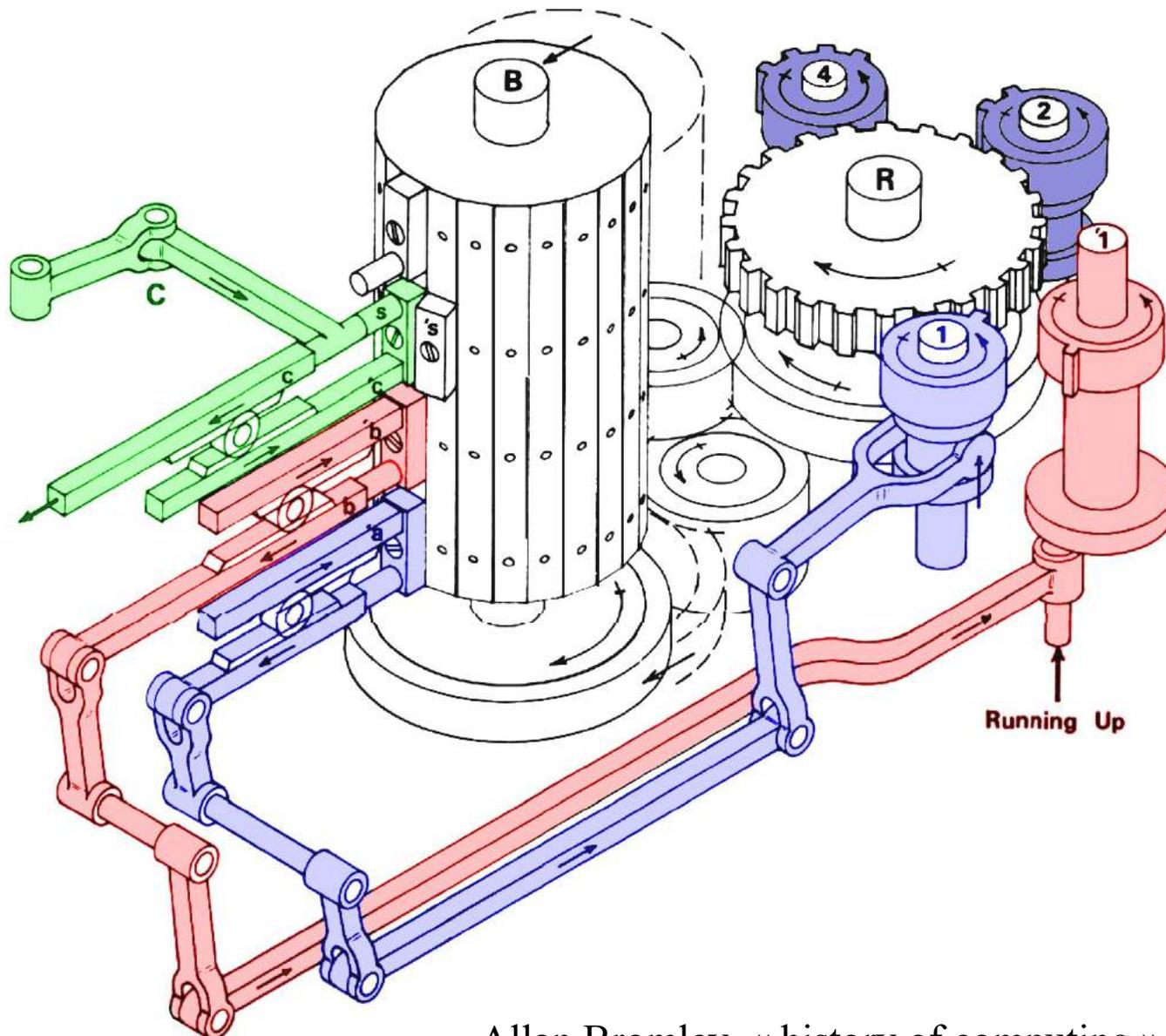
Cette pièce est poussée soit par une retenue primaire (rose) ou une retenue secondaire (vert).

Cette pièce engrène un segment d'engrenage **C** qui incrémente le compteur (2 dents) s'il y a retenue.

Figure ci-dessous.



Babbage invente la microprogrammation



Partie contrôle de la Machine Analytique

- mémoire de 24 commandes 4 bits
- commande binaire programmée par des cales vissées 'S'
- **branchement relatif +1, +2, +3, +4, +5, +6, +7 modulo 24**
- **branchement conditionnel +1 : '1**
- **commande conditionnelle C**

Arithmaurel de Timoléon Maurel et Jean Jayet

Arithmaurel inventé par MM. Maurel et Jayet, de Voiron (Isère)

COMPTE RENDU DES SÉANCES DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES.

SÉANCE DU MARDI 2 JANVIER 1849.

PRÉSIDENCE DE M. BOUSSINGAULT.

ARITHMÉTIQUE. — *Rapport sur une machine arithmétique, présentée à l'Académie des Sciences; par MM. MAUREL et JAYET, de Voiron* département de l'Isère.

(Commissaires, MM. Cauchy, Largeteau, Segnier, Binet rapporteur.)

« Les nations modernes doivent aux Arabes la méthode généralement usitée, d'écrire les nombres à l'aide de dix caractères distincts, ou de dix chiffres : l'idée fondamentale de cette méthode, empruntée aux Indiens, ré-



Musée du CNAM, Paris

Automatisation du calcul 18/23

Automatiser la multiplication/division (1849)

La machine à multiplier/diviser de MM. Maurel et Jayet de Voiron (Isère) a été récompensé :

- la médaille d'or de l'exposition nationale de Paris en 1849
- le prix de mécanique de la fondation Montyon décerné par l'Académie des sciences de Paris en 1850



Calculatrice à Manivelle (1930)



Calculatrice française, comme celle de Néel ?

Jack S. Kilby invente la calculette (1972)

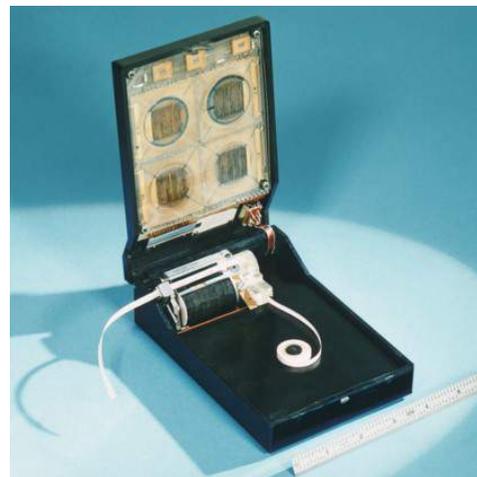
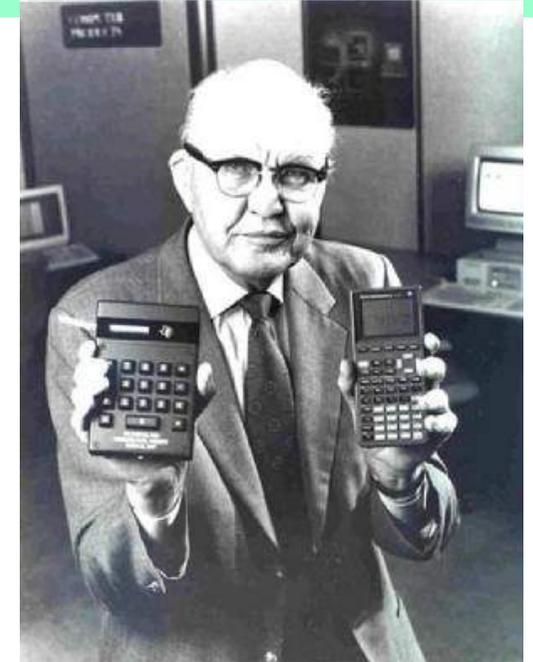
Jack St Clair Kilby (1923-2005)

Invente le circuit intégré en 1958

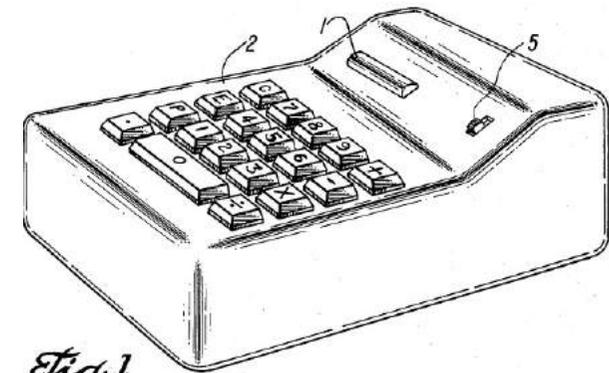
.... et une calculatrice portable en 1972

(2,5 kg tout de même)

Co-prix Nobel en 2000



prototype conservé au National
Museum of American History



brevet US3819921

F. Faggin invente le microprocesseur (1971)

Federico Faggin (1941-), italo-américain, invente le microprocesseur Intel 4004 en 1971. Calculatrice 4 opérations pour BUSICOM



Intel 4004 (1970) boîtier DIL céramique : 20,3 × 7,6 mm



Deux machines à calculer de bureau contemporaines (1971) :
à gauche basée sur un microprocesseur
à droite entièrement électromécanique



Obama Awards National
Medals Of Science And
Technology And Innovation
17 novembre 2010

Les calculateurs mécaniques ont régné 3 siècles

- Calculateurs mécaniques (opérations : + – décalage)
- Calculateurs mécaniques (4 opérations automatiques : + – x ÷)
- Calculateurs électromécaniques (5 opérations : + – x ÷ $\sqrt{\quad}$)
- Calculateurs électromécaniques (point décimal, alignement, arrondi)
- Calculateur électronique (microprocesseur décimal)
- Micro-ordinateur (microprocesseur binaire)
- Superordinateur (\approx 10 000 microprocesseurs)

Certaines de ces machines sont visibles à ACONIT



GAME OVER
CLICK TO CONTINUE

Voilà, c'est fini !!

*Merci de votre patience et
de votre aimable attention !*

Y a-t-il des questions ?

