01001110 01010011 01001001

Une brève histoire de l'informatique

Des algorithmes au microprocesseur

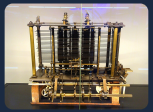
NSI • Première Architecture de von Neumann — Partie 1 : un peu d'histoire



1642
Pascaline



1801
Métier Jacquard



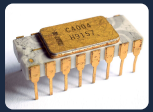
1840
Machine de Babbage



1945
ENIAC



1947
Transistor

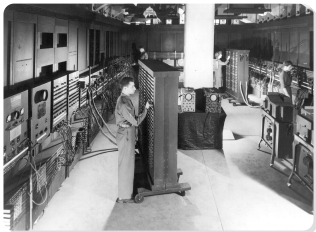


1971
Intel 4004



1976
Apple I

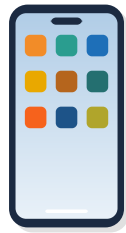
1946 → 2026 : que s'est-il passé ?



U.S. Army — domaine public

ENIAC (1946)

	ENIAC	Smartphone
Masse	30 tonnes	≈ 200 g
Taille	167 m^2	une poche
Consommation	150 kW	quelques watts
Calcul	5 000 additions/s	des milliards d'opérations/s



Smartphone (2026)

La question du jour : comment est-on passé d'une machine de 30 tonnes à un téléphone des millions de fois plus rapide ? Et d'où viennent les idées qui font fonctionner nos ordinateurs ?

Au programme

PARTIE 1 • jusqu'à 1945

Des idées et des machines

algorithmes • machines à calculer • cartes perforées • premier programme • logique binaire • machine de Turing • premiers ordinateurs

IX^{e} siècle → 1945

PARTIE 2 • après 1945

La révolution électronique

transistor • circuit intégré • microprocesseur • loi de Moore • ordinateur personnel • et aujourd'hui ?

1947 → aujourd'hui

Pour finir : **la frise à retenir** et un **quiz** !

1

PARTIE 1

Jusqu'à 1945

Des idées et des machines

Des algorithmes d'Al-Khwârizmî aux premiers ordinateurs : mille ans d'idées (calculer, programmer, coder en binaire) avant l'arrivée de l'électronique.



Métier Jacquard — Stephencdickson, CC BY-SA 4.0

Al-Khwârizmî, le « père » des algorithmes



Timbre soviétique (1983) pour le 1200e anniversaire de sa naissance — domaine public

Muhammad ibn Mûsâ al-Khwârizmî

v. 780 – v. 850 • mathématicien perse, à Bagdad

- Il publie une **classification des méthodes de calcul** connues à son époque, décrites pas à pas.
- Son nom, latinisé en *Algoritmi*, a donné le mot **algorithme**… et le titre de son traité, *al-jabr*, le mot **algèbre**.

Définition. Un **algorithme** est une suite finie d'instructions permettant de résoudre un problème. Ex. : une recette de cuisine, la division posée…

Le saviez-vous ? Ses livres ont fait connaître en Europe les chiffres « indo-arabes »… et le zéro !

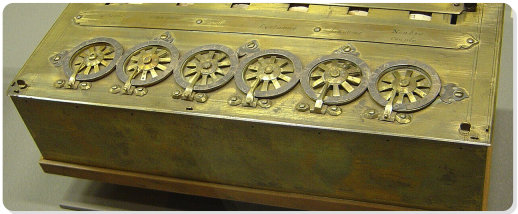
La pascaline : calculer avec des engrenages



Blaise Pascal

1623 – 1662 • philosophe et scientifique français

- À 19 ans, il invente une machine pour aider son père, chargé de collecter les impôts.
- Elle fait mécaniquement des **additions** et des **soustractions**, avec report automatique des retenues.
- Multiplications et divisions : par additions ou soustractions répétées.



Musée des Arts et Métiers — David Monniaux, CC BY-SA 3.0

Le saviez-vous ? Il reste moins de dix pascalines (dont deux à Clermont-Ferrand, sa ville natale). En 2025, la vente de l'une d'elles, estimée 2 à 3 millions d'euros, a été suspendue !

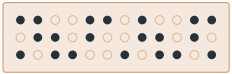
Le métier Jacquard : un programme sur cartes perforées



Joseph Marie Jacquard

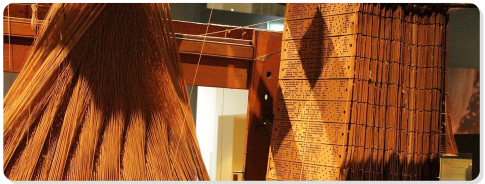
1752 – 1834 • inventeur lyonnais

- 1801 : il automatise le métier à tisser : le motif est codé sur une suite de **cartes perforées**.
- Un trou : le fil est levé ; pas de trou : il reste baissé. Une information **binaire** !
- Suite de cartes = suite d'instructions = **programme**.



● trou → fil levé → **1**
○ plein → fil baissé → **0**

Avant lui : Bouchon (1725), Falcon (1728), Vaucanson (1745).



National Museum of Scotland — Stephencdickson, CC BY-SA 4.0



Le saviez-vous ? Ce portrait n'est pas une gravure : il a été **tissé** en soie (1839) avec 24 000 cartes perforées !

À voir : des métiers à rubans à mécanique Jacquard au Musée d'Art et d'Industrie de Saint-Étienne.

La machine analytique : un ordinateur… à vapeur !

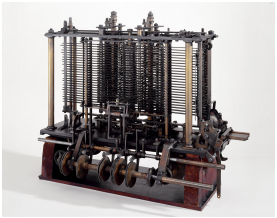


Charles Babbage

1791 – 1871 • mathématicien anglais

- Dès 1834, il conçoit une machine **mécanique**, mue par la **vapeur**, présentée à Turin en 1840.
- Ses instructions sont lues sur des **cartes perforées**… empruntées au métier Jacquard !
- Trop complexe (elle calcule en décimal), elle ne sera jamais terminée.

Le saviez-vous ? En 1991, on a construit sa « machine à différences n° 2 » d'après ses plans : elle marche !



Science Museum, Londres — CC BY-SA 2.0

Moulin il calcule = **processeur** ⟷ **Magasin** il mémorise = **mémoire**

Déjà l'organisation de nos ordinateurs !

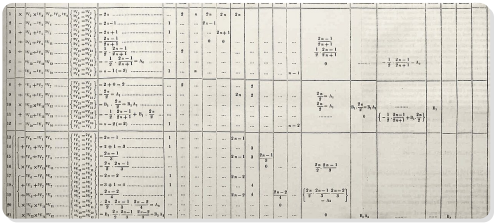
Ada Lovelace, la première programmeuse



Ada Lovelace

1815 – 1852 • mathématicienne anglaise, fille du poète Lord Byron

- 1843 : elle traduit un article sur la machine de Babbage et y ajoute des **notes** trois fois plus longues que le texte.
- Sa « note G » décrit un algorithme pour calculer les nombres de Bernoulli avec la machine : le **premier programme informatique** publié.
- Elle pressent que ces machines pourront traiter autre chose que des nombres.



La note G (1843) : chaque ligne est une opération de la machine — domaine public

Le saviez-vous ? Le langage **Ada** (1980) porte son nom, et l'*Ada Lovelace Day* honore chaque année les femmes scientifiques.

George Boole : quand la logique devient du calcul



George Boole

1815 – 1864 • mathématicien et philosophe britannique

- 1847 : il formalise une algèbre à **deux valeurs** seulement, 1 (vrai) et 0 (faux), avec les opérations ET, OU, NON : l'**algèbre booléenne**.
- Parfaite pour les relais, les tubes puis les transistors : le courant passe (1) ou ne passe pas (0).
- Elle simplifiera beaucoup la réalisation des calculateurs.

a	b	a ET b
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	**1**

a	b	a OU b
0	0	**0**
0	1	1
1	0	1
1	1	1

a	NON a
0	1
1	0

```
>>> True and False
False
>>> (3 > 2) or (1 > 5)
True
>>> type(True)
<class 'bool'>
```

En Python, le type `bool` lui rend hommage !

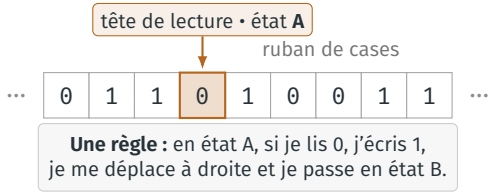
Alan Turing et la machine universelle



Alan Turing

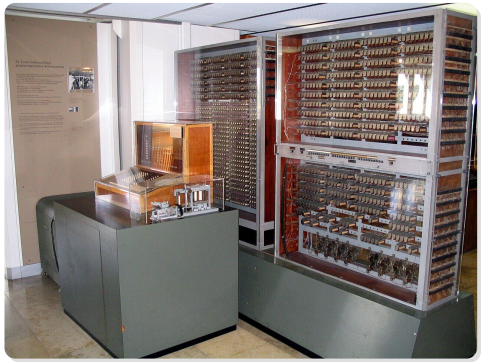
1912 – 1954 • mathématicien britannique (photo : à 16 ans)

- 1936 : il imagine une machine **théorique** très simple : un ruban de cases, une tête qui lit et écrit, une table de règles.
- La machine **universelle** peut simuler toutes les autres : elle peut exécuter n'importe quel algorithme.
- Une machine réelle est **Turing-complète** si elle sait faire tout ce que fait ce modèle.



Le saviez-vous ? Pendant la guerre, Turing aide à casser le code allemand Enigma (film *Imitation Game*, 2014). Condamné pour homosexualité en 1952, il meurt en 1954 ; il est réhabilité en 2013. Le prix Turing est le « Nobel » de l'informatique.

Le Z3 de Konrad Zuse : le premier ordinateur ?



Réplique (Deutsches Museum, Munich) — Venusianer, CC BY-SA 3.0



W. Hunscher, CC BY-SA 3.0

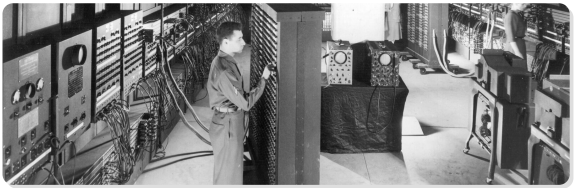
Konrad Zuse

1910 – 1995 • ingénieur allemand

- 1941 : le Z3 est un calculateur **électromécanique** : environ 2 600 relais.
- Il calcule en **binaire** et lit son programme sur un film perforé (de la pellicule de cinéma !).
- Ce serait le premier ordinateur **Turing-complet**… ce qui n'a été démontré qu'en 1998.
- Détruit en 1943 par un bombardement sur Berlin.

L'ENIAC : un géant électronique

Electronic Numerical Integrator And Computer



U.S. Army, 1946 — domaine public

- Conçu par **John Mauchly** et **Presper Eckert** pour l'armée américaine (calculs de balistique).
- **Électronique** : des tubes à vide, bien plus rapides que les relais… mais il calcule en **décimal**.

17 468
tubes à vide

30 tonnes
de matériel

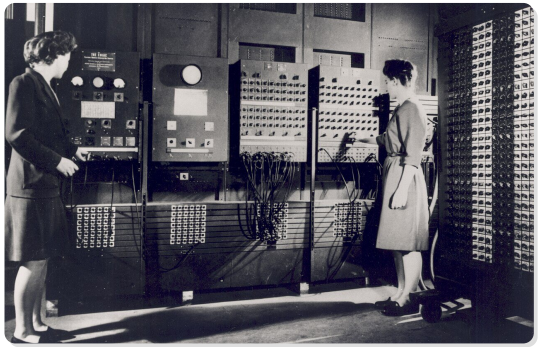
167 m²
au sol : une salle entière

150 kW
de puissance électrique

5 000
additions par seconde

357
multiplications par seconde

Programmer l'ENIAC… avec des câbles !



U.S. Army — domaine public

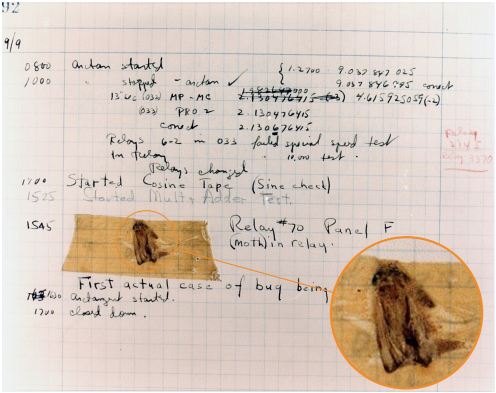
Betty Jean Jennings et Frances Bilas au panneau de contrôle de l'ENIAC

- Ni clavier, ni écran : on programme en **branchant des câbles** et en réglant des milliers d'interrupteurs. Changer de programme prend des jours !
- Les premières programmeuses : Kathleen McNulty, Jean Jennings, Betty Snyder, Marlyn Wescoff, Frances Bilas et Ruth Lichterman, longtemps oubliées.



L'idée de 1945 : ranger le programme **dans la mémoire**, comme les données. C'est l'architecture de **John von Neumann**… le sujet de ce chapitre !

Le premier « bug » ?



Cahier de bord du Harvard Mark II, 9 septembre 1947 — U.S. Navy, domaine public

- Les tubes à vide chauffent et grillent souvent : il faut sans cesse les remplacer.
- Chaleur et lumière attirent les insectes… qui provoquent des pannes !
- 9 septembre 1947 : sur le calculateur Harvard Mark II, un papillon de nuit coincé dans un relais est scotché dans le cahier de bord : « *First actual case of bug being found* ».

Le saviez-vous ? *Bug* (« insecte ») désignait déjà un défaut chez les ingénieurs du XIX^{e} siècle. En français : *bogue*.

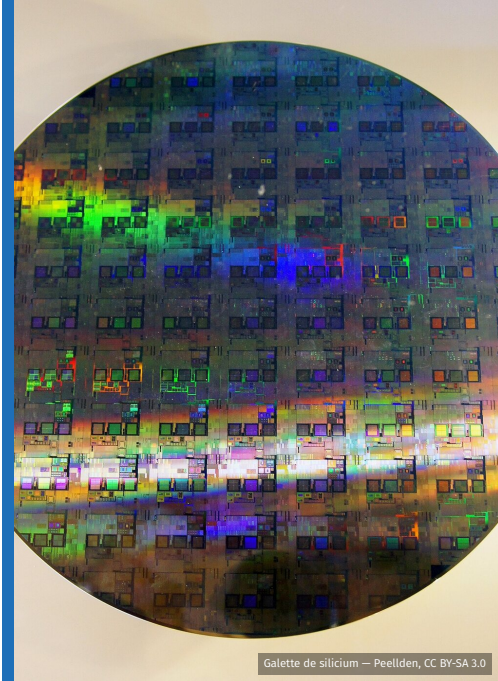
2

PARTIE 2

Après 1945

La révolution électronique

Le transistor, puis le circuit intégré et le microprocesseur : en quelques décennies, les ordinateurs deviennent minuscules, puissants et bon marché.



Galette de silicium — Peellden, CC BY-SA 3.0

Le transistor : la grande révolution

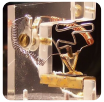


Bardeen, Shockley et Brattain (Bell Labs, 1948) — domaine public



tube à vide

remplacé par



1er transistor

Tube : A. P. Kok, CC BY-SA 4.0

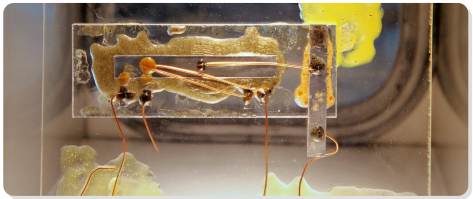
Transistor : Stahlkocher, CC BY-SA 3.0

- Aux laboratoires Bell (États-Unis), trois physiciens découvrent l'**effet transistor** dans un semi-conducteur, le germanium.
- Un petit courant ouvre ou ferme un circuit : c'est un **interrupteur commandé électriquement**, sans pièce mécanique.
- Il remplace les tubes à vide, coûteux et peu fiables : un bond en avant pour l'électronique.
- **Prix Nobel de physique 1956**.
- Complexe à fabriquer, il sépare deux métiers : **concepteur de processeurs** et **développeur de programmes**.

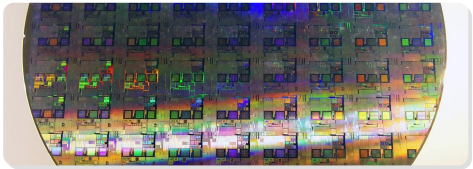
Le circuit intégré : tout sur une même puce

- 1958 : Jack Kilby (Texas Instruments) réalise le premier **circuit intégré** ; en 1959, Robert Noyce (Fairchild) le fabrique en **silicium**.
- Fairchild Semiconductor a été fondée en 1957, notamment par **Gordon Moore** et Robert Noyce.
- Principe : de nombreux transistors et leurs connexions sont **gravés ensemble** sur une même puce de silicium.

Le saviez-vous ? Le silicium (extrait du sable !) a donné son nom à la **Silicon Valley**, en Californie, où sont nées ces entreprises.

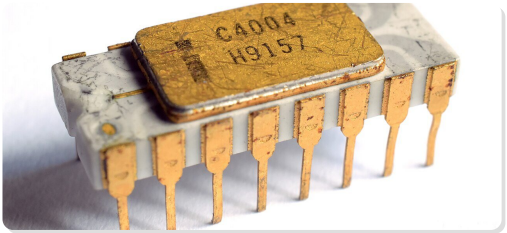


Réplique du circuit de Kilby — F. Schäffer, CC BY-SA 4.0



Des centaines de puces sur une galette de silicium — Peellden, CC BY-SA 3.0

L'Intel 4004 : le premier microprocesseur



Thomas Nguyen — CC BY-SA 4.0

2 300	10 µm	740 kHz	4 bits
transistors	gravure	horloge	à la fois

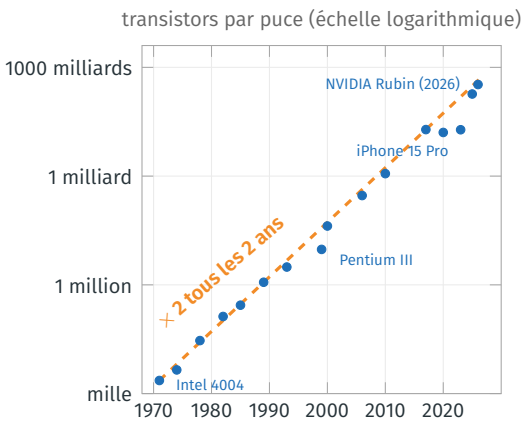
- 1968 : Gordon Moore et Robert Noyce fondent **Intel** (*Integrated Electronics*) dans la toute jeune Silicon Valley.
- 1971 : l'Intel 4004 est le premier **processeur complet sur une seule puce**. Il équipe une calculatrice japonaise (Busicom).
- 10 µm : la **finesse de gravure** (taille des motifs des transistors). Un cheveu mesure 50 à 100 µm !



Gordon Moore (à g.) et Robert Noyce (1970)

Intel Free Press, CC BY-SA 2.0

La loi de Moore : doubler tous les deux ans

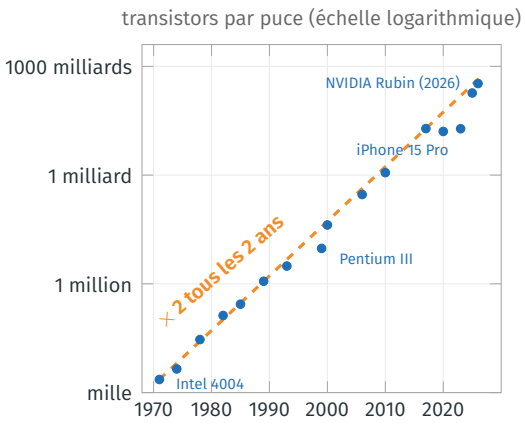


- 1965 : Gordon Moore prédit un doublement du nombre de transistors par puce chaque année ; en 1975, il corrige : **tous les deux ans**.
- Cette prévision devient la **feuille de route** de l'industrie.

De 1971 à 2017 : 46 ans, soit **23 doublements**. $2\,300 \times 2^{23} \approx$ **19 milliards**. Réalité en 2017 (AMD Epyc) : 19,2 milliards !

À vous ! Quelle prévision pour 2025 ?

La loi de Moore : doubler tous les deux ans



- 1965 : Gordon Moore prédit un doublement du nombre de transistors par puce chaque année ; en 1975, il corrige : **tous les deux ans**.
- Cette prévision devient la **feuille de route** de l'industrie.

De 1971 à 2017 : 46 ans, soit **23 doublements**. $2\,300 \times 2^{23} \approx$ **19 milliards**. Réalité en 2017 (AMD Epyc) : 19,2 milliards !

À vous ! Quelle prévision pour 2025 ?
27 doublements : $2\,300 \times 2^{27} \approx 309$ milliards.
Réalité : 184 milliards (Apple M3 Ultra).

Apple I et II : l'ordinateur arrive à la maison



Apple I — Ed Uthman, CC BY-SA 2.0



Apple II (1977)

FozzTexx, CC BY-SA 4.0

- 1976 : Steve Wozniak conçoit l'**Apple I**, que Steve Jobs vend : environ 200 exemplaires, à 666,66 $ (sans boîtier ni clavier !).
- 1977 : l'**Apple II**, conçu pour être produit en masse à un prix raisonnable, diffuse largement l'informatique.
- Années 1980 : l'**interface graphique** (fenêtres, icônes, souris) rend l'ordinateur facile à utiliser.

Le saviez-vous ? En 2014, un Apple I a été vendu aux enchères pour 905 000 dollars !

L'IBM PC : naissance du « PC »



IBM PC 5150 — Boffy b, CC BY-SA 3.0

- 1981 : IBM lance le **Personal Computer** : processeur Intel 8088 à 4,77 MHz, système d'exploitation MS-DOS de Microsoft.
- **Architecture ouverte** : de nombreux constructeurs fabriquent des « compatibles PC ».
- Les PC à processeur Intel (et, dans une moindre mesure, les Apple à processeur Motorola) orientent toute l'évolution : les architectures spécialisées, comme les machines-langages, disparaissent.

Le saviez-vous ? Nos PC comprennent encore les instructions de l'Intel 8086 (1978) : l'architecture « x86 ».

Deep Blue bat le champion du monde d'échecs



Anton Chiang — CC BY 2.0

- Mai 1997 : le superordinateur **Deep Blue** d'IBM bat **Garry Kasparov**, champion du monde, en un match de six parties (3,5 à 2,5).
- Il évalue environ **200 millions de positions par seconde**.
- Il ne « réfléchit » pas comme nous : il calcule énormément, guidé par des règles mises au point avec des experts.

Et depuis ? 2016 : le programme AlphaGo bat le champion Lee Sedol au jeu de go. 2022 : arrivée de ChatGPT… L'intelligence artificielle est partout.

Fin du millénaire : le Pentium III et le gigahertz



Konstantin Lanzet — CC BY-SA 3.0

En 29 ans, de l'Intel 4004 au Pentium III :

	4004 (1971)		Pentium III (2000)	
Transistors	2 300	→	≈ 10 millions	× **4 000**
Gravure	10 µm	→	≈ 0,2 µm (200 nm)	÷ **50**
Horloge	740 kHz	→	1 GHz	× **1 350**

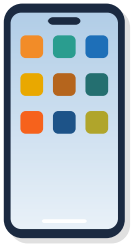
Le saviez-vous ? Mars 2000, la course au gigahertz : AMD (Athlon) franchit la barre de 1 GHz deux jours avant Intel !

Et aujourd'hui ?

Nombre de transistors sur une seule puce… et finesse de gravure :

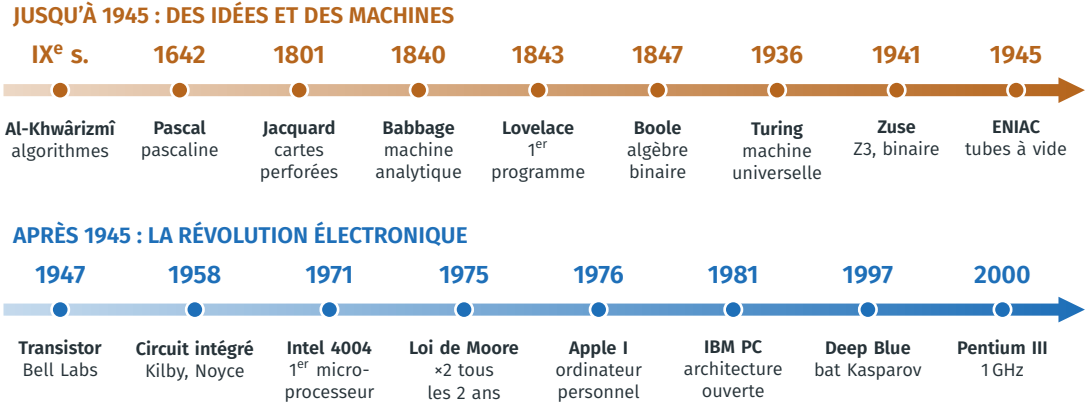
19 milliards	184 milliards	336 milliards	3 nm de gravure
iPhone 15 Pro (2023)	Apple M3 Ultra (2025)	NVIDIA Rubin (2026, pour l'IA)	valeur affichée (nom commercial)

- Depuis le milieu des années 2000, la fréquence plafonne entre 3 et 6 GHz (la puce chaufferait trop) : on multiplie plutôt les **cœurs**.
- La loi de Moore ralentit : certaines parties d'un transistor ne mesurent plus que quelques dizaines d'atomes !
- On conçoit des puces **spécialisées** : cartes graphiques (GPU), accélérateurs pour l'intelligence artificielle…



des milliards de transistors dans votre poche

La frise à retenir



Testez-vous !

1. D'où vient le mot « algorithme » ?
2. Métier Jacquard et machine de Babbage : quel point commun ?
3. Qui a écrit le premier programme informatique ?
4. Quel composant remplace les tubes à vide à partir de 1947 ?
5. Que dit la loi de Moore ?
6. Pourquoi les ordinateurs calculent-ils en binaire ?

Testez-vous !

1. **D'où vient le mot « algorithme » ?**
   → Du nom d'Al-Khwârizmî (IX^{e} siècle).

2. **Métier Jacquard et machine de Babbage : quel point commun ?**

3. **Qui a écrit le premier programme informatique ?**

4. **Quel composant remplace les tubes à vide à partir de 1947 ?**

5. **Que dit la loi de Moore ?**

6. **Pourquoi les ordinateurs calculent-ils en binaire ?**

Testez-vous !

1. **D'où vient le mot « algorithme » ?**
   → Du nom d'Al-Khwârizmî (IX^{e} siècle).

2. **Métier Jacquard et machine de Babbage : quel point commun ?**
   → Les cartes perforées (le programme).

3. **Qui a écrit le premier programme informatique ?**

4. **Quel composant remplace les tubes à vide à partir de 1947 ?**

5. **Que dit la loi de Moore ?**

6. **Pourquoi les ordinateurs calculent-ils en binaire ?**

Testez-vous !

1. **D'où vient le mot « algorithme » ?**
   → Du nom d'Al-Khwârizmî (IX^{e} siècle).

2. **Métier Jacquard et machine de Babbage : quel point commun ?**
   → Les cartes perforées (le programme).

3. **Qui a écrit le premier programme informatique ?**
   → Ada Lovelace, en 1843.

4. **Quel composant remplace les tubes à vide à partir de 1947 ?**

5. **Que dit la loi de Moore ?**

6. **Pourquoi les ordinateurs calculent-ils en binaire ?**

Testez-vous !

1 **D'où vient le mot « algorithme » ?**

→ Du nom d'Al-Khwârizmî (IX^{e} siècle).

2 **Métier Jacquard et machine de Babbage : quel point commun ?**

→ Les cartes perforées (le programme).

3 **Qui a écrit le premier programme informatique ?**

→ Ada Lovelace, en 1843.

4 **Quel composant remplace les tubes à vide à partir de 1947 ?**

→ Le transistor.

5 **Que dit la loi de Moore ?**

6 **Pourquoi les ordinateurs calculent-ils en binaire ?**

Testez-vous !

1 **D'où vient le mot « algorithme » ?**

→ Du nom d'Al-Khwârizmî (IX^{e} siècle).

2 **Métier Jacquard et machine de Babbage : quel point commun ?**

→ Les cartes perforées (le programme).

3 **Qui a écrit le premier programme informatique ?**

→ Ada Lovelace, en 1843.

4 **Quel composant remplace les tubes à vide à partir de 1947 ?**

→ Le transistor.

5 **Que dit la loi de Moore ?**

→ Le nombre de transistors par puce double environ tous les deux ans.

6 **Pourquoi les ordinateurs calculent-ils en binaire ?**

Testez-vous !

1 **D'où vient le mot « algorithme » ?**

→ Du nom d'Al-Khwârizmî (IX^{e} siècle).

2 **Métier Jacquard et machine de Babbage : quel point commun ?**

→ Les cartes perforées (le programme).

3 **Qui a écrit le premier programme informatique ?**

→ Ada Lovelace, en 1843.

4 **Quel composant remplace les tubes à vide à partir de 1947 ?**

→ Le transistor.

5 **Que dit la loi de Moore ?**

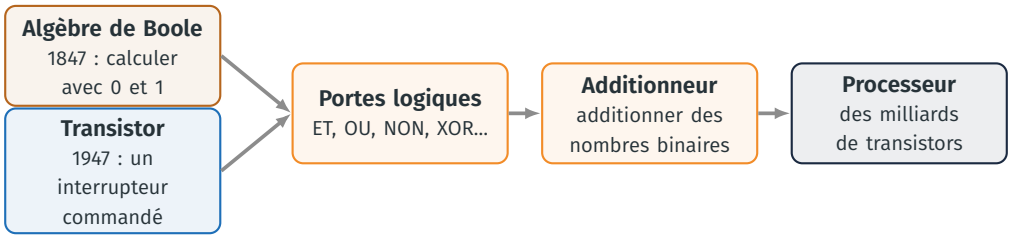
→ Le nombre de transistors par puce double environ tous les deux ans.

6 **Pourquoi les ordinateurs calculent-ils en binaire ?**

→ Deux états (0 ou 1) : l'algèbre de Boole.

À suivre : du transistor aux circuits logiques

Comment des milliards de transistors, de simples interrupteurs, peuvent-ils **calculer** ? C'est l'objet de la partie 2 du cours !



> Les idées de Boole (1847) et l'invention du transistor (1947) sont les deux piliers de tous nos ordinateurs.

Sources et crédits des images

Images : Wikimedia Commons (recadrées et redimensionnées pour cette présentation).

Timbre Al-Khwârizmî (URSS, 1983) : domaine public
Portrait de B. Pascal (v. 1690) : domaine public
Pascaline : David Monniaux, CC BY-SA 3.0
Portrait de J. M. Jacquard : domaine public
Métier Jacquard : Stephencdickson, CC BY-SA 4.0
Portrait tissé de Jacquard (1839) : Library of Congress, domaine public
Portrait de C. Babbage (1860) : domaine public
Machine analytique : Science Museum London, CC BY-SA 2.0 ; Daderot, CC0
Portrait d'A. Lovelace (A. E. Chalon) : domaine public
Note G (1843) : domaine public
Portrait de G. Boole : domaine public
A. Turing à 16 ans : domaine public
Konrad Zuse (1992) : Wolfgang Hunscher, CC BY-SA 3.0
Réplique du Z3 : Venusianer, CC BY-SA 3.0
ENIAC, programmeuses : U.S. Army, domaine public
J. von Neumann : Los Alamos National Laboratory
Cahier du Mark II (1947) : U.S. Navy, domaine public
Tube à vide ECC83 : Alex P. Kok, CC BY-SA 4.0
Réplique du 1er transistor : Stahlkocher, CC BY-SA 3.0
Bardeen, Shockley, Brattain : Bell Labs / AT&T, domaine public
Réplique du circuit de Kilby : Florian Schäffer, CC BY-SA 4.0
Galette de silicium : Peellden, CC BY-SA 3.0
G. Moore et R. Noyce : Intel Free Press, CC BY-SA 2.0
Intel C4004 : Thomas Nguyen, CC BY-SA 4.0
Apple I : Ed Uthman, CC BY-SA 2.0
Apple II : FozzTexx, CC BY-SA 4.0
IBM PC 5150 : Boffy b, CC BY-SA 3.0
Deep Blue : Anton Chiang, CC BY 2.0
Pentium III : Konstantin Lanzet, CC BY-SA 3.0

Contenu : D'après le cours d'Anthony Juton (MOOC « NSI : les fondamentaux ») ; Wikipédia ; Computer History Museum.

À visiter : Musée des Arts et Métiers (Paris) • Muséum Henri-Lecoq (Clermont-Ferrand) • Musée d'Art et d'Industrie (Saint-Étienne).