# Introduction à la technologie des ordinateurs

## Notions de base

Dominique Lieffrig

1

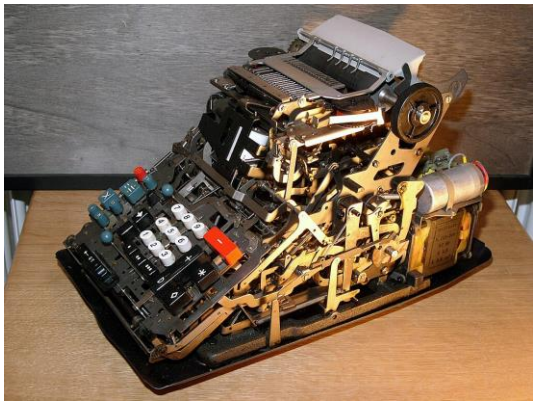
## Calculateurs

- **Calculateur :**
  - dispositif mécanique, électromécanique ou électronique, conçu pour exécuter automatiquement des **opérations arithmétiques** ou **logiques** sur des données;
  - système spécialisé dédié à une tâche précise;
  - dispositif limité à un domaine précis.



2

## Calculateurs

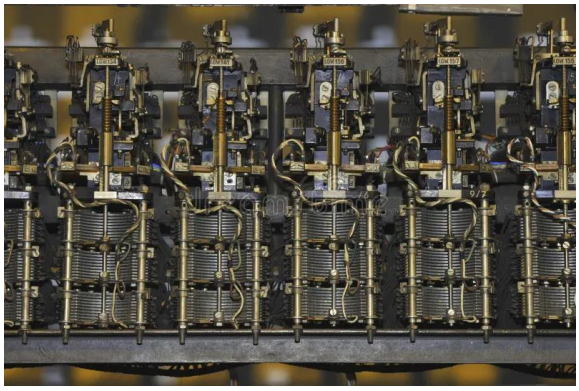


Calculatrice électromécanique

La Divisumma 24 d'Olivetti, datant de 1964. Le capot est retiré afin de faire ressortir le mécanisme de la machine. Le moteur électrique est à l'arrière.



## Calculateurs



Sélecteurs électromécaniques

Ces dispositifs étaient utilisés dans les commutateurs téléphoniques automatiques. Chaque unité est constituée d'un ensemble de relais, de bobines et de contacts mécaniques permettant d'établir la connexion entre deux lignes téléphoniques.

## Calculateurs



Le viseur Norden

Le viseur Norden peut être considéré comme un calculateur mécanique.

Dispositif électromécanique développé dans les années 1930-40 pour le bombardement de précision.

Le bombardier introduisait les paramètres (vitesse de l'avion, altitude, vent…) et la machine calculait automatiquement le point de largage des bombes.



## Calculateurs



Pompe à insuline

Pompe à insuline qui calcule la dose en fonction des données du patient.

## Calculateurs




Défibrillateur automatisé

Un défibrillateur automatisé externe est un dispositif médical portable conçu pour traiter un arrêt cardiaque soudain causé par une fibrillation ventriculaire.
Il analyse le rythme cardiaque et prend la décision de délivrer ou non une décharge électrique.

NB:
La fibrillation est la contraction rapide, irrégulière et non synchronisée des fibres musculaires.



## Ordinateurs

- **Ordinateur :**
  - dispositif **électronique programmable** capable de **traiter automatiquement** des **données** selon des **instructions codées** dans un **programme**;
  - se distingue par sa polyvalence (calcul, gestion de fichiers, navigation web…);
  - composé de différents éléments : processeur, mémoire, support de stockage, périphériques;
  - fonctionne selon le cycle : entrée – traitement – sortie – stockage

## Quelques définitions et notions fondamentales

- **Informatique :**
  - **science du traitement automatique de l'information**;
  - fusion des termes **information** et **automatique**;
  - terme inventé par Philippe Dreyfus (ingénieur et informaticien français) en 1962.

- **Information**:
  - L'information est une **donnée** à laquelle on donne du **sens** dans un **contexte donné**.
  - Une donnée seule est un élément brut sans signification propre.
  - En informatique, l'information est à la base du fonctionnement des systèmes.



## Données / informations

| Donnée | Information |
|---|---|
| 14 | Température extérieure : 14°C |
| 2001 | Année de naissance : 2001 |
| 3,5 | Taux d'intérêt en pourcent : 3,5 |
| #D56A17 | Couleur du titre : #D56A17 |

## Étapes typiques du traitement de l'information






## Exemples de traitement de l'information

- Transformer une température saisie en °F vers des °C. (x-32)/1,8
- Trier une liste de noms par ordre alphabétique.
- Calculer un bulletin de notes à partir de points.
- Convertir un signal sonore analogique en fichier audio numérique.
- Calculer les salaires, les cotisations sociales.
- Calculer un itinéraire.
- …

## Des origines à nos jours

- L'homme préhistorique calculait avec ses doigts, des cailloux, des os gravés.
- Le mot « calcul » vient du mot latin « calculus » qui signifie petit caillou.
- Des os gravés de séries de traits datant de -20000 ont été retrouvés.
- Exemple « plus récent » :



Grotte de Remouchamps (-6000)



## Les jetons

+/- 3500 à 3000 av. J.-C. en Mésopotamie (Irak et Syrie) :

Premiers systèmes de calcul avec **jetons, tablettes d'argile…**

Les jetons représentent des quantités différentes. On les appelle calculi.



Pour garder en mémoire le nombre total de ce qu'ils avaient compté, par exemple en cas d'échange ou de vente, les Mésopotamiens enfermaient les calculi dans des bulles, ou enveloppes d'argile, creuses.
On imprimait parfois les empreintes des jetons à la surface (pour ne pas avoir à casser la bulle si tout allait bien).
La bulle était scellée et constituait une preuve inviolable de la transaction. Elle était cassée pour vérifier le contenu en cas de litige.

# Les abaques et les bouliers

**Boulier ou abaque ?**

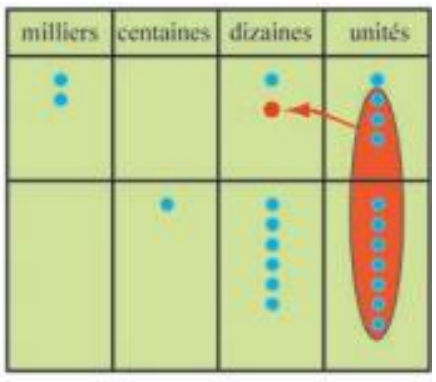
- L'abaque se définit comme un outil de calcul : il peut être graphique (support papier…) ou pouvait être avant notre ère un schéma tracé dans la poussière, le sable…
- La définition de **l'abaque** est plus large et **englobe les différents types de bouliers** qui sont par définition des abaques sous une forme physique spécifique utilisant des billes sur des tiges.



# Les abaques et les bouliers

Abaque :

2014
+
167




= 2181

# Les abaques et les bouliers

Abaque pour convertir des unités de mesure :



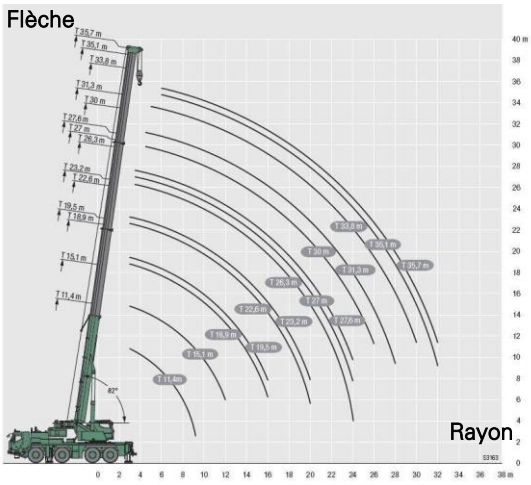



# Les abaques et les bouliers

Abaque d'une grue mobile télescopique.

**Doit être associé au tableau de charges**

| Longueur de flèche Axe Y | Rayon (m) Axe X | Charge max (t) |
|---|---|---|
| 15 m | 6 m | 25 t |
| 15 m | 10 m | 12 t |
| 23 m | 15 m | 8 t |
| 31 m | 20 m | 4,5 t |
| 35 m | 25 m | 2,8 t |



## Les abaques et les bouliers

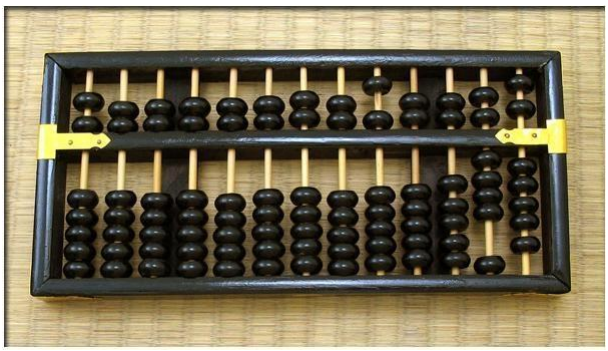
Boulier romain qui daterait de la fin du 1er siècle après J.-C.





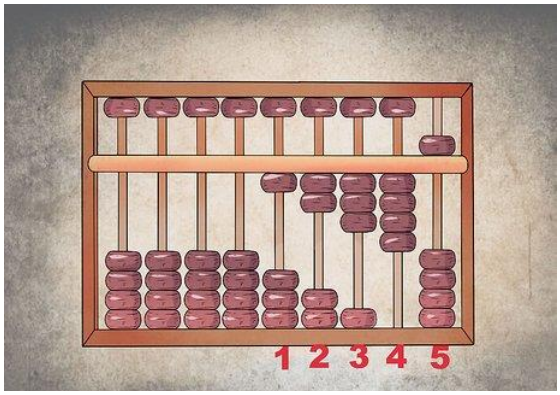
## Les abaques et les bouliers

Boulier chinois :



## Les abaques et les bouliers

Boulier japonais (4 +1) :






## Les bouliers

Toujours utilisés :





Au baby-foot



Pour apprendre à compter, à calculer

...

# Numération romaine

- Numération romaine : utilisée pendant le premier millénaire de notre ère
- I = 1
- V = 5
- X = 10
- L = 50
- C = 100
- D = 500
- M = 1000

Tout symbole qui suit un symbole **de valeur supérieure ou égale** s'ajoute à celui-ci :
Exemple : 6 s'écrit VI

Tout symbole qui précède un symbole **de valeur supérieure** se soustrait à ce dernier :
Exemple : 9 s'écrit IX

En revanche, ôter I de L ou de C n'est pas pratiqué.
Exemple : 49 s'écrit XLIX et non pas IL



# Numération romaine

- Exemples :
  - 16 <=> XVI
  - 2025 <=> MMXXV
  - 1458 <=> M**CD**LVIII (C (100) est soustrait de D (500) : cf. principe énoncé précédemment)

- Pas de 0
- Écriture pouvant très longue, peu intuitive.
- Opérations arithmétiques très compliquées (étaient souvent réalisées avec des abaques).

## La Pascaline

- **1642 :** Blaise Pascal présente une machine qui peut additionner et soustraire des nombres de six chiffres (des modèles à huit chiffres ont également été fabriqués).



La Pascaline



## Introduction du calcul binaire

- **1697 :** Gottfried Leibniz introduit le calcul binaire en Europe.

- Le XVII$^{e}$ siècle est souvent considéré comme un tournant dans le développement de la connaissance scientifique. Des géants tels **Galilée, Newton et Leibniz** sont à l'origine d'une véritable révolution intellectuelle qui propulsa l'Europe au premier plan dans le développement des mathématiques et dans leur application aux sciences naturelles.

# Métier à tisser de Jacquard

- **1805 :** Joseph-Marie Jacquard perfectionne le système de Falcon et propose un métier à tisser utilisant des cartons perforés.

- Le métier à tisser de Jacquard :

  https://www.youtube.com/watch?v=Ygj6l_p_h58
  https://www.youtube.com/watch?v=K6NgMNvK52A

  Les cartes perforées :
  https://www.youtube.com/watch?v=TNiOv4iTyrQ



Métier à tisser de Jacquard



# Arrivée de l'algèbre booléenne

- 1854 : George Boole (1815-1864) définit une nouvelle forme de logique, fondée sur trois opérateurs ET, OU, NON, dans un ouvrage intitulé « An Investigation into the Laws of Thought » (Une étude des lois de la pensée). Nous arrivons à l'algèbre booléenne.

- L'algèbre de Boole, ou calcul booléen, est la **partie des mathématiques qui s'intéresse aux opérations et aux fonctions sur les variables logiques.**

- 1879 : L'algèbre booléenne prend sa forme actuelle, grâce aux travaux de Gottlob Frege.

| | | | |
|---|---|---|---|
| (1) | $\overline{0} = 1$ | (6) | $\overline{1} = 0$ |
| (2) | $0 + 0 = 0$ | (7) | $0 \cdot 0 = 0$ |
| (3) | $0 + 1 = 1$ | (8) | $0 \cdot 1 = 0$ |
| (4) | $1 + 0 = 1$ | (9) | $1 \cdot 0 = 0$ |
| (5) | $1 + 1 = 1$ | (10) | $1 \cdot 1 = 1$ |

(1) et (6) : opérateur NOT
(2) à (5) : opérateur OU
(7) à (10) : opérateur ET

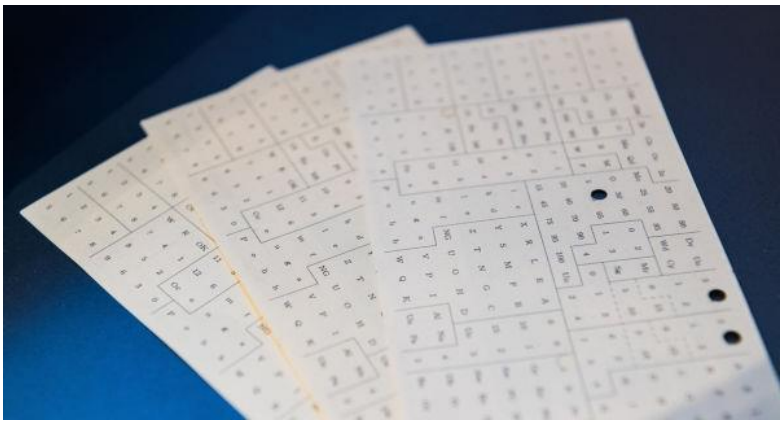
## Calculateur de statistiques de Hermann Hollerith

- L'Américain **Hermann Hollerith** construit un calculateur de statistiques fonctionnant avec des cartes perforées pour accélérer le traitement des données du recensement américain de **1890**.
- Hollerith fonda la Tabulating Machines Company pour produire ses systèmes à cartes perforées. Sa compagnie rencontra un succès de longue durée. En 1924, cinq ans avant la mort de son fondateur, elle devint l'International Business Machines Corporation, ou **IBM.**





## Calculateur de statistiques de Hermann Hollerith



## Calculateur de statistiques de Hermann Hollerith





## Calculateur de statistiques de Hermann Hollerith



## Calculateur de statistiques de Hermann Hollerith





## Invention du premier tube à vide

- **1904** : John Flemming invente le premier tube à vide. Il s'agit d'une diode pouvant prendre deux états ON/OFF.
- C'est l'ancêtre des transistors.
- Fonctionnement comme des interrupteurs commandés par une tension, ou encore comme des amplificateurs rudimentaires.
- **Dans les tubes à vides, le filament n'émet pas de lumière quand on le chauffe : il émet des électrons, de l'électricité.**



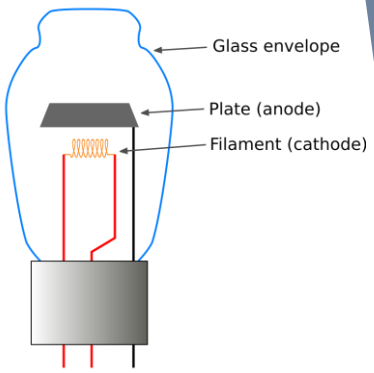
# Les premiers tube à vide (diodes)

**La cathode chauffée (filament ou résistance)**
Le filament (rouge/orangé) est parcouru par un courant qui le chauffe.
Sous l'effet de la chaleur, il émet des électrons dans le vide (effet thermoïonique).
Matériau : carbone puis du tungstène puis du tungstène recouvert d'oxyde de barium…

**Le vide dans l'ampoule en verre**
Comme il n'y a pas d'air, les électrons peuvent circuler librement sans être arrêtés par des collisions avec des molécules de gaz.

**L'anode (plaque métallique)**
Placée en face de la cathode, elle est maintenue à un potentiel positif.
Les électrons (chargés négativement) sont attirés par cette plaque et circulent donc de la cathode vers l'anode.

**Conduction unidirectionnelle**
Les électrons ne peuvent circuler que dans ce sens (cathode → anode). Si on inverse la polarité, la plaque n'émet pas d'électrons et aucun courant ne circule.





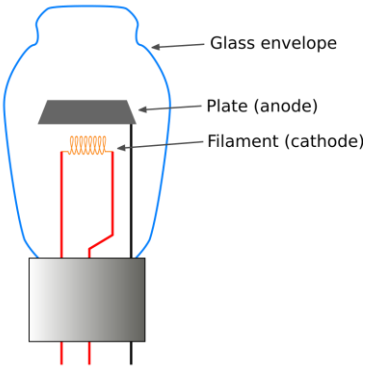

# Les premiers tubes à vide (diodes)

La cathode est toujours alimentée (par un courant dit de filament).
Son rôle est d'émettre des électrons.
La cathode doit être **chauffée en permanence**.

C'est l'anode (plaque) qui décide si les électrons vont circuler ou non.
Deux cas :

- Anode positive par rapport à la cathode => les électrons sont attirés => courant circule => on peut associer à un 1 binaire.
- Anode négative ou à potentiel nul => les électrons sont repoussés => aucun courant => on peut associer à un 0 binaire.

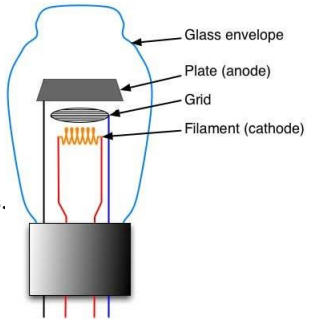
L'anode est reliée à une source positive fixe, mais on intercale un interrupteur ou un circuit de commutation (par exemple un relais). En ouvrant/fermant ce circuit, on fait varier la tension appliquée à l'anode → donc on décide si le courant circule ou non.



# Tube à vide avec grille (triode)

**Filament (cathode chauffée)**
- Le filament chauffe et émet des électrons.
- C'est la « source » d'électrons.

**Grille (grid)**
- Placée entre la cathode et l'anode.
- Un petit treillis métallique auquel on applique une tension de commande.
- C'est la « clé » qui décide si les électrons peuvent passer ou pas.
  Grille négative par rapport à la cathode : électrons repoussés.
  Grille proche de 0 ou légèrement positive : les électrons passent.
  Permet de travailler avec des courants de commande beaucoup plus faibles.



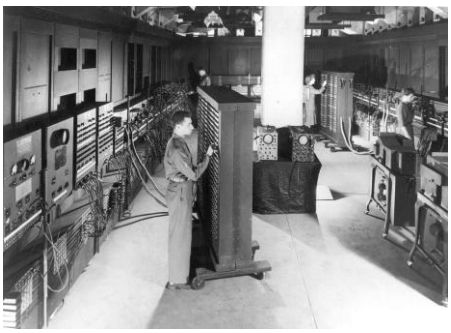

**Anode (plate)**
- Maintenue à une tension positive (par rapport à la cathode).
- Elle attire les électrons → le courant circule si la grille l'autorise.

**Ampoule en verre sous vide**
- Le vide empêche les collisions avec les molécules d'air → les électrons se déplacent librement.



# 1re génération d'ordinateurs

- L'ENIAC (1945 / 1946, USA) utilisait environ 18 000 tubes à vide et pesait 30 tonnes. Chaque tube chauffait et consommait beaucoup (l'ENIAC consommait ~150 kW !).
- La programmation se faisait en **connectant manuellement des câbles** et en **plaçant des commutateurs** dans certaines positions.
- Les données d'entrée et de sortie passaient par des lecteurs et perforateurs de cartes IBM reliés à l'ENIAC.
- Les tubes servaient de « commutateurs » pour représenter les 0 et 1 du calcul binaire.
- Souvent considéré comme le premier véritable ordinateur (« en concurrence » avec l'EDVAC).

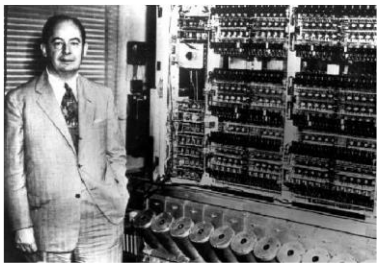


ENIAC • Université de Pennsylvanie

## L’architecture de von Neumann

Dès la fin de 1945, John von Neumann propose une architecture révolutionnaire :

- Propose d’enregistrer le programme en mémoire.
- Instructions et données sont stockées dans la mémoire même de la machine. Celles-ci sont chargées depuis des cartes perforées.
- Le programme peut décider quels calculs exécuter, quel chemin choisir pour la suite des opérations, sur la base des résultats intermédiaires.



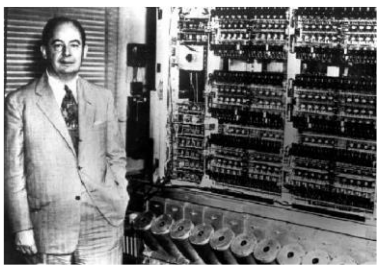
John von Neumann



## L’architecture de von Neumann

On peut résumer les caractéristiques de l’ordinateur selon von Neumann :

- une machine universelle contrôlée par programme;
- les instructions du programme sont codées sous forme numérique (binaire) et enregistrées en mémoire avec les données;
- le programme peut modifier ses propres instructions, qui sont normalement exécutées en séquence, en effet, il peut accéder à une zone mémoire contenant une instruction, la modifier et l’exécuter ensuite;
- des instructions existent permettant les ruptures de séquence.

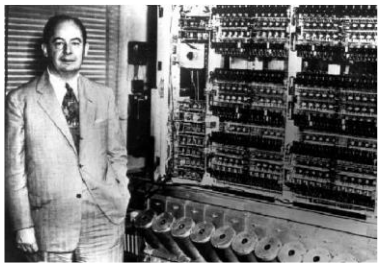


John von Neumann

# L'architecture de von Neumann

L'architecture de von Neumann :

- l'unité arithmétique et logique (UAL);
- l'unité de commande;
- la mémoire centrale;
- l'unité d'entrée;
- l'unité de sortie.



John von Neumann



# ENIAC vs EDVAC

| Critère | ENIAC (1945-46) | EDVAC (livraison en 1949) |
|---|---|---|
| Signification | Electronic Numerical Integrator and Computer | Electronic Discrete Variable Automatic Computer |
| Type d'architecture | Pas de mémoire de programme (programmation par câblage) | Architecture de von Neumann (programme et données en mémoire) |
| Programmation | Rebranchement manuel de câbles, commutateurs | Instructions stockées en mémoire et communiquées via des cartes perforées |
| Mémoire | Accumulateurs de l'ENIAC étaient entièrement construits avec des tubes à vide<br>800 bits<br>**Contient uniquement les données.** | Lignes de retard au mercure<br>Quelques milliers de bits<br>**Contient les données et les instructions.** |
| Nombre de tubes à vide | ~18 000 | ~6 000<br>Servent au calcul logique et arithmétique ainsi qu'au contrôle de la machine |
| Vitesse | ~5 000 additions/s | Plus rapide grâce à la mémoire interne et la logique optimisée |
| Flexibilité | Faible : quelques jours pour reprogrammer | Grande : il suffit de charger un nouveau programme |

## Fonctionnement des lignes de retard au mercure

Lignes de retard au mercure :

- Longs tubes remplis de mercure liquide (entre 1 et 2,5 m de long).
- À chaque extrémité, on plaçait des transducteurs piézoélectriques (cristaux de quartz) capables de transformer : un signal électrique → en une onde acoustique dans le mercure, puis l'onde acoustique → à nouveau en signal électrique à la sortie.
- Le quartz a la propriété suivante :
  - si on applique une tension → il se déforme (vibre).
  - si on le déforme mécaniquement → il produit une tension électrique.



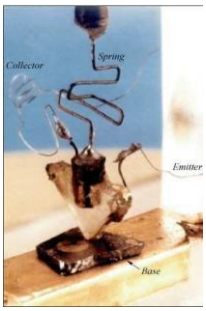


## Fonctionnement des lignes de retard au mercure

- Un **train d'impulsions électriques** (0 et 1 binaires) est envoyé dans le transducteur d'entrée (cristaux de quartz). Il est possible d'injecter plusieurs impulsions espacées dans le temps, chaque tube permettait donc de gérer +/- 384 bits en série temporelle.
- Le quartz les convertit en **ondes sonores** qui voyagent dans le mercure à une vitesse très constante.
- À l'autre bout, un deuxième transducteur reçoit ces ondes et les reconvertit en impulsions électriques.
- Ces impulsions sont immédiatement **réinjectées** à l'entrée (avec amplification éventuelle) → formant une **boucle circulaire**.
- Tant qu'on alimente le système, la suite de 0 et 1 circule indéfiniment dans le tube = **mémoire dynamique**.

## L'arrivée du transistor (2me génération d'ordinateurs)

- 1947 : John Bardeen invente le transistor qui remplace progressivement les lampes à vide.




Transistor bipolaire à pointes de contact





## Transistors bipolaires

Un transistor bipolaire est un composant à trois pattes (Base – Collecteur – Émetteur) qui peut agir principalement de deux façons :

- L'émetteur émet des électrons.
- La base agit comme porte de contrôle (joue le même rôle que la grille dans les tubes à vide).
- Le collecteur capte les électrons qui ont réussi à traverser la base.

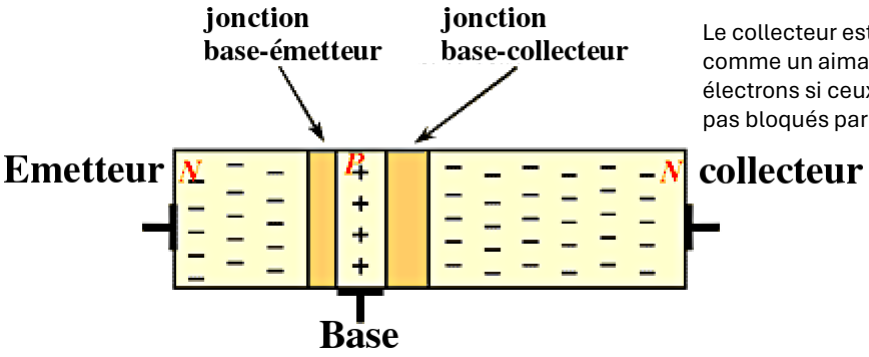
C'est en appliquant une tension de 0,6 à 0,7 V à la base (pour du silicium) par rapport à l'émetteur que la jonction est ouverte et que les électrons passent. Cela correspond à 1 sinon c'est 0.




Collecteur Base Émetteur

Transistor NPN
(bipolaire)

# Transistors bipolaires

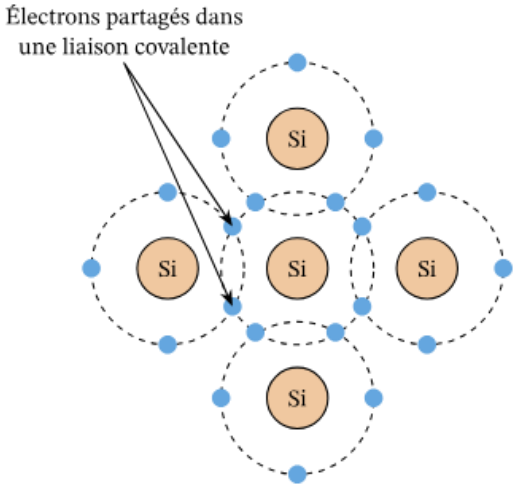



Le collecteur est **positif** et agit comme un aimant pour les électrons si ceux-ci ne sont pas bloqués par la base.

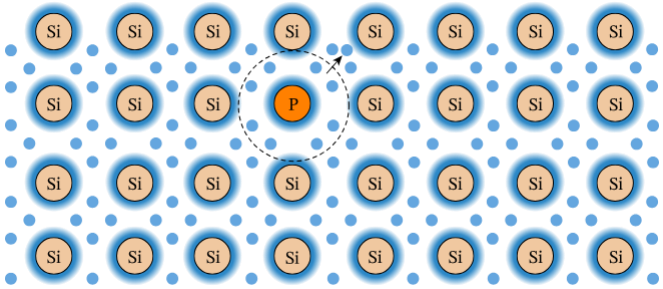
Trou : emplacement libre où un électron peut se placer. Dans la base, on crée des trous en dopant le silicium avec du bore par exemple.



# Transistors bipolaires



# L'émetteur est fortement dopé

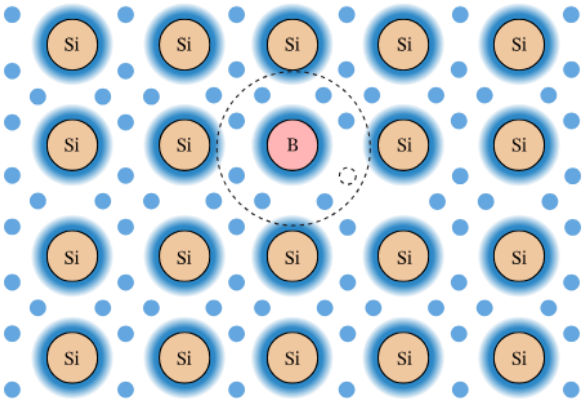



Chaque atome de phosphore incorporé ajoute 1 électron libre au réseau



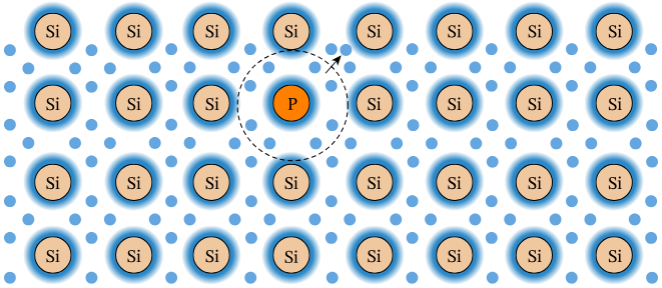
# La base est faiblement dopée

Réseau d'atomes de silicium qui contient un atome de bore.



## Le collecteur faiblement dopée

Réseau d'atomes de silicium qui contient un atome de phosphore.




Le dopage est nécessaire. Si pas de dopage, le silicium est quasiment isolant.



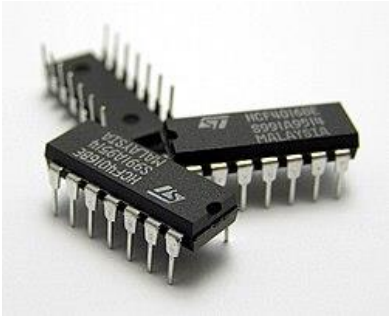
## Autres catégories de transistors

- Les transistors MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor).
- Les transistors MOSFET CMOS (version miniaturisée des MOSFET).
- https://www.youtube.com/watch?v=31hyLr07obo



## L'ère des circuits intégrés (3me génération d'ordinateurs)

- **1959 :** grâce notamment aux travaux de Jack Kilby et Robert Noyce, on a été capable de relier entre eux tous les éléments des circuits imprimés : transistors, diodes, condensateurs, fils…

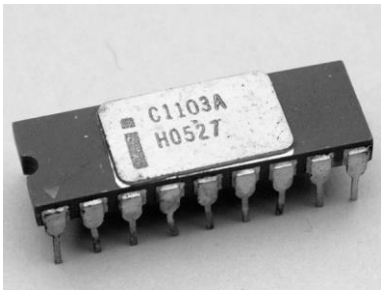


- Circuit intégré = +/- puce
- La **puce est le support physique**, et le **circuit intégré est le circuit électronique qu'elle contient**.
  En pratique, on emploie les deux comme synonymes.
- Un **processeur** est un type particulier de **circuit intégré.**



## Première puce DRAM

- **1970 :** Bob Abbott, sous la direction de Les Vadasz, met au point chez Intel, la première **puce de mémoire DRAM** (Dynamic Random Access Memory).

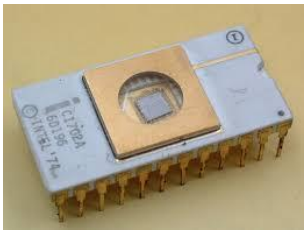



- Condensateur + transistor
- Capacité : **1 Kbit** (soit 1024 bits = 128 octets, et non 1 Ko complet en pratique, mais souvent résumé comme "1 kilo-octet").
- C'était une **mémoire vive** destinée à remplacer les mémoires à tores magnétiques.
- Utilisée dans de nombreux ordinateurs des années 1970.

## Première puce EPROM

- **1971 :** Intel crée la première puce à mémoire morte qu'on peut programmer électroniquement, la EPROM (Electronic Programmed Read Only Memory) **Intel 1702**.

- Piégeage d'électrons dans le transistor, la charge est conservée et isolée par l'oxyde de silicium.





## L'ère des microprocesseurs (4me génération d'ordinateurs)

- **1968 :** Robert Noyce et Gordon Moore quittent la Fairchild pour fonder Intel avec chacun un investissement de 250 000 $.

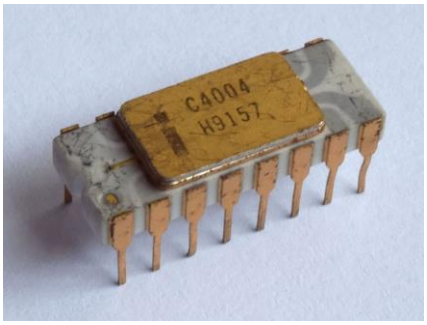
- **1969 :** La société AMD est créée par W.J. Sanders III de Fairchild et sept autres personnes pour entrer en compétition avec Intel sur le marché des microprocesseurs.

- **Un microprocesseur contient l'unité de calcul, l'unité de contrôle, des registres, du cache… Il traite l'information.**



## Premiers microprocesseurs

- **1971 :** Lancement du microprocesseur Intel 4004 (processeur 4 bits).
- Le Intel 4004 tournait à la vitesse de 108 KHz, soit 0,06 MIPS (million d'instructions par seconde).
- Utilisation dans les calculatrices de la firme japonaise **Busicom**, puis rapidement d'autres appareils électroniques.






## Premiers microordinateurs

- **1976 :** Apple est créée le 1er avril 1976 à Los Altos en Californie par Steve Jobs, Steve Wozniak et Ronald Wayne, puis constituée sous forme de société le 3 janvier 1977 à l'origine sous le nom d'Apple Computer. Sortie de l'Apple I.
- L 'Apple I n'était livré ni avec un clavier ni avec un écran… Il s'agissait d'une carte mère pour laquelle les utilisateurs devaient se procurer séparément une alimentation, un clavier et un téléviseur comme moniteur.



## Premiers micro-ordinateurs

- **1977 : sortie de l'Apple II**

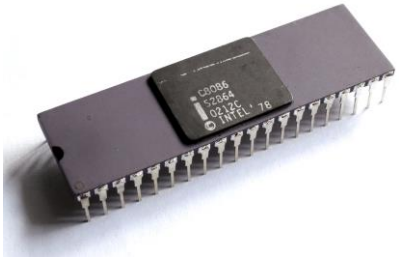
- Processeur MOS Technology 6502 8 bits à 1 MHz,
- 4 Ko de RAM extensible
- Affichage couleur (280x192 en 6 couleurs et 40x48 en 16 couleurs),
- Son via un haut-parleur interne
- 8 slots d'extension pour des périphériques.





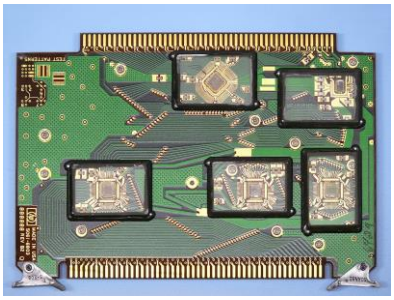
## Premier microprocesseur 16 bits

- C'est le 8 juin **1978**, **qu'Intel** lance le premier microprocesseur à 16 bits, le **8086** à 4,77 MHz (0,33 MIPS) , et 8MHz (0,66 MIPS) ou 10 MHz (0,75 MIPS), qui deviendra, à l'époque, un standard de l'industrie. Il comprenait 29 000 transistors de 3 microns soit six fois plus que le 8080.



## Premiers microprocesseurs 32 bits

- Dès 1980, le Motorola 68000 est considéré comme un processeur à architecture interne 32 bits mais avec un bus externe de 16 bits et un bus d'adressage 24 bits.
- Le premier processeur totalement 32 bits (c'est-à-dire avec bus de données et bus d'adresses internes et externes, ainsi qu'un jeu d'instructions, tous en 32 bits) est le **Focus**, lancé par Hewlett-Packard en **1982**.





## ZX81

- Mars 1981
- Le ZX81 est le premier micro-ordinateur à moins de 100 $. Il utilise l'écran du poste de télévision.
- Ordinateur personnel 8 bits, conçu par Sinclair Research et commercialisé par Timex Corporation. Le boîtier est noir avec un clavier à membrane ; l'apparence singulière de la machine vient du travail du designer industriel Rick Dickinson.
- Affichage monochrome
- Mémoire : 1 ou 2 ko (64 ko max., 56 ko utilisable)
- Stockage sur cassette externe



## L'IBM PC

- **1981 :** IBM, sentant Apple devant elle dans un nouveau marché, annonce en août 1981, qu'il se lance sur le marché du micro-ordinateur avec le concept d'ordinateur personnel qui prend la forme du **IBM PC**.
- Microprocesseur Intel 8088 à 8 bits (bus de données) - 16 bits (registres) et 4,77 MHz. Il avait 16 Ko de mémoire vive, extensible à 64 Ko , un seul lecteur de disquettes simple face de 5,25 po d'une capacité de stockage de 160 Ko. Il était doté d'un écran monochrome vert de 12 po. Il était vendu à 2 880 $.





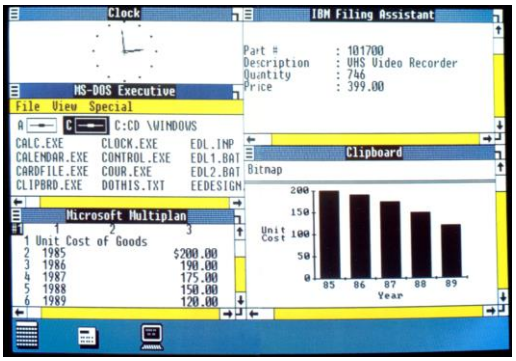

## Apple lance le Macintosh

- **1984**
- C'est l'ordinateur convivial par excellence : son utilisation est très simple grâce à la souris et à la qualité de ses graphismes. Il devient au fil des années et des versions, l'autre grand standard (avec le PC d'IBM) du monde de la micro-informatique



## Microsoft lance Windows 1.0

- **1985**
- Une interface graphique rudimentaire venant se greffer sur MS-DOS. L'expérience utilisateur reste limitée mais marque le début de la domination de Microsoft dans l'informatique personnelle.






## Les années 90

- **1991 :** Lancement du système Linux par Linus Torvalds, système libre inspiré de UNIX (1969). Il connaîtra un succès grandissant dans les serveurs et systèmes embarqués.
- **1993 :** Intel introduit le Pentium, remplaçant la série 80486. Il utilise une architecture superscalaire permettant l'exécution de plusieurs instructions par cycle.
- **1995 :** Windows 95 est lancé, avec une interface utilisateur modernisée, le menu « démarrer » et le support du plug-and-play. Il est couplé aux processeurs Pentium.
- Une architecture superscalaire est une architecture de processeur capable d'exécuter plusieurs instructions par cycle d'horloge grâce à la présence de plusieurs unités de traitement travaillant en parallèle.

## Les années 2000

- **2000 :** Lancement de Windows 2000, puis XP en 2001, très stables et largement utilisés en entreprise comme à domicile.
- **2006 :** Apple abandonne les processeurs PowerPC (consortium IBM, Motorola, Apple) pour adopter l'architecture Intel x86, un changement majeur dans la stratégie matérielle de la firme.
- **2008 :** Introduction du premier processeur Intel Core i7, marquant l'avènement des architectures multicœurs grand public.



## Les années 2010

- **2010 :** Prolifération des SSD (Solid State Drives), qui remplacent progressivement les disques durs mécaniques pour le stockage système, grâce à leur rapidité.
- **2012 :** Introduction de Windows 8, avec une interface tactile controversée. Microsoft vise la convergence PC/tablette.
- **2015 :** Windows 10 succède à Windows 8, avec un retour à une interface plus classique et des mises à jour continues.

# Les années 2020

- **2020 :** Apple annonce sa transition vers ses propres processeurs ARM (Advanced RISC Machine), les Apple Silicon M1, mettant fin à 15 ans de collaboration avec Intel. Ces puces offrent une excellente performance par watt.
  ARM n'est pas un fabricant de puces, mais une entreprise britannique (**Arm Ltd.**) qui **conçoit et licencie** l'architecture et les cœurs de processeurs à d'autres fabricants.
  **RISC** (*Reduced Instruction Set Computing*)
- **2021 :** Sortie de Windows 11.
- **2020–2024 :** montée en puissance des processeurs hybrides (x86 big.LITTLE) chez Intel (séries Alder Lake et Raptor Lake), mêlant cœurs haute performance et cœurs basse consommation.
- **2022–2025 :** démocratisation des GPU pour l'intelligence artificielle, avec des cartes graphiques NVIDIA RTX ou AMD Radeon utilisées pour le calcul parallèle, notamment dans l'IA générative.