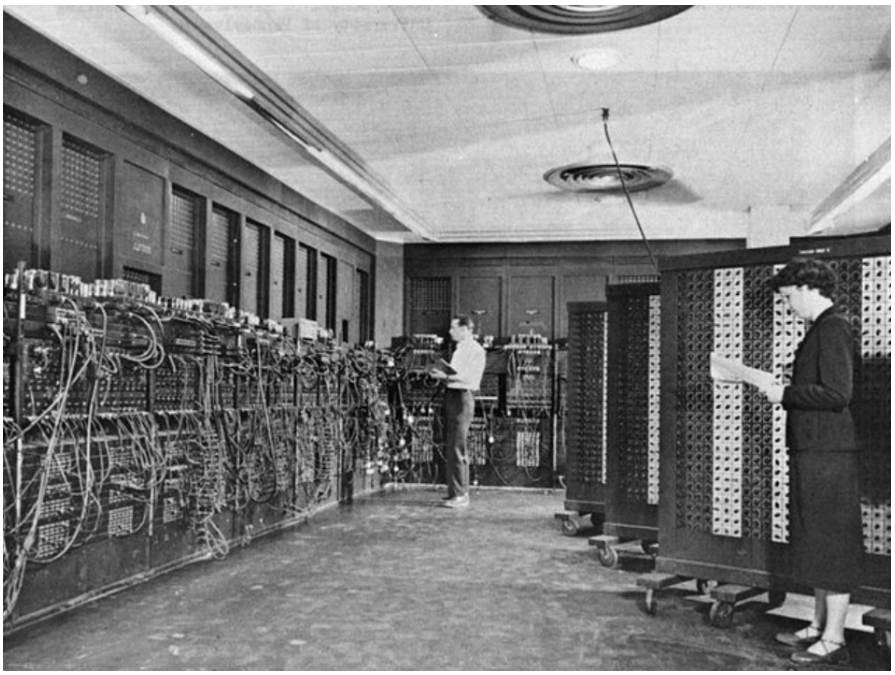
16.1 Des tubes électroniques au téléphone portable

NSI terminale - JB Duthoit

16.1.1 Un des premiers ordinateurs



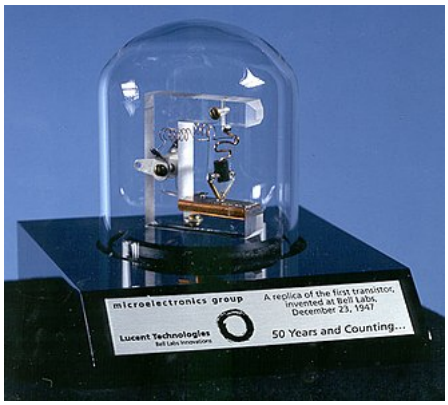
L'ENIAC, 1945

Le premier ordinateur entièrement électronique capable, en principe, de résoudre tous les problèmes calculatoires par la saisie d'un programme informatique est l'ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Computer) construit en 1945.

Son poids est de 30 tonnes et il occupe la surface d'une maison individuelle ! Sa consommation est de 150 kW, soit l'équivalent de 100 bouilloires électriques branchées simultanément ! Il faudrait la puissance électrique disponible dans une vingtaine de maisons individuelles pour l'alimenter.

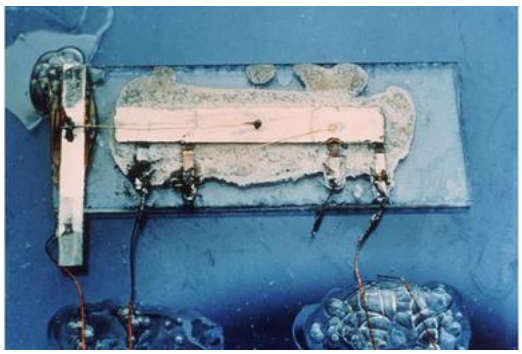
16.1.2 Les premières cartes numériques

La numérisation de l'information, l'essor de la logique fondée sur une représentation avec deux états différents : vrai / faux, ouvert / fermé, oui / non, 1 / 0, ont tout d'abord été réalisés avec des systèmes électromécaniques puis avec des tubes électroniques ou « lampes ».



Le premier transistor en 1947

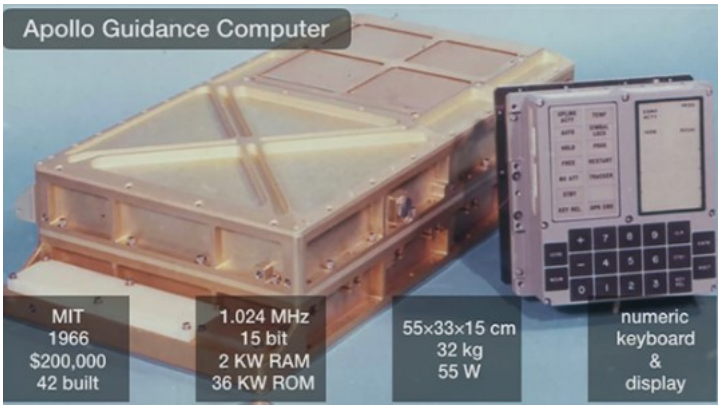
Ces technologies ont été supplantées par l'invention du transistor à semi- conducteur en 1947, puis par l'implantation de quelques transistors dans un seul circuit appelé « intégré » en 1958.



Le premier circuit intégré en 1958

16.1.3 Le calculateur AGC des missions Apollo

Le calculateur de navigation du programme Apollo ou Apollo Guidance Computer : un calculateur complet réalisé uniquement avec des portes NOR à 3 entrées.
Le programme Apollo a contribué à l'essor de l'informatique : le développement des programmes de navigation et de pilotage des vaisseaux Apollo voit apparaître la scission entre matériel et logiciel. Les méthodes de programmation et de test sont également en partie nées des exigences de fiabilité et de la complexité des logiciels développés pour le programme.
Enfin, le projet lance l'utilisation des circuits intégrés, qui ont fait leur apparition en 1961. La NASA achète au début du programme 60 % de la production mondiale pour les besoins des ordinateurs des vaisseaux Apollo2

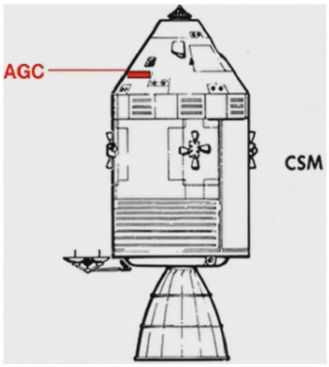


Le premier circuit intégré en 1958

Ce calculateur réalisé uniquement en circuits câblés démarre en 1ms ! La mémoire est réalisée en tores de ferrite entièrement connectées à la main par des ouvrières du textile. Le système d'exploitation pouvait exécuter six tâches simultanément et gérer l'éjection de tâches moins prioritaires s'il était surchargé. L'AGC a été élaboré sous la supervision de l'équipe de Margaret Hamilton.

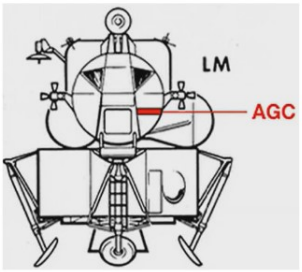


Margaret Hamilton se tenant auprès du code du logiciel de navigation qu'elle et son équipe du MIT Draper Lab ont produit pour le programme Apollo (en 1969).



Module de commande





Le module lunaire

16.1.4 Augmentation de l'intégration avec les Unité Arithmétique et Logique (UAL)

Une étape de plus dans la course à la miniaturisation est visible dans l'intégration des UAL. L'UAL réalisée de manière "câblée", ici de manière définitive, est implantée directement dans le silicium de la puce. Ce circuit au cœur des calculs des cartes de commandes logiques réalise sur commande un panel d'opérations logiques ou arithmétiques. Nous retrouvons dans les cartes

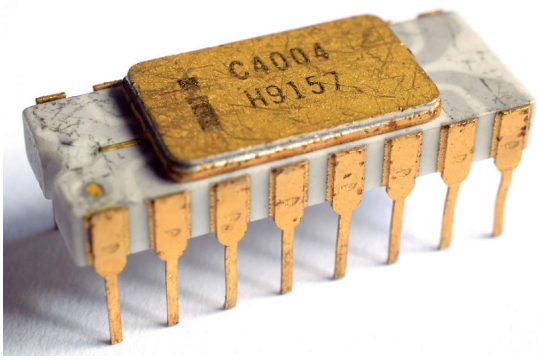
construites autour de ces UAL l'esprit de l'AGC vu plus haut, mais avec une intégration plus complète

16.1.5 Le calcul électronique

Dans les années 1960, c'est l'apparition du calcul électronique. Celui-ci, réalisé pour la première fois à grande échelle avec les premiers circuits intégrés à l'image de ceux utilisés par la NASA, est capable d'exécuter un programme codé en binaire dans une mémoire morte dédiée. C'est un premier pas vers les circuits d'aujourd'hui toujours plus intégrés, de plus en plus complexes.
L'intégration de plus en plus grande des fonctions à l'intérieur de puces de plus en plus miniaturisées met le logiciel au premier plan. Mais il faut garder à l'esprit que les instructions des programmes, obtenues à partir d'un langage évolué, une fois chargées à l'intérieur du circuit puis décodées, sont exécutées par des opérateurs logiques gravés sur le silicium de la « puce »

16.1.6 Le premier microprocesseur : le 4004

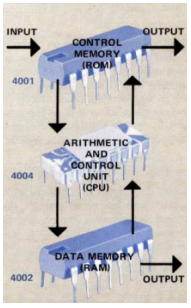
Le premier microprocesseur commercialisé est apparu en 1971 : c'est le 4004 d'Intel.



L'Intel 4004

Il intègre dans une seule puce 2300 transistors ce qui lui donne une puissance de calcul comparable à l'ENIAC!!

Malgré une intégration plus grande, le 4004 ne peut fonctionner seul. Il est associé au minimum à un circuit contenant le programme en mémoire morte, le 4001 une ROM, et à un circuit assurant la mémoire vive pour stocker les données fugitives non permanentes ainsi qu'une interface vers d'autres éléments, le 4002.
Le sigle ROM signifie Read Only Memory. Cette mémoire ne peut pas être programmée par l'utilisateur. Il est donc impossible d'en fixer le contenu interne, donc d'y mettre son code programme. Celui-ci ne peut qu'être implanté au moment de la fabrication du circuit. La souplesse ne viendra qu'avec l'évolution des technologies

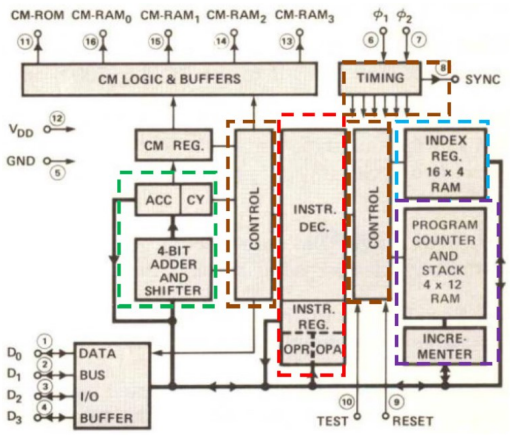


Le résumé de ses performances est indiqué dans la documentation technique. Citons :

- microprocesseur 4 bits ;
- un jeu de 45 instructions différentes ;
- calcul en binaire et en décimal ;
- additionne deux nombres de 8 chiffres en 850 micro-secondes ;
- un temps de cycle de 10,8 micro-secondes

Le 4004 est encore « à échelle humaine ». Nous pouvons donc y retrouver les principaux constituants des microprocesseurs :

- un décodeur d'instruction ;
- une UAL ;
- des registres de mémoires vives ;
- un compteur de programme Program Counter ou PC ;
- la gestion des horloges internes le contrôle du séquencement des opérations.



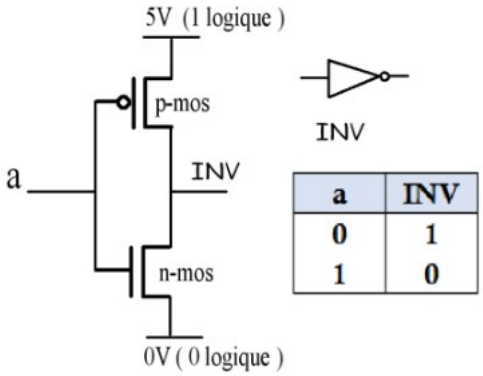
L'Intel 4004

Le **décodeur d'instruction** (en rouge) : celui-ci analyse le code de l'opération lu dans la mémoire ROM du programme. Ce code binaire après analyse permet de piloter le fonctionnement de la puce pour exécuter l'instruction.
L'UAL (en vert) : déjà étudiée réalise les opérations logiques et arithmétiques prévues par le jeu d'instruction du 4004.
Les **registres de mémoires vives** (en bleu) : ils stockent les résultats des calculs intermédiaires sans les stocker en mémoire externe, donc plus rapidement.
Le **compteur de programme** (en violet) : il indique quelle instruction du programme est à exécuter. Il indique donc une adresse dans la mémoire programme.
Le **contrôle** (en marron) : il gère le bon ordonnancement des opérations à partir des cycles des signaux d'horloge

16.1.7 La course à la miniaturisation

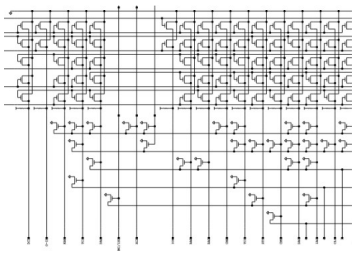
1971 : les microprocesseurs sont nés. Commence alors une course à l'intégration : concevoir et fabriquer des circuits de plus en plus petits contenant de plus en plus de transistors. Cette course est toujours d'actualité aujourd'hui et n'est rendue possible que par la conception assistée par ordinateur. L'heure n'est plus où l'ingénieur rectifiait « à la main » sur son logiciel de CAO la géométrie des transistors de ces circuits.

Du transistor aux portes logiques L'assemblage de ces transistors permet de réaliser les premières portes intégrées. La réalisation de l'inverseur est très simple puisqu'elle ne met en œuvre que deux transistors.



a	INV
0	1
1	0

Une vision très partielle du schéma6 interne du microprocesseur 4004 est visible sur la figure de droite. Ce microprocesseur contient en fait 2300 transistors. Son schéma tient sur trois pages. Conçu avec un logiciel de CAO approprié, le concepteur peut encore travailler la conception en direct en agissant directement sur les tracés de la métallurgie des transistors



Ce n'est plus possible actuellement : sur les données de 2008, le processeur PENRYN contient 820 millions de transistors. Sur la base des éléments du 4004, son schéma interne est de l'ordre de 1 million de pages si l'on représente le tracé élémentaire de chaque transistor.

	Date	Horloge (kHz)	Alim(v)	Taille transistor (nm)	Nombre transistors	Boitier (pattes)
4004	1971	108	15	10 000	2 300	16
PENRYN	2007	3 000 000	0.8	45	820 000 000	603

1 m = 1 000 mm = 1 000 000 µm = 1 000 000 000 nm

Comparaison de deux microprocesseurs Intel

L'histoire des microprocesseurs est intimement liée à celle de la technologie des semiconducteurs et à l'intégration toujours de plus en plus poussée de ceux-ci dans les circuits, dont voici les principales étapes :

Nom	Signification	Année de sortie	Nombre de transistors	Nombre de portes logiques par boitier
SSI	small-scale integration	1964	1 à 10	1 à 12
MSI	medium-scale integration	1968	10 à 500	13 à 99
LSI	large-scale integration	1971	500 à 20 000	100 à 9 999
VLSI	very large-scale integration	1980	20 000 à 1 000 000	10 000 à 99 999
ULSI	ultra large-scale integration	1984	1 000 000 et plus	100 000 et plus

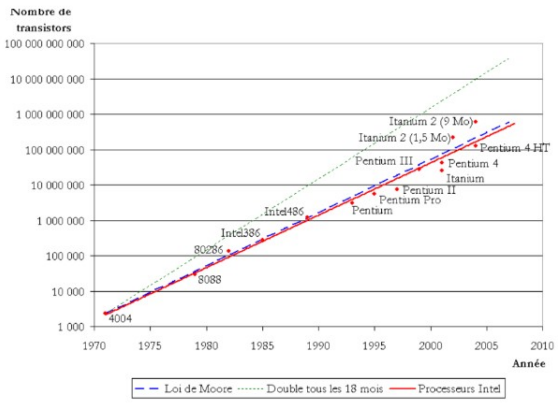
Histoire des microprocesseurs

Vidéo : principe de fabrication des microprocesseurs



https://www.youtube.com/watch?v=NFr-WyytNfo

En 1975, Gordon E. Moore, cofondateur de la société Intel, énonça la conjecture suivante :
Dans les microprocesseurs, le nombre de transistors va doubler tous les 2 ans ! Cette prédiction, que l'on appelle **loi de Moore** s'est révélée incroyablement juste!!



Nous pouvons citer quelques limites à une intégration toujours plus poussée. Tout d'abord, aux plus fortes intégrations, on approche des limites des dimensions des atomes. Ensuite, plus les transistors sont nombreux plus la dissipation thermique est importante, voire rédhibitoire. Un autre grand facteur de limitation vers le chemin d'une intégration toujours plus poussée est le coût de l'outil de production. De plus en plus élevé, il n'est accessible qu'à quelques fondeurs sur la planète.

Les microprocesseurs envahissent notre vie quotidienne. Nous pensons tout d'abord à ceux présents dans les ordinateurs qui deviennent progressivement des ordinateurs personnels à la fin des années 1970.



Une autre évolution, bien plus importante mais moins visible, est celle des systèmes embarqués ou enfouis. Tous les objets du quotidien sont progressivement pilotés par des puces. La course à l'intégration prend alors une autre direction : celle de mettre le microprocesseur et tous les circuits périphériques qui lui permettent d'accéder au monde extérieur dans une seule puce. C'est l'heure des microcontrôleurs.