

Composants intégrés d'un système sur puce

Fiche de synthèse

① LE CIRCUIT INTÉGRÉ

Définition 1 (Circuit intégré) Un **circuit intégré**, ou puce électronique, regroupe des milliers à des milliards de composants électroniques, surtout des transistors, sur une plaquette de silicium de quelques millimètres carrés.

- Jack Kilby invente le premier circuit intégré en 1958, chez Texas Instruments.
- La **finesse de gravure** , en nanomètres, est la taille des plus petits transistors : plus elle est faible, plus la puce contient de transistors. Elle est passée de 10 μm en 1971 à 3 nm aujourd'hui.
- La **loi de Moore** (1965) constate que le nombre de transistors d'une puce double environ tous les deux ans. C'est une loi empirique, issue de l'observation, non une loi physique : elle se heurte aujourd'hui aux limites de la matière à l'échelle atomique.

De l'Intel 4004 (1971, 2 300 transistors) à l'Apple M4 (2024, 28 milliards), le nombre de transistors a été multiplié par plus de dix millions.

② TROIS NIVEAUX D'INTÉGRATION

	CPU	MCU	SoC
Processeur	oui	oui	oui
Mémoire	non	oui	oui
Entrées et sorties	non	oui	oui
GPU, radio, capteurs	non	non	oui
Consommation	élevée	faible	faible

Définition 2 (Microprocesseur) Un **microprocesseur** (CPU) contient le cœur de calcul d'un ordinateur : l'**unité arithmétique et logique** (UAL), qui calcule, l'**unité de contrôle**, qui dirige l'exécution des instructions, et des registres. Il a besoin d'une mémoire et de circuits d'entrée et de sortie extérieurs, reliés par la carte mère.

Ses caractéristiques : son **jeu d'instructions**, ensemble des opérations élémentaires qu'il exécute ; la **largeur du bus de données**, nombre de bits traités à la fois, 64 aujourd'hui ; sa **fréquence d'horloge**, 3 GHz pour trois milliards de cycles par seconde ; son **nombre de cœurs**, qui calculent en parallèle. Exemples : Intel Core, AMD Ryzen.

Définition 3 (Microcontrôleur) Un **microcontrôleur** (MCU) rassemble sur une puce un processeur peu puissant, de la mémoire (RAM pour les données, mémoire Flash pour le programme) et des périphériques d'entrée et de sortie : c'est un petit ordinateur autonome, dédié à une tâche.

On le trouve dans une machine à laver, le système ABS d'une voiture, une télécommande ou une carte Arduino.

Définition 4 (Système sur puce) Un **système sur puce** (SoC) intègre sur une seule puce un ou plusieurs processeurs, un processeur graphique (GPU), de la mémoire, des contrôleurs de communication (Wi-Fi, Bluetooth, 4G ou 5G) et des coprocesseurs spécialisés, par exemple pour l'intelligence artificielle.

Le SoC équipe les smartphones, les tablettes et les montres connectées : Apple M4, Snapdragon.

③ AVANTAGES ET LIMITES DE L'INTÉGRATION

- **Vitesse** : les composants sont à quelques millimètres les uns des autres, au lieu de plusieurs centimètres de pistes sur une carte mère ; les signaux arrivent plus vite et la **latence** diminue.
- **Consommation** : des connexions courtes demandent moins d'énergie, ce qui est essentiel pour un appareil sur batterie.
- **Dissipation thermique** : des milliards de transistors actifs sur quelques millimètres carrés produisent une chaleur difficile à évacuer.
- **Coût de conception** : plusieurs milliards de dollars et des années de développement.
- **Non-évolutivité** : on ne peut remplacer aucun composant seul ; il faut changer la puce entière, voire l'appareil.
- **Limites physiques** : à quelques nanomètres, des effets quantiques comme l'effet tunnel perturbent les transistors.

④ SYSTÈMES EMBARQUÉS

Définition 5 (Système embarqué) Un **système embarqué** est un système informatique autonome, intégré dans l'appareil qu'il contrôle et dédié à une tâche précise.

- Ses **ressources sont limitées** : mémoire, puissance de calcul, taille, énergie.

- Sa **fonction est spécialisée** : freinage ABS, régulation d'un thermostat, pilote automatique.
- Il doit être **fiable**, souvent en **temps réel** : un système de freinage réagit en quelques millisecondes.
- Son logiciel, le **micrologiciel** (*firmware*), est enregistré dans une mémoire non volatile et s'exécute dès la mise sous tension.

Il repose sur un microcontrôleur pour les systèmes simples et économes, sur un SoC pour les systèmes complexes comme un smartphone ou un drone.

À retenir.

- La loi de Moore décrit le doublement du nombre de transistors environ tous les deux ans.
- Le CPU contient l'UAL, l'unité de contrôle et les registres; le MCU y ajoute mémoire et entrées et sorties; le SoC y ajoute GPU, communications et co-processeurs.
- L'intégration apporte vitesse et faible consommation, au prix de la chaleur et de la non-évolutivité.
- Un système embarqué exécute une tâche spécialisée avec des ressources limitées, souvent en temps réel.