

Chapitre I : L'électronique

Les applications de l'électronique sont riches et variées : commande industrielle, robotique, télécom, biomédicale, énergie, informatique, etc. Ainsi, à l'intérieur de ce cours, nous présenterons la notion d'électronique et nous parlerons brièvement de la théorie des semi-conducteurs ainsi que des jonctions PN. Puis nous étudierons les principaux composants électroniques (Diodes, Transistors, Amplificateurs Opérationnels) en analysant leur principe de fonctionnement, leurs caractéristiques essentielles et leurs applications typiques. En fin nous examinerons quelques montages de base utilisés dans les chaînes industrielles.

I.1 Définition de l'électronique

La commission de l'électrotechnique internationale (CEI) définit l'électronique comme : La partie de la science et de la technique qui étudie les phénomènes de conduction dans le vide, dans les gaz ou dans les semi-conducteurs et qui utilise les dispositifs basés sur ces phénomènes.

Par extension, nous pouvons dire que l'électronique est l'ensemble des techniques qui utilisent des signaux électriques pour capter, transmettre et exploiter une information. Ici on entend par information, une grandeur électrique (courant ou tension) transportant un flux d'énergie continue ou discret, codé ou non et susceptible d'être traité et interprété par un circuit électronique spécial.

Une exception est l'électronique de puissance utilisée pour la conversion électrique-électrique de l'énergie.

I.2 Domaines d'application

Le champ d'application des dispositifs électroniques est vaste. Nous pouvons citer entre autres :

Télécommunications	Télégraphie, téléphonie, Transmission de données, Radiodiffusion, télévision, Télémessure, télécommande.
Systemes de détection	Radar, sonar, télédétection.
Electroacoustique	Enregistrement et reproduction des sons.
Traitement de l'information	Ordinateurs, calculatrices, périphériques.
Electronique industrielle	Commandes et réglages automatiques installations de surveillance.
Instruments de mesures	Equipements industriels, Equipements scientifiques
Machines de bureau	Ordinateur, fax, ...

Electronique biomédicale	Pace Maker, prothèses, automate de biochimie, électrocardiographe, incubateur.
Horlogerie électronique	Horloge atomique, montres, ...
Electroménager	Téléviseur, machine à laver,...

I.3 Technologies électroniques

Deux technologies électroniques cohabitent : l'analogique et le numérique ou technologie digitale. Le numérique est plus récent, son développement est principalement dû aux ordinateurs et il prend de plus en plus de "parts de marché" de l'analogique. Cependant, l'analogique n'est pas du tout en déclin parce qu'il y a des domaines dans lesquels elle est irremplaçable, notamment en hautes fréquences. Des progrès importants sont faits dans la réalisation de circuits intégrés analogiques qui ouvrent de nouveaux champs d'applications hors de portée auparavant figure (I.1).

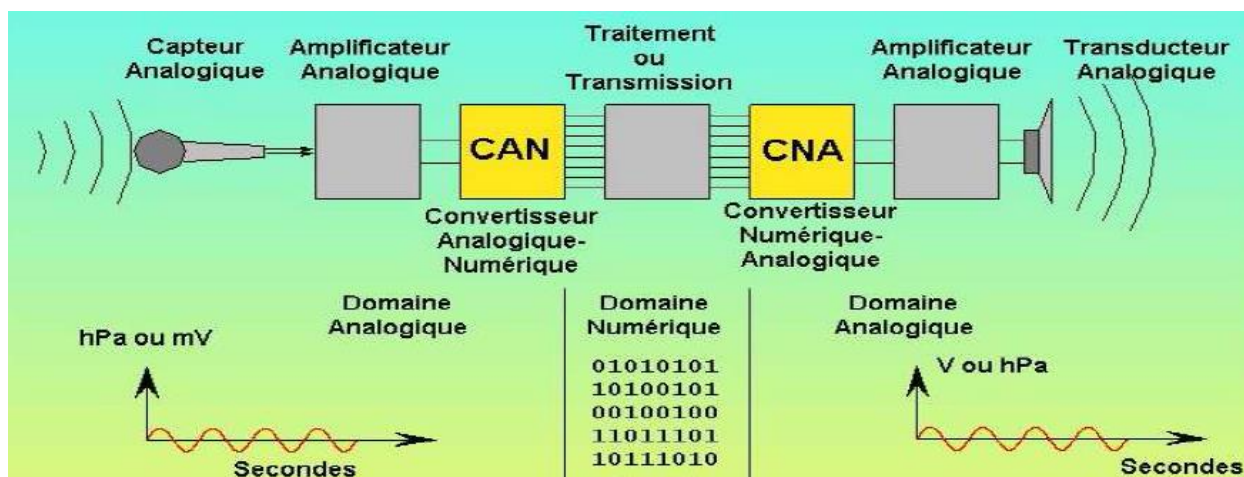


Figure I.1 : Chaîne de traitement numérique.

I.3.1 Electronique analogique

La grandeur électrique ou signal varie de façon **analogue** à la grandeur physique qu'elle décrit avec la continuité du signal. La plupart des capteurs transforment une grandeur physique (température, pression...) en grandeur électrique. De même, le microphone transforme la pression acoustique en grandeur électrique proportionnelle. Ainsi une grandeur analogique peut prendre toutes les valeurs en variant graduellement entre deux limites, On pourrait prétendre que l'électronique digitale est contre nature puisque toutes les grandeurs physiques de notre monde sont analogiques. On entend par analogique qu'elles sont continues, elles varient dans le temps mais sans discontinuité.

❖ Exemples :

- 1) **Exemple 01** : Une automobile peut avoir une vitesse variant entre 0 et 220km/h.

- 1) **Exemple 02 :** La température au cours d'une journée évolue graduellement. Quand le soleil se lève la température augmente, de manière continue, on ne passe pas de 12°C à 25°C en une μ s.

Les systèmes analogiques regroupent donc les montages utilisés pour le contrôle ou pour le réglage de sorte que les composants utilisés fonctionnent de manière linéaire, sans discontinuité.

L'électronique analogique nécessite la maîtrise des lois suivantes :

- Loi d'Ohm ;
- Lois de Kirchhoff ;
- Théorème de superposition ;
- Théorème de Thévenin ;
- Théorèmes de Norton.

I.3.1.1 Composants passifs

Un composant est dit passif lorsqu'il ne permet pas d'augmenter la puissance d'un signal. Généralement, les composants passifs réduisent la puissance en sortie par effet Joule.

- **Résistance :** La résistance (Résistor) est l'élément le plus simple, très utilisé en électronique. C'est un composant dit passif, il conduit l'électricité avec un effet résistif. La principale caractéristique d'une résistance est d'opposer la circulation du courant électrique. Il est bidirectionnel, il n'y a pas de sens obligatoire du passage du courant. La figure I.2 montre les formes et les types des résistances et leurs symboles respectifs.

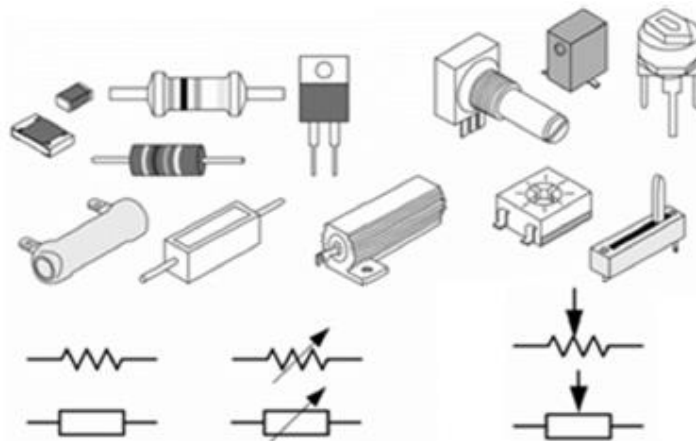


Figure I.2 : Différentes résistances avec leurs symboles.

- **Condensateur :** Les condensateurs appartiennent à la famille des composants passifs et sont utilisés dans tous les domaines de l'électronique. Ils permettent d'emmagasiner une charge électrique aux bornes de deux électrodes séparées par un isolant appelé diélectrique. Leurs performances électriques dépendent de la nature du diélectrique et de la structure électrode-isolant-électrode. Ils sont classés en trois grandes familles :

- 1) Condensateurs céramiques ;
- 2) Condensateurs électrochimiques ;
- 3) Condensateurs à film plastique.

Les condensateurs sont utilisés principalement pour :

- 1) Stabiliser une alimentation électrique (se décharge lors des chutes de tension et se charge lors des pics) ;
- 2) Filtrer des signaux périodiques ;
- 3) Séparer le courant alternatif du courant continu.

La figure I.3 présente Quelques types de condensateurs.

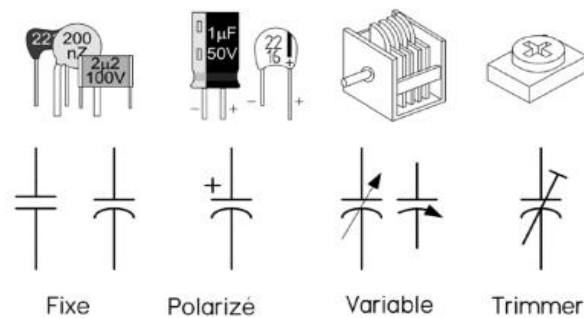


Figure I.3 : Différentes types de condensateurs.

➤ **Bobine :** Une bobine, solénoïde, auto-inductance ou quelquefois self (Anglais), est un composant constitué d'un enroulement de fil conducteur autour d'un noyau en matériau ferromagnétique, qui peut être un assemblage de feuilles de tôle ou un bloc de ferrite. La propriété caractéristique de la bobine est son opposition à la variation du courant dans ses spires. On trouve des bobines, souvent en combinaison avec d'autres composants électroniques, dans une grande variété de dispositifs :

- 1) Pour créer une impulsion de haute tension (exemple : bobine d'allumage dans les voitures).
- 2) Pour leurs propriétés électromagnétiques (exemple : électroaimants).
- 3) Pour le filtrage d'un signal électrique ou d'une tension d'alimentation.

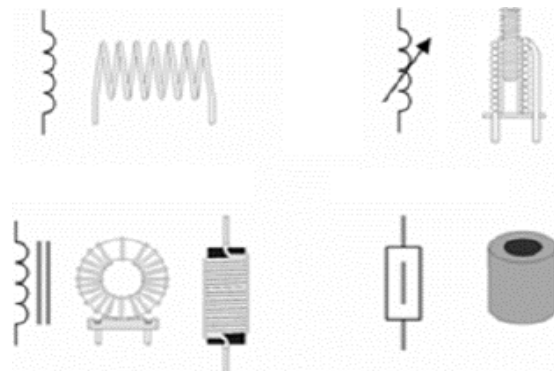


Figure I.4 : Formes et symboles des bobines.

- **Transformateur électrique :** Un transformateur de base est un dispositif à deux ports (quatre bornes) capable de transformer une tension d'entrée alternative en une tension de sortie alternative supérieure ou inférieure. Les transformateurs ne sont pas conçus pour augmenter ou diminuer les tensions continues, car le mécanisme de conversion repose sur un champ magnétique variable généré par un courant variable. Une représentation simpliste d'un transformateur est illustrée par la figure I.5, avec son symbole schématique. Un transformateur typique consiste en deux bobines de fil isolées qui partagent un noyau en fer laminé. L'une des bobines est appelée primaire (contenant les spires N_P), tandis que l'autre bobine est appelée secondaire (contenant les spires N_S). La tension aux bornes du bobinage secondaire peut être calculée par l'expression suivante : Ainsi, si le nombre de tours dans la bobine primaire est supérieur au nombre de tours dans la bobine secondaire, la tension secondaire sera inférieure à la tension primaire, et inversement.

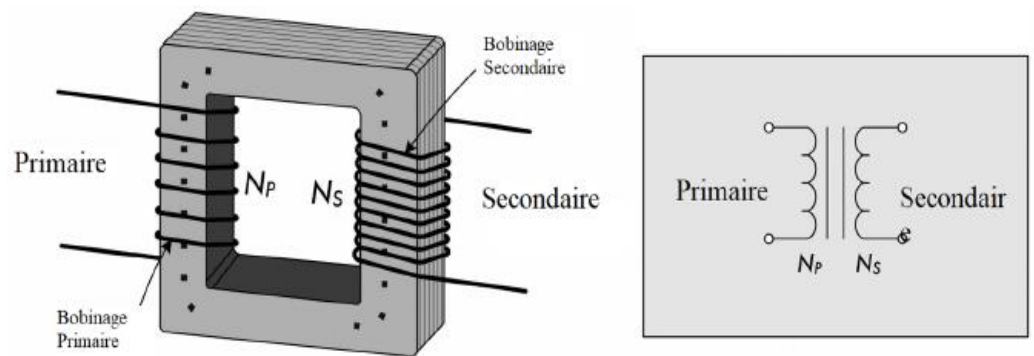


Figure I.5 : Transformateur de base avec un noyau en fer.

I.3.1.2 Composants actifs

Un composant actif est un composant électronique qui permet d'augmenter la puissance d'un signal (tension, courant, ou les deux). La puissance supplémentaire est récupérée au travers d'une alimentation. On peut citer : diode, transistor, et circuit intégré. Les composants actifs sont construits à base de semi-conducteurs. Par définition, un semi-conducteur est un matériau qui a les caractéristiques électriques d'un isolant, mais pour lequel la probabilité qu'un électron puisse contribuer à un courant électrique, quoique faible, est suffisamment importante. En d'autres termes, la conductivité électrique d'un semi-conducteur est intermédiaire entre celle des métaux et celle des isolants.

- **Diode :** Une diode n'est rien d'autre que la juxtaposition de deux jonctions fabriquées à base de silicium ou bien de germanium dont l'un est de type N et l'autre de type P, ses deux bornes sont appelées respectivement **anode** et **cathode** (voir figure I.6). L'anode correspond au semi-conducteur dopé P de charges positives (trous), alors que la cathode correspond au semi-conducteur dopé N de charges négatives (électrons).

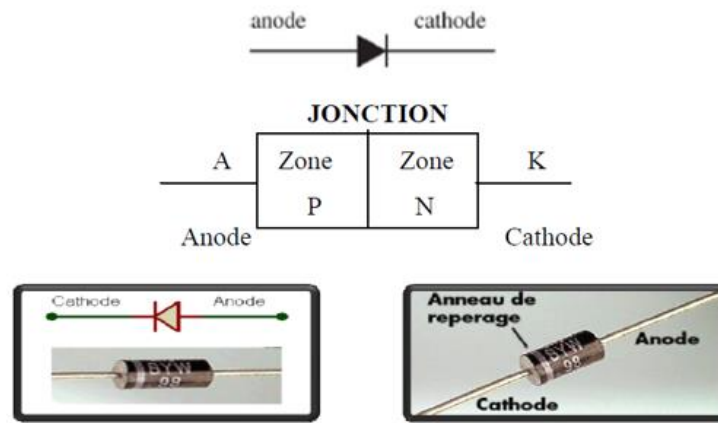


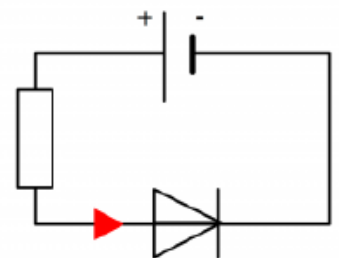
Figure I.6 : Diode à jonction PN.

Le fonctionnement macroscopique de la diode est celui d'un interrupteur commandé par une tension (V_d) qui ne laisse passer le courant électrique que dans un seul sens. Lorsque la tension de l'anode d'une diode est plus positive que la cathode, le courant passe dans la diode. Cependant, si les polarités sont inversées (polarisation inversée), la diode bloque le flux de courant. Lorsqu'une diode laisse passer le courant électrique on dit qu'elle est branchée dans le sens passant tandis que si elle l'empêche de passer on dit qu'elle est dans le sens bloquant ou non passant. Pour savoir si une diode est dans le sens passant ou bloquant il suffit de comparer le sens dans lequel pointe le triangle qui fait partie de son symbole à celui du courant que peut produire le générateur :

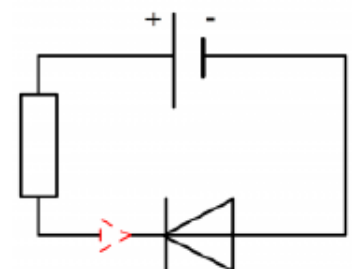
- 1) Si les deux sont dans le même sens la diode est dans le sens passant ;
- 2) Si les deux sont dans des sens différents la diode est dans le sens bloquant.

❖ **Exemples :**

Exemple 01 : Diode branchée dans le sens passant.



Exemple 02 : Diode branchée dans le sens bloquant.



Les diodes sont des dipôles fragiles qui ne doivent pas recevoir un courant trop fort. Elles ne doivent donc pas être utilisées seules. Pour les protéger on les associe souvent à une résistance branchée en série. Généralement les diodes sont utilisées pour :

- 1) Convertir les tensions alternatives en tensions et courants continus.
- 2) Les diodes sont également utilisées dans les circuits de limitation de tension et les circuits de régulation de tension.
- 3) Les circuits de redressement.
- 4) Les circuits de commutation ou pour les circuits logiques.
- 5) Les circuits qui permettent d'empêcher un signal ou circuits de limitation de dépasser une valeur choisie.

➤ **Transistor** : Le transistor (voir figure I.7) est un composant électronique qui est utilisé dans la plupart des circuits électroniques (circuits logiques, amplificateur, stabilisateur de tension, modulation de signal, etc.). Un transistor est un dispositif semi-conducteur à trois électrodes, qui permet de contrôler un courant ou une tension sur l'électrode de sortie qui est le collecteur pour le transistor bipolaire grâce à une électrode d'entrée qui est la base sur un transistor bipolaire. Le transistor bipolaire à jonction c'est un générateur de fort courant en sortie piloté par un faible courant en entrée. On dit qu'un transistor est passant lorsque son courant de collecteur est non nul, et on dit qu'un transistor est bloqué lorsque son courant de collecteur est nul.

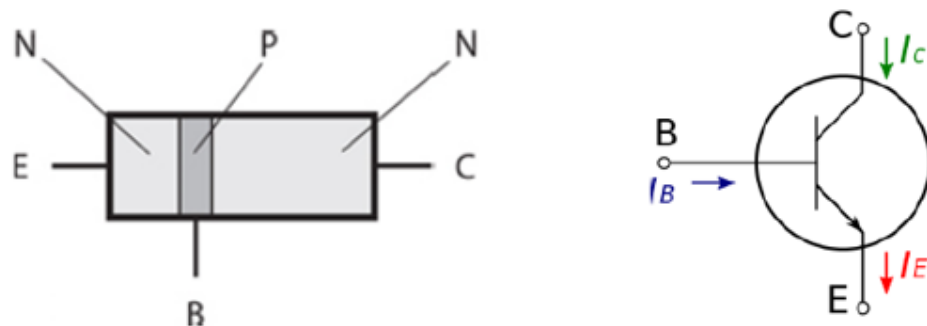


Figure I.7 : Transistor NPN. E = émetteur, B = base et C = collecteur.

Thyristor : Un thyristor possède une anode A et une cathode K ainsi qu'une gâchette G. Pour qu'un thyristor conduit (interrupteur fermé) : il faut que la tension $U_{AK} \geq 0$ (tension directe) et envoyer un courant i_G dans la gâchette pour amorcer le thyristor. Dès que ces deux conditions sont remplies, le thyristor conduit tant que le courant i qui circule dans le thyristor de l'anode vers la cathode reste positif. Les applications des thyristors sont très vastes et plus particulièrement en électronique industrielle. On les trouve également dans certains appareils électroménagers.

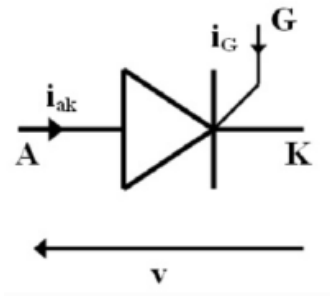


Figure I.8 : Représentation de base d'un Thyristor.

I.3.2 Electronique numérique

L'électronique numérique est un domaine scientifique s'intéressant aux systèmes électroniques dont les états parcourent un ensemble fini de possibilités. La grandeur électrique est traduite en une suite de nombres séparés par un intervalle de temps. L'impossibilité de décrire le signal par une suite de nombres infinie si l'intervalle de temps tend vers zéro a pour conséquence une discontinuité de la description du signal physique.

Dans l'électronique numérique, nous ne pourrions manipuler que des signaux qui prennent deux valeurs finies et bien connues. Ces valeurs symboliseront des états, comme l'état haut ou l'état bas, la porte ouverte ou fermée, le jour ou la nuit. Il y aura une forte discontinuité en ces deux valeurs. Ce type d'électronique est opposé à l'électronique analogique, qui, elle, traite des systèmes électroniques opérant sur des grandeurs (tension, courant, charge) variant de manière continue

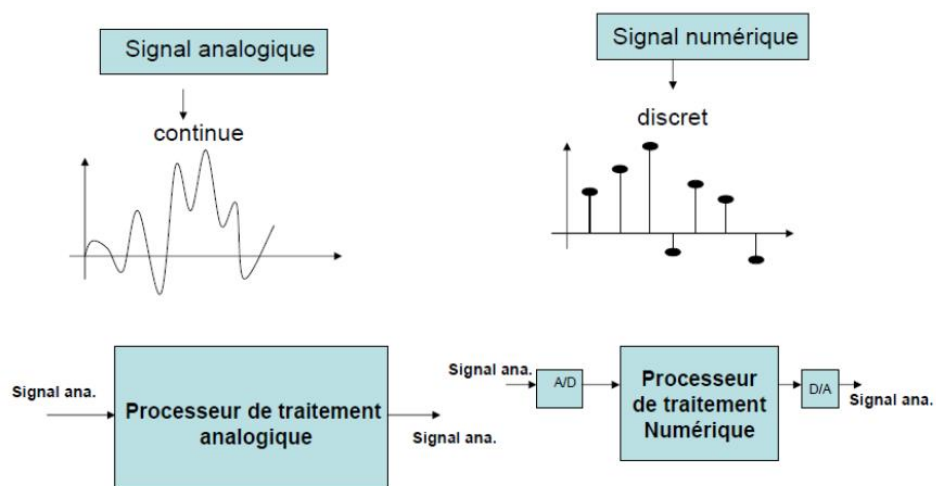


Figure I.9 : Représentations et traitement du signal.

I.3.2.1 Circuit intégré

Le circuit intégré (CI), aussi appelé puce électronique, est un composant électronique intégrant plusieurs types de composants électroniques de base dans un volume réduit. Un CI remplit une ou plusieurs fonctions électroniques. Il existe une très grande variété de CIs divisés en deux grandes

catégories : analogique et numérique. Les CI analogiques les plus simples peuvent être de simples transistors encapsulés. Les circuits intégrés numériques les plus simples sont des portes logiques, les plus complexes sont les microprocesseurs et les plus denses sont les mémoires. On trouve de nombreux CI dédiés à des applications spécifiques (ou ASIC pour Application-specific integrated circuit), notamment pour le traitement du signal (traitement d'image, compression vidéo, cryptographie...etc).

Les circuits intégrés se présentent généralement sous la forme de boîtiers pleins rectangulaires, noirs, équipés de « pins », permettant d'établir les connexions électriques avec l'extérieur du boîtier. Ces composants sont soudés sur un circuit imprimé. Il existe différents types de CI, le format le plus ancien est le Dual Inline Package (DIP), et les circuits miniaturisés dits de surface ou SMD pour "surface mount device", représentés sur la figure I.10.

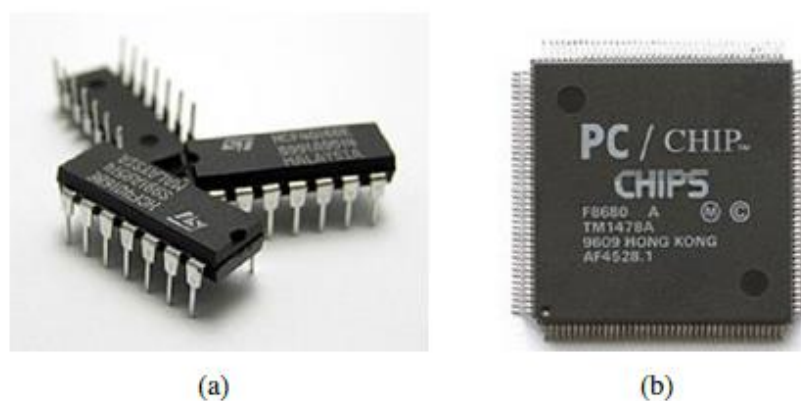


Figure I.10 : (a) Circuits intégrés boîtier DIP (Dual Inline Package) et (b) puce de surface SMD.

I.3.2.2 Mémoires électroniques

Les données numériques binaires (1 et 0) peuvent être stockées dans des puces mémoire. Certaines puces de mémoire nécessitent une source continue de tension, sinon elles perdront leurs données. D'autres peuvent conserver les données en l'absence de tension. Dans les appareils électroniques, nous rencontrons deux types principaux de mémoire : à accès aléatoire et à lecture seule.

- **Mémoire vive RAM :** Une mémoire vive RAM (random access memory) stocke des données binaires dans des tableaux. Les données peuvent être adressées (sélectionnées) de n'importe où dans la matrice. Les données disparaissent lorsque nous coupons l'alimentation, ce type de mémoire est dit volatile.
- **Mémoire morte ROM :** Les données d'une puce de mémoire morte ROM (read-only memory) ne sont pas écrasables, c.-à-d. non volatile. Une puce ROM standard est programmée en usine. Il existe des puces ROM programmable et reprogrammable. Une puce EPROM (erasable programmable read-only memory) est une ROM que nous pouvons reprogrammer en suivant une certaine procédure.

I.3.2.3 Fabrication de circuit intégré

La matière première de base habituellement utilisée pour fabriquer les circuits intégrés est le silicium, néanmoins, d'autres matériaux sont parfois employés, comme le germanium ou l'arséniure de gallium. Le silicium est un semi-conducteur dans sa forme monocristalline. Ce matériau doit être pur à 99,99%. On fabrique d'abord un barreau cylindrique de silicium en le cristallisant très lentement. Ce barreau est ensuite découpé pour être utilisé sous forme de galettes de 100 à 800 μm d'épaisseur et ayant jusqu'à 300 mm de diamètre, appelé wafer (voir figure I.11).

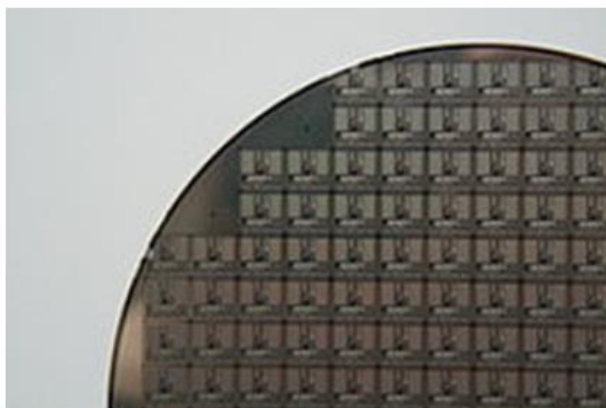


Figure I.11 : Des microprocesseurs gravés sur un wafer de silicium qui sert à leur fabrication.

Un wafer va supporter de nombreux circuits intégrés. L'échelle de gravure sur le wafer en 2018 a atteint 10 nm. En bref :

- En 2004, les gravures les plus fines en production sont de 0,13 μm (ou 130 nm) et 90 nm.
- En 2006, les gravures les plus fines en production sont de 60 nm et 30 nm.
- En 2015, les gravures les plus fines en production sont de 14 nm.
- En 2018, les gravures les plus fines en production sont de 10 nm.
- IBM, TSMC, et samsung ont affirmés pouvoir graver en 7 et 5 nm, ce qui a permis de fabriquer la dernière génération des processeurs ARM et x86 en 2019/2020, quelques exemples sont illustres par la figure I.12.

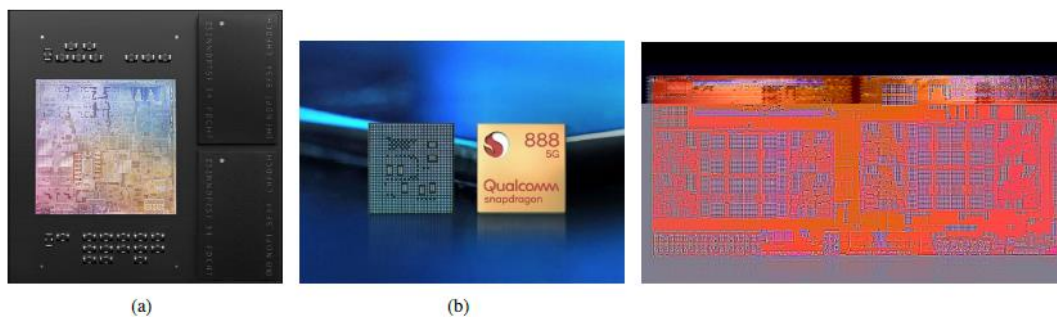


Figure I.12 : Exemples de processeurs commercialisés en 2020 : (a) SoC M1 de Apple d'une architecture ARM (5nm, 16 milliard de transistors), (b) SoC ARM Snapdragon 888 de Qualcomm pour les smartphones (5nm, fabriqué par Samsung), et (c) Processeur AMD de type Zen 3 d'une architecture x86 (7nm, fabriqué par TSMC).