

Architecture des ordinateurs

- I) Architecture de Von Neumann
- II) La brique de base : le transistor CMOS
- III) Comme s'exécute un programme en machine ?
- IV) Du MOSFET aux fonctions de Von Neumann
- V) Enjeux géostratégiques

Historique

- Dans les exemples historiques de machines programmables vus précédemment, **les tâches réalisables restent limitées.**

Une machine → un type de tâche

Métier à tisser Jacquard → tisser

Orgue de Barbarie → jouer de la musique

Trieuse automatique → trier des informations

- On observe deux situations :
 - Soit ce sont les instructions qui sont encodées en binaire : métier à tisser Jacquard, orgue de Barbarie
 - Soit ce sont les données : trieuse automatique

Mais les instructions et les données ne sont jamais encodées en binaire en même temps

Historique

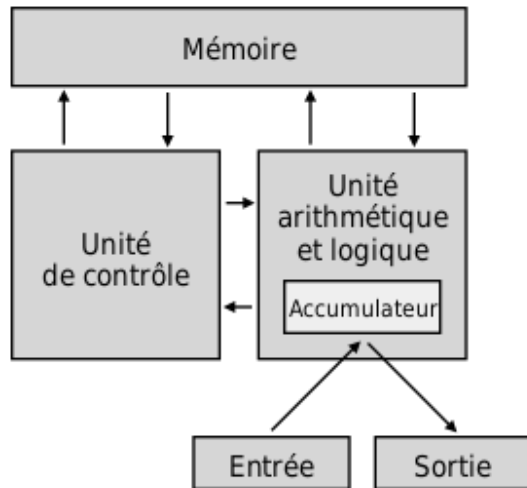
Machine universelle : machine programmable capable d'effectuer une immense variété de tâches sur une immense variété d'informations

- **Idée 1**: encoder les instructions et les données de la même manière
- **Idée 2**: Trouver un dispositif physique permettant aux instructions codées en binaire de travailler sur des données elles aussi en binaire

L'humanité l'a fait : l'ordinateur moderne

Architecture des ordinateurs : modèle de Von Neumann (1944)

Idée 1: encoder à la fois les instructions et les données en binaire

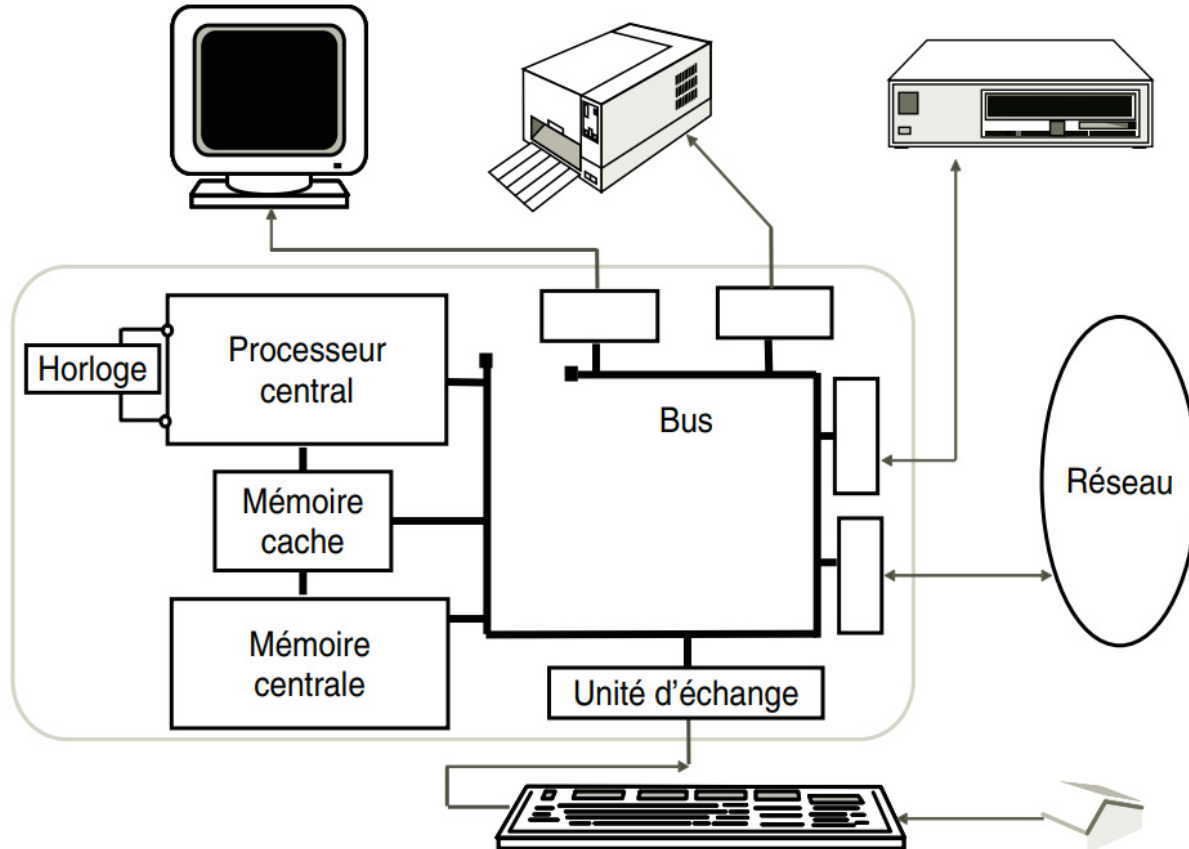


4 types de fonctions séparées :

- fonctions de mémorisation
- fonctions d'exécution
- fonctions de communication
- fonctions d'entrée/sortie

Un programme devient une donnée comme une autre

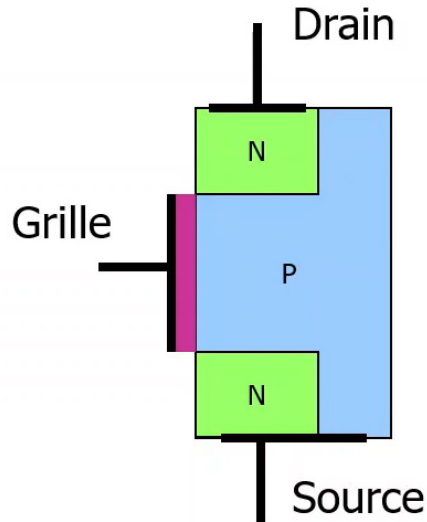
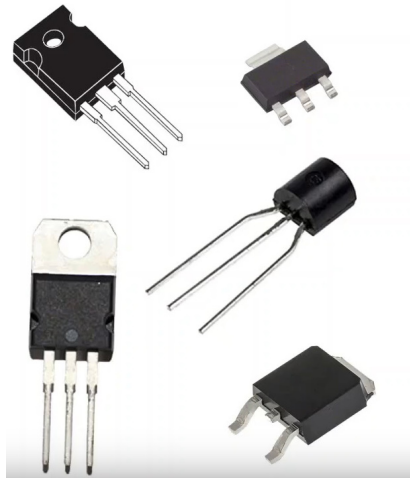
Schéma général d'un ordinateur



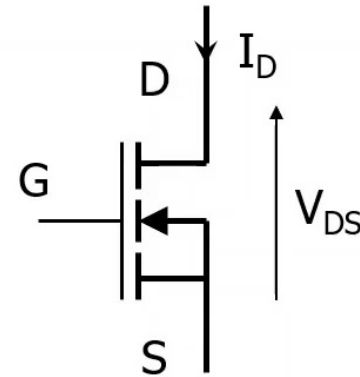
La brique de base électronique: le transistor MOSFET

Idée 2: Chercher de nouvelles façon physique de manipuler et de faire agir l'information numérisée.

Metal-Oxide-Semiconductors Field-Effect Transistor



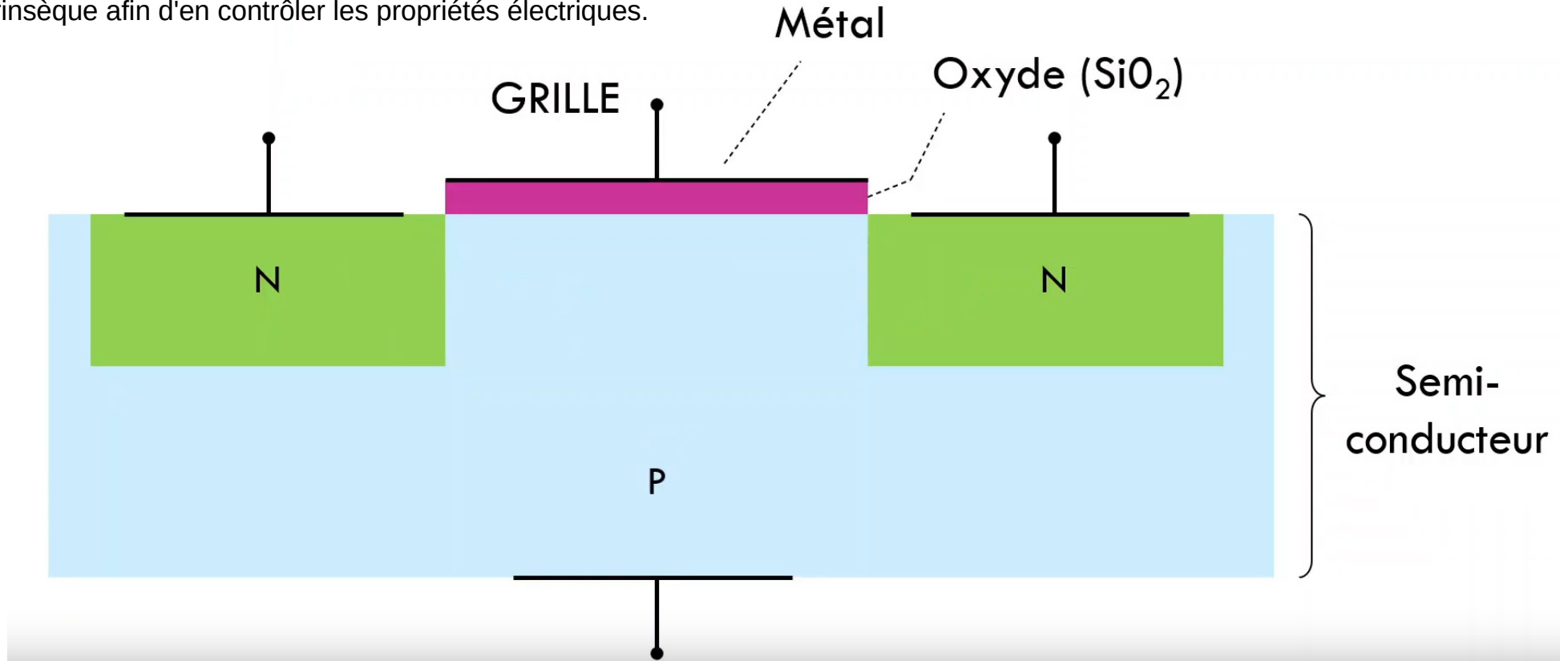
*Constitution
avec Canal N*



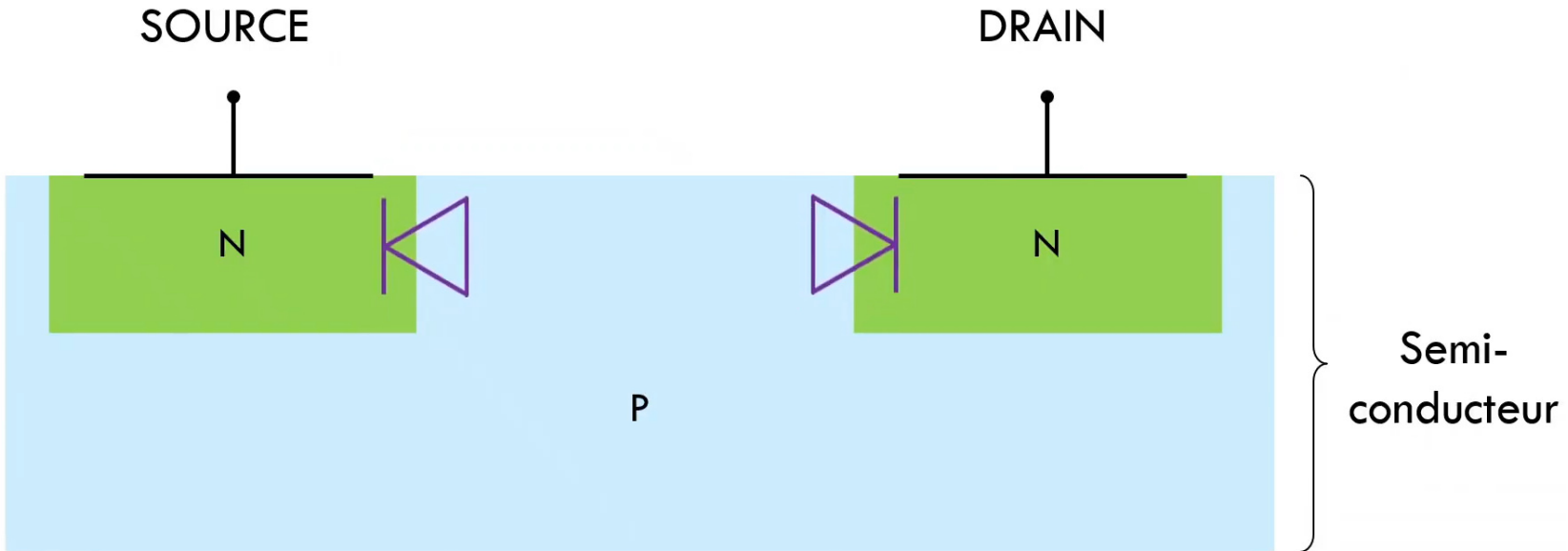
*Symbole
électrique*

La brique de base électronique: le transistor MOSFET

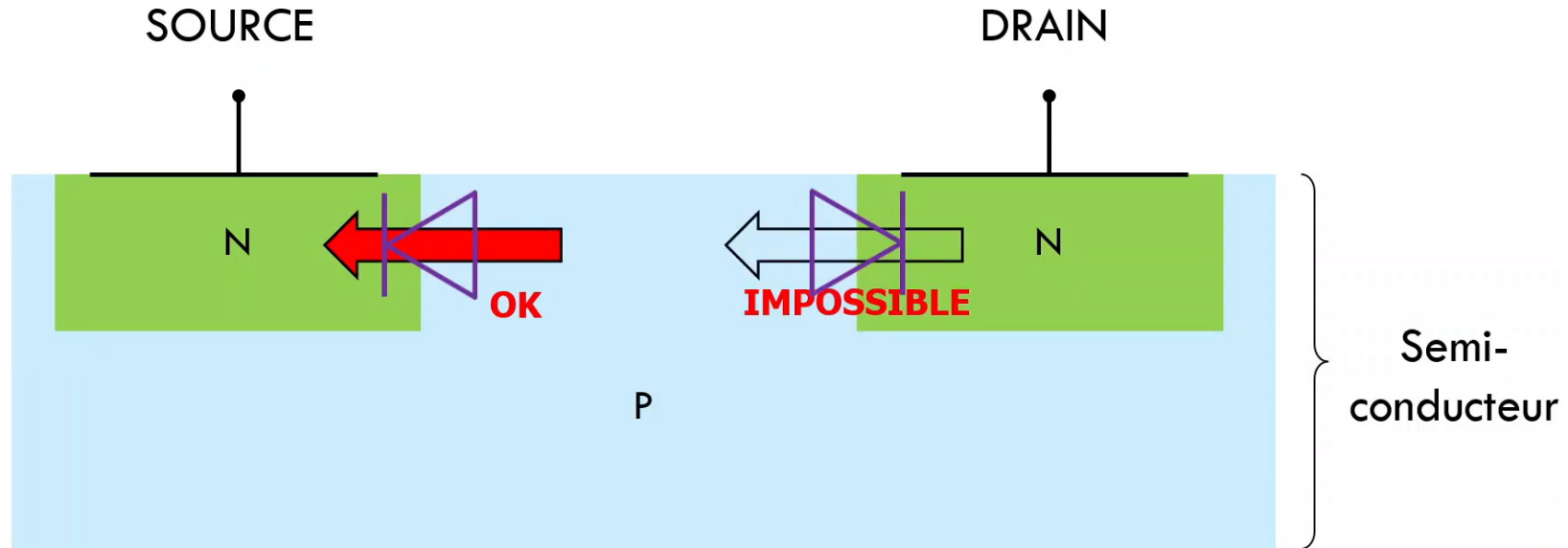
Le dopage consiste à implanter des atomes correctement sélectionnés (nommés « impuretés ») à l'intérieur d'un semi-conducteur intrinsèque afin d'en contrôler les propriétés électriques.



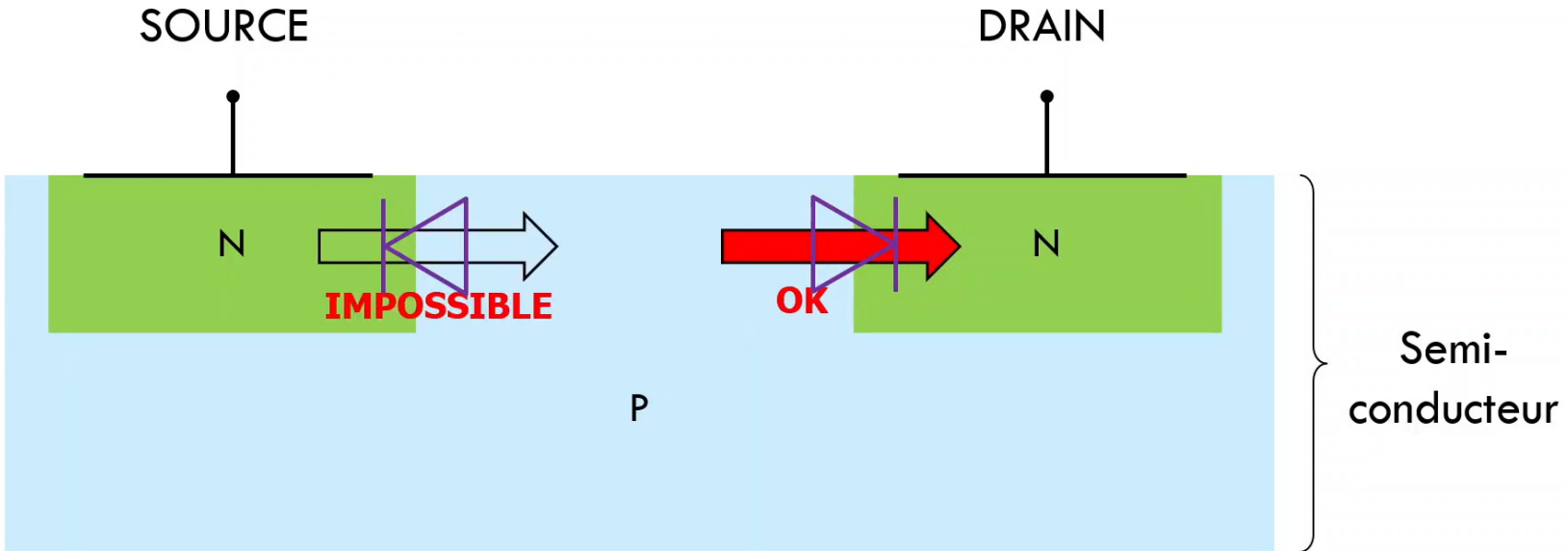
La brique de base électronique: le transistor MOSFET



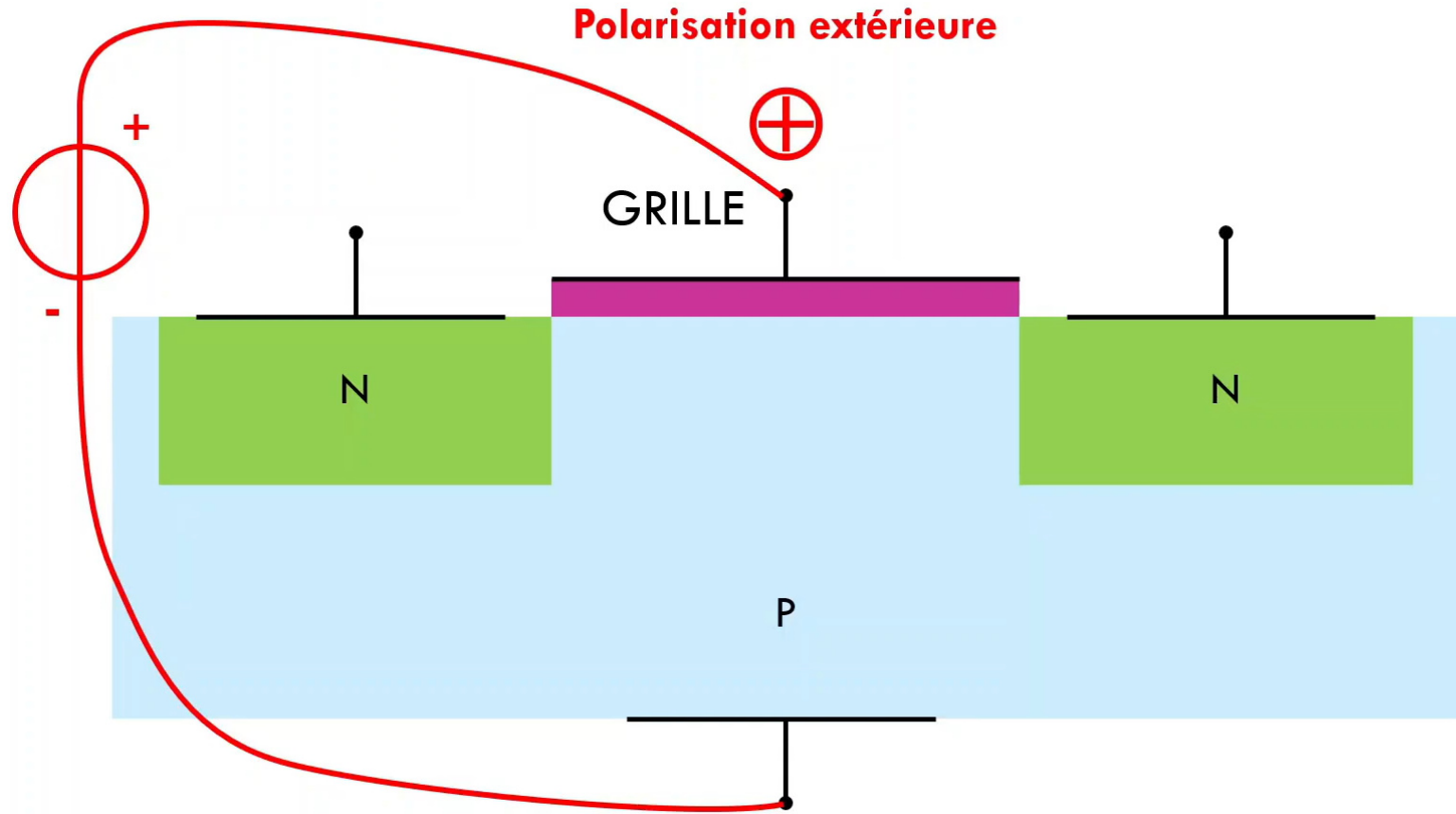
La brique de base électronique: le transistor MOSFET



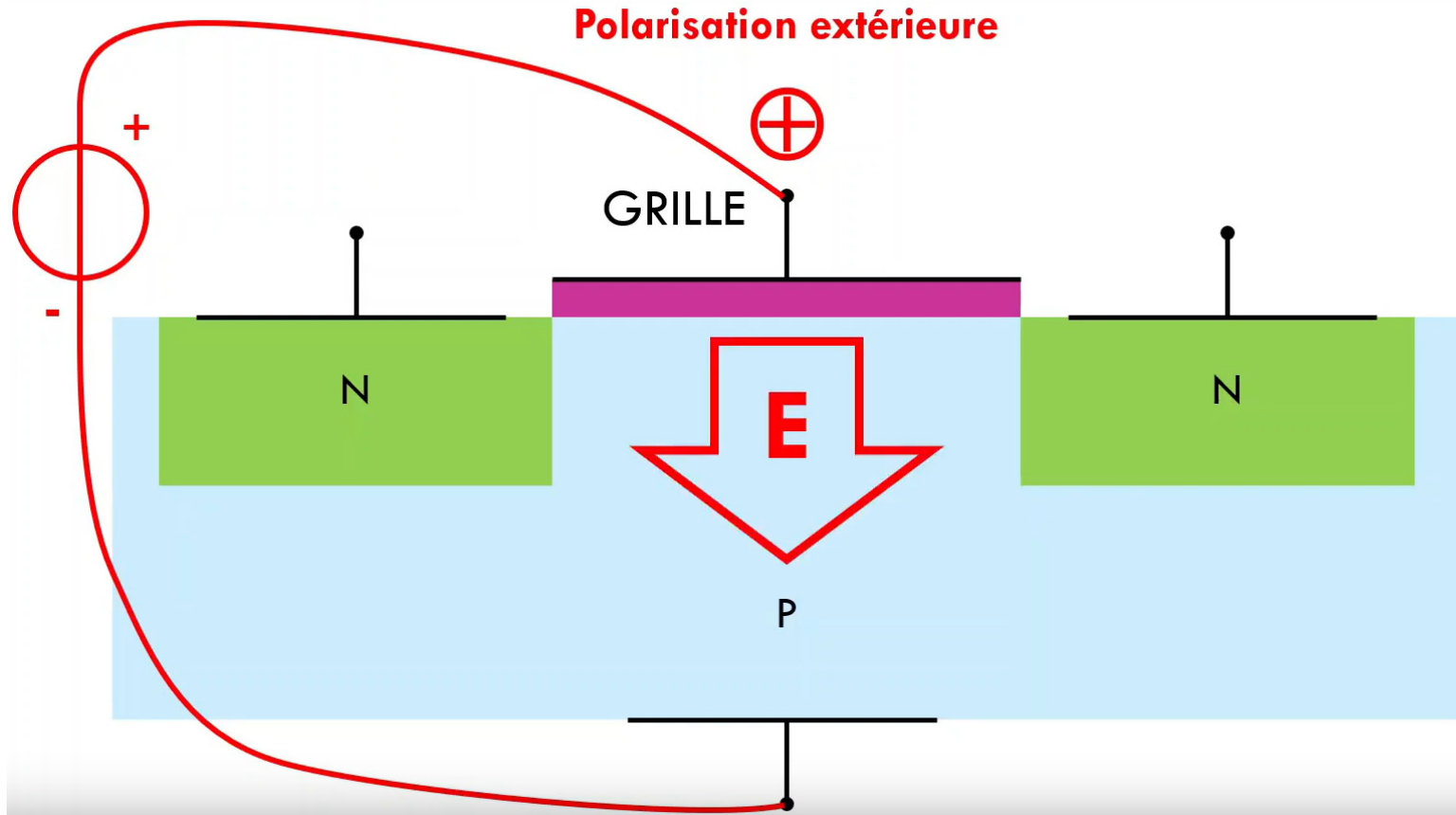
La brique de base électronique: le transistor MOSFET



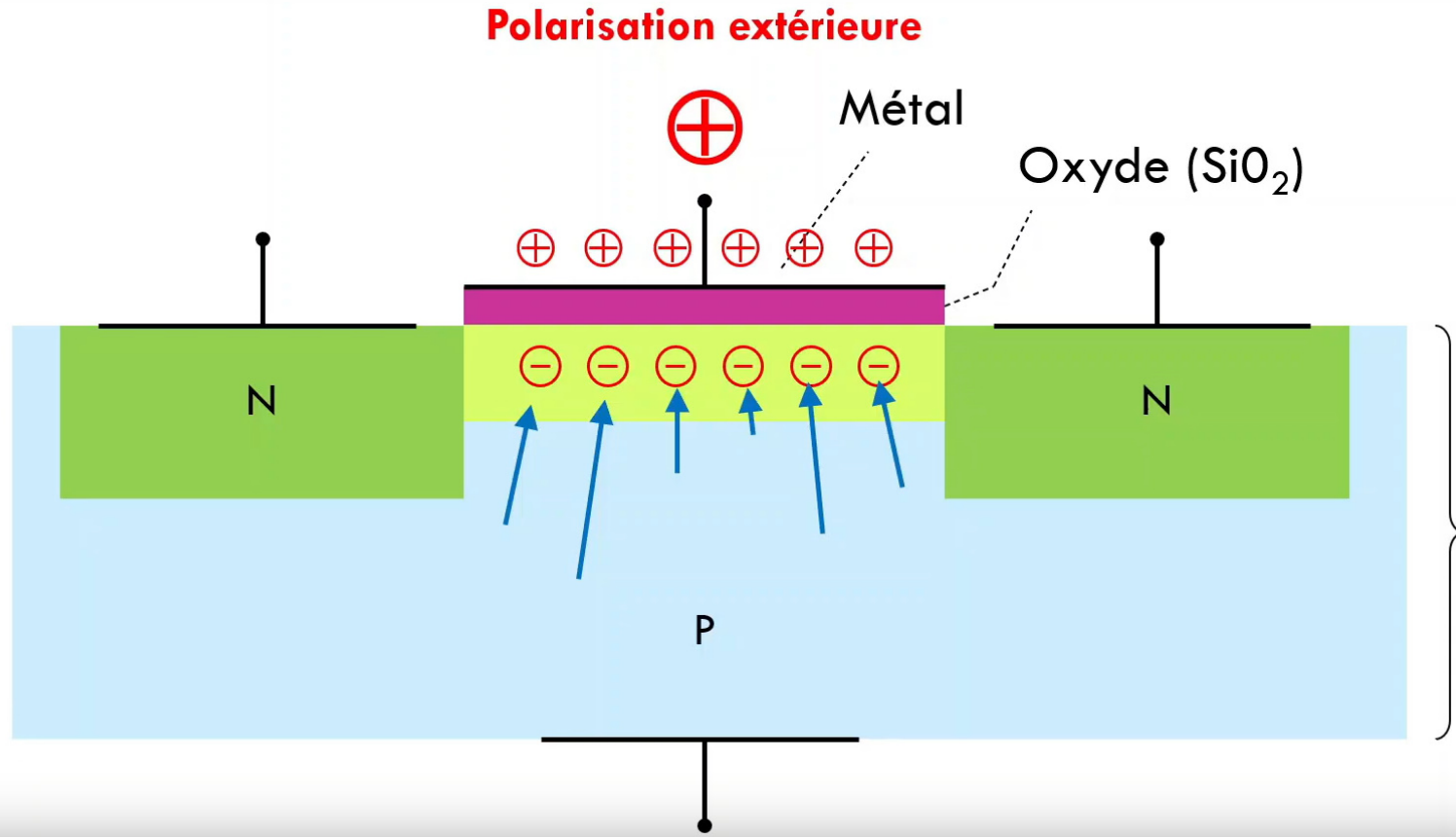
La brique de base électronique: le transistor MOSFET



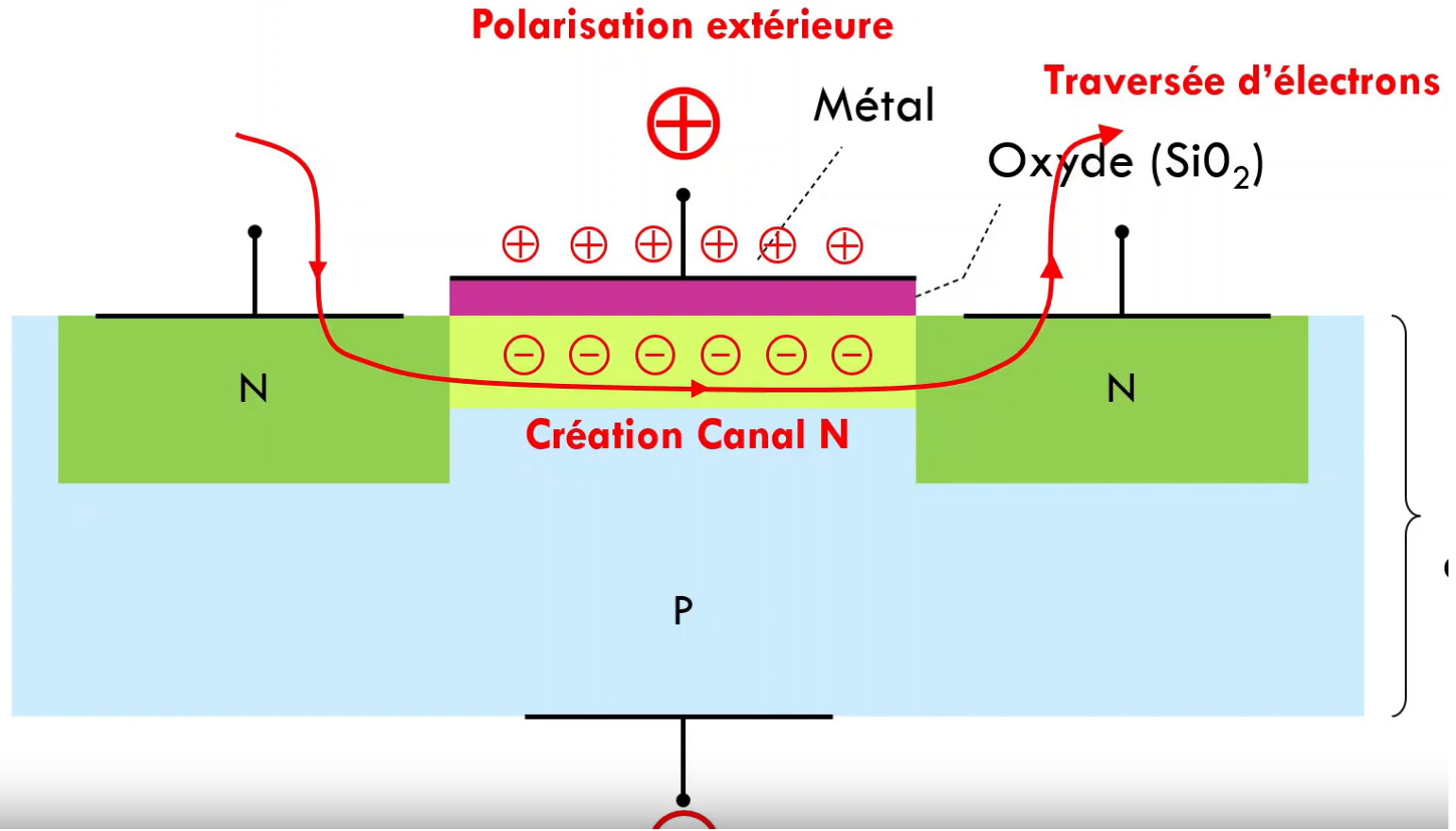
La brique de base électronique: le transistor MOSFET



La brique de base électronique: le transistor MOSFET



La brique de base électronique: le transistor MOSFET



La brique de base électronique: le transistor MOSFET

Le MOSFET agit comme une **résistance pilotable par tension**

Dans le cas de l'électronique numérique, on le fait agir comme un **interrupteur**:

- Si l'on applique une tension entre la grille et le substrat :
 - ⇒ L'interrupteur est fermé
 - ⇒ Le courant passe entre la source et le drain
- Si la tension est nulle entre la grille et le substrat :
 - ⇒ L'interrupteur est ouvert
 - ⇒ Aucun courant ne passe entre la source et le drain

Des MOSFET aux portes logiques

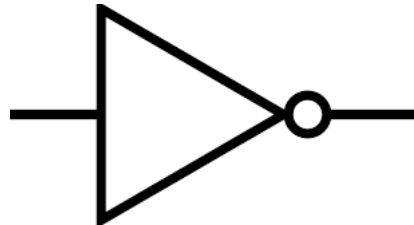
En associant plusieurs transistors dans des circuits dans des circuits appelés CMOS, on peut réaliser des **portes logiques**

Exemple : porte logique NON (NOT)

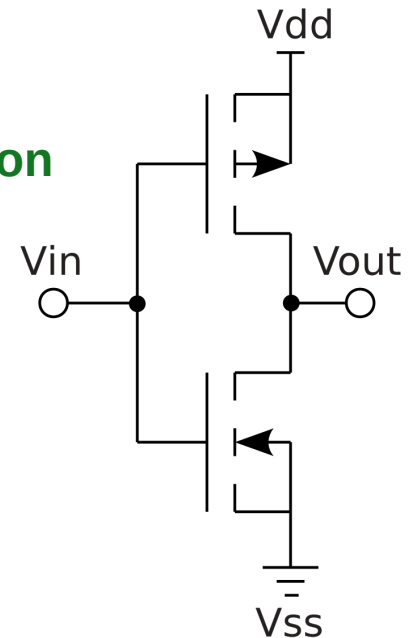
Table de vérité

Vin	Vout
0	1
1	0

Symbole de la porte



Implémentation



Des MOSFET aux portes logiques

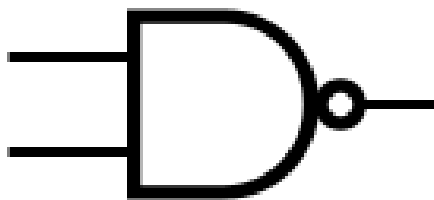
En associant plusieurs transistors dans des circuits, on peut réaliser des **portes logiques**

Exemple : porte logique NON-ET (NAND)

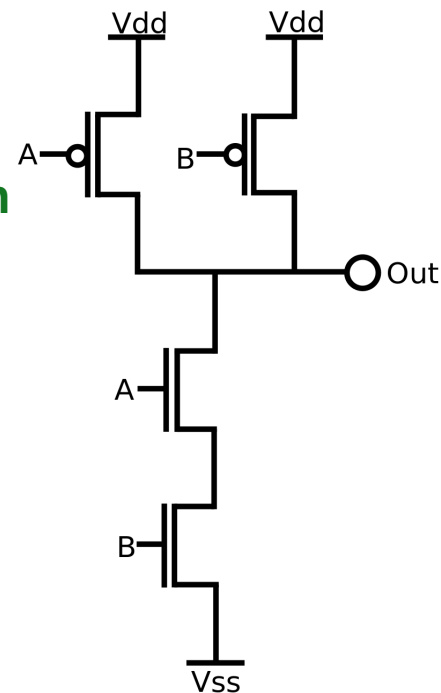
Table de vérité

A	B	Out
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Symbole de la porte



Implémentation



Des MOSFET aux portes logiques

En associant plusieurs transistors dans des circuits, on peut réaliser des **portes logiques**

Exemple : porte logique NON-OU (NOR)

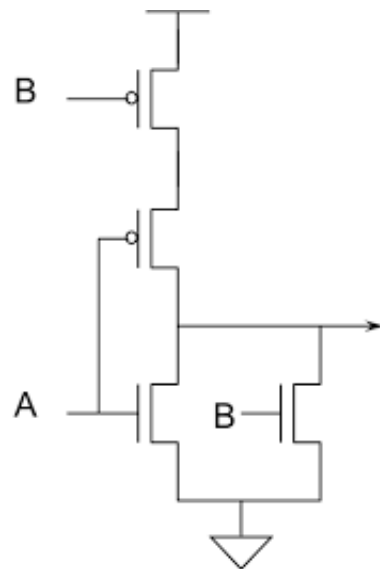
Table de vérité

A	B	Out
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

Symbole de la porte



Implémentation



Des MOSFET aux portes logiques

Avec les trois portes NON, NON-ET et NON-OU, on peut démontrer (résultat théorique) que l'on peut créer n'importe quelle porte logique !

Exemple: pour créer la porte logique OU, il suffit d'associer en série une porte NON-OU et une porte NON

En associant des portes logiques dans des circuits intégrés, on peut donc effectuer tout type d'opérations binaires :

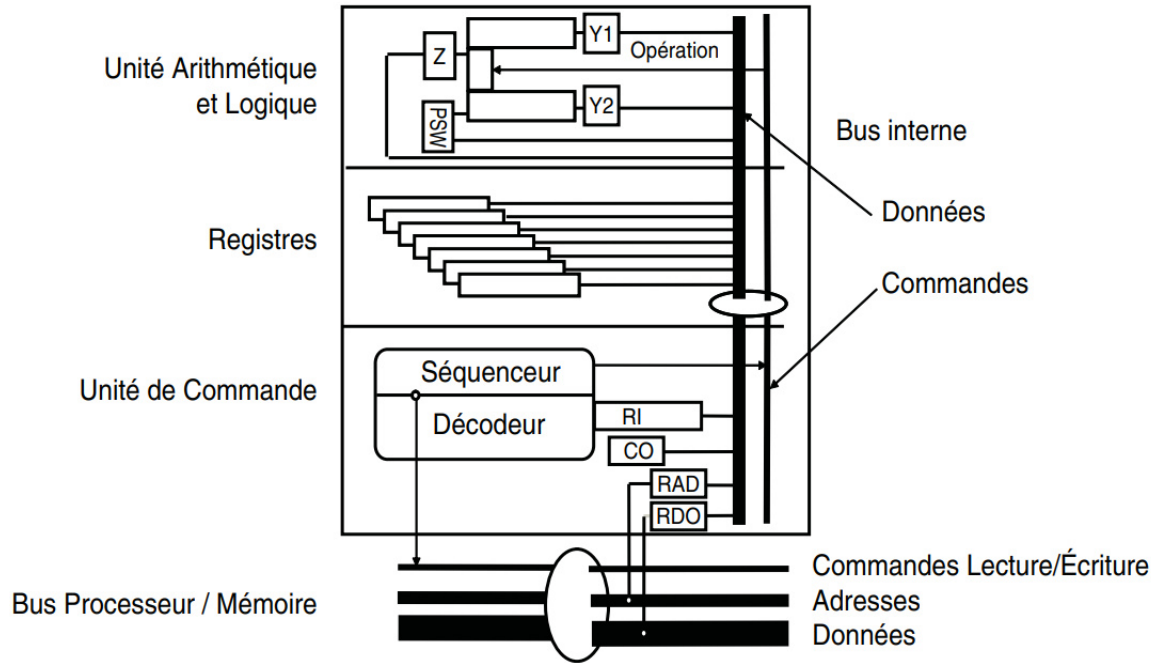
- la mise sous tension d'une entrée de la porte logique revient à mettre 1 sur cette entrée
- la mise hors tension d'une entrée de la porte logique revient à mettre 0 sur cette entrée

La brique de base électronique: le transistor MOSFET

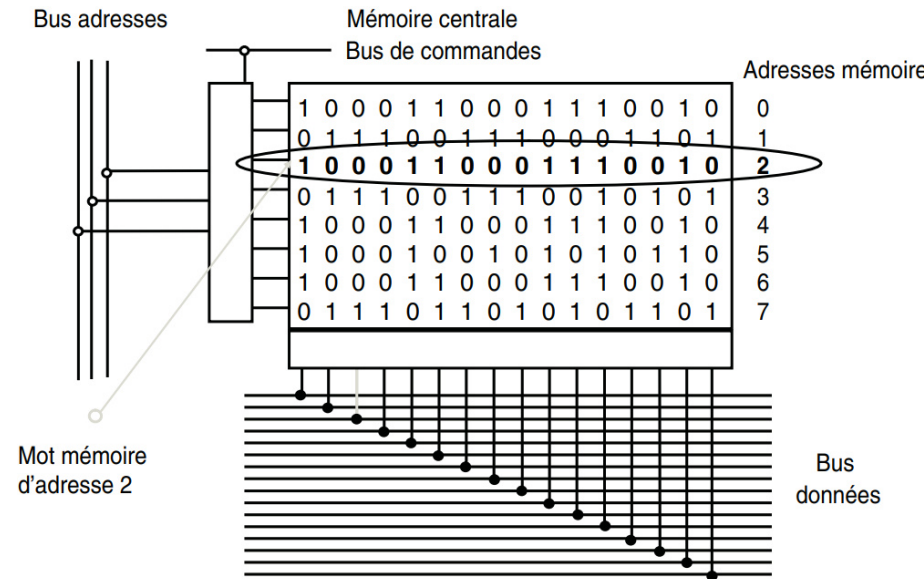
On combinant des portes logiques de différentes manières dans des circuits, on va pouvoir créer différents types de circuits:

- **Circuits de calcul binaire \Rightarrow fonction d'exécution**
Unité Arithmétique et Logique (ALU) du microprocesseur
- **Circuits combinatoires \Rightarrow fonction de communication**
Unité de contrôle, bus de communication, adressage
- **Circuits séquentiels \Rightarrow fonction de mémorisation**
Maintien des données en mémoire de travail volatile, mécanismes d'adressage
Circuits à bascule

Communication : circuits combinatoires dans les unités de contrôle

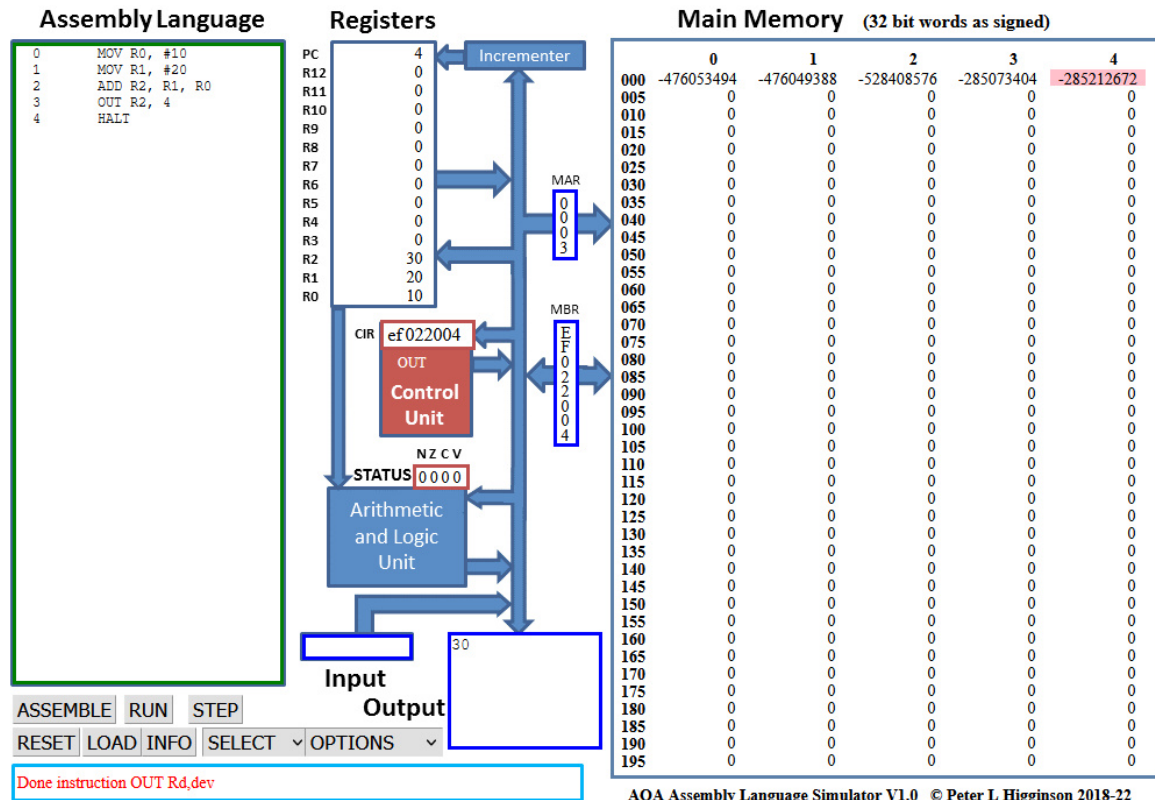


Microprocesseur



Mémoire de travail

Aperçu du fonctionnement d'un ordinateur



Aperçu du fonctionnement d'un ordinateur

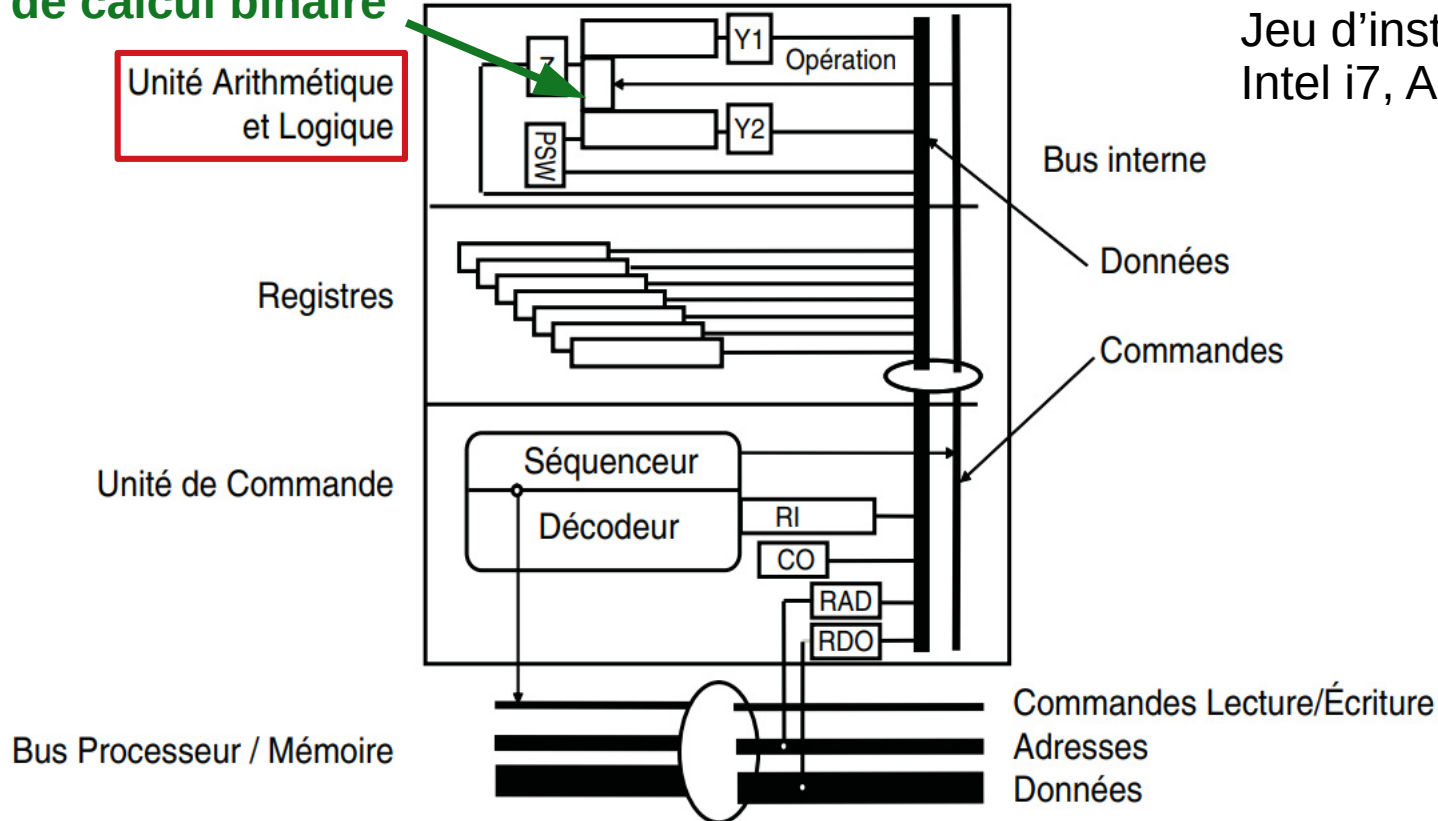
<https://www.peterhigginson.co.uk/AQA/>

Instruction	Effet
INP	Lire une valeur à partir de la console d'entrée
OUT	Ecrire une valeur sur la console d'affichage
ADD	Addition
SUB	Soustraction
MOV	Affectation
LDR	Affectation
STR	Affectation
B	Aller à
HALT	Fin du programme
CMP	Comparaison
BEQ	Comparaison (égalité) puis saut à une adresse
BNE	Comparaison (égalité) puis saut à une adresse
BGT	Comparaison (supérieur) puis saut à une adresse
BLT	Comparaison (inférieur) puis saut à une adresse

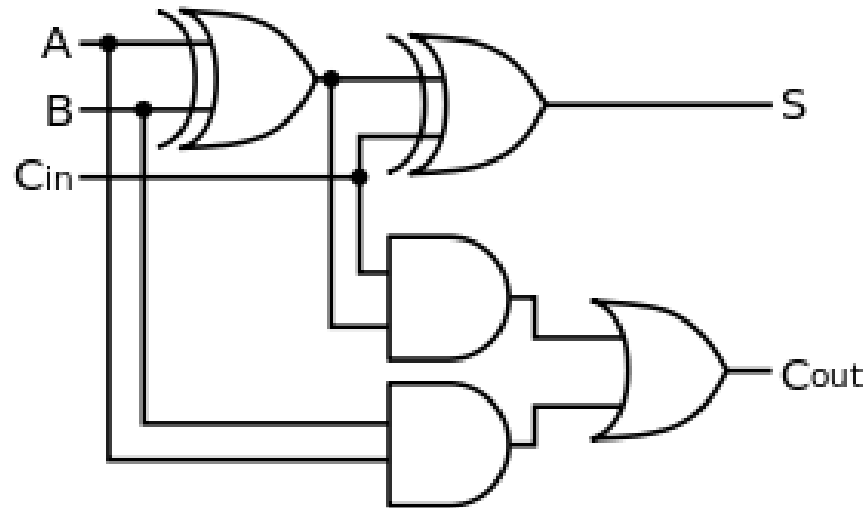
Jeu d'instruction x86 (Intel)

Exécution : Circuits de calcul dans l'ALU

Circuits de calcul binaire

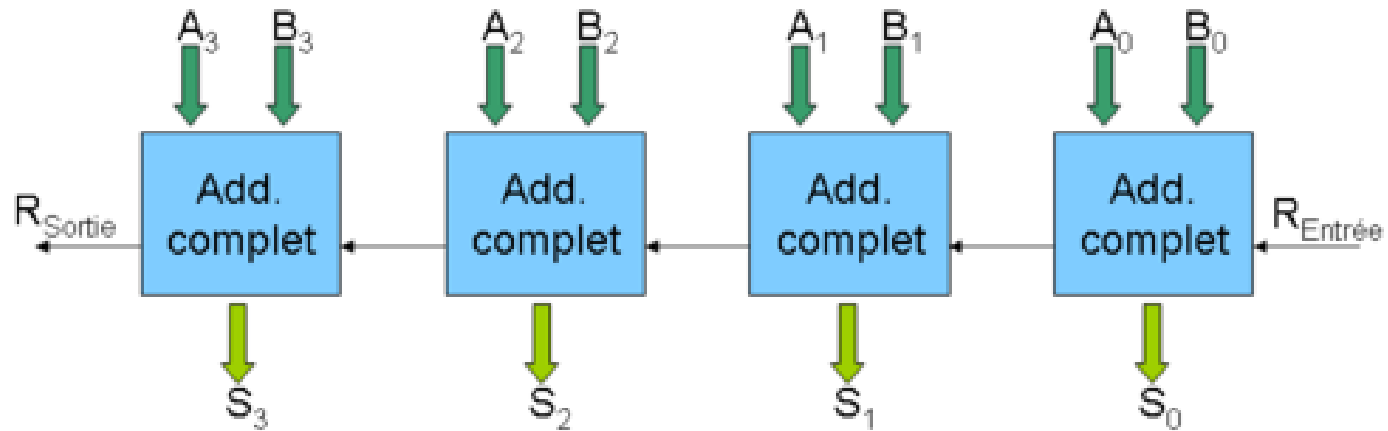


Exécution : Circuits de calcul dans l'ALU



Additionneur complet 1 bits (SC)

Exécution : Circuits de calcul dans l'ALU



Additionneur 4 bits

Exécution : Circuits de calcul dans l'ALU

Soustracteur

Soustraire, c'est additionner un nombre négatif : facile à implémenter grâce au complément à 2 (porte NON à N bits puis additionner 1)

Multiplieur

On peut aussi faire des multiplieurs, car la multiplication est une somme de produits partiels !

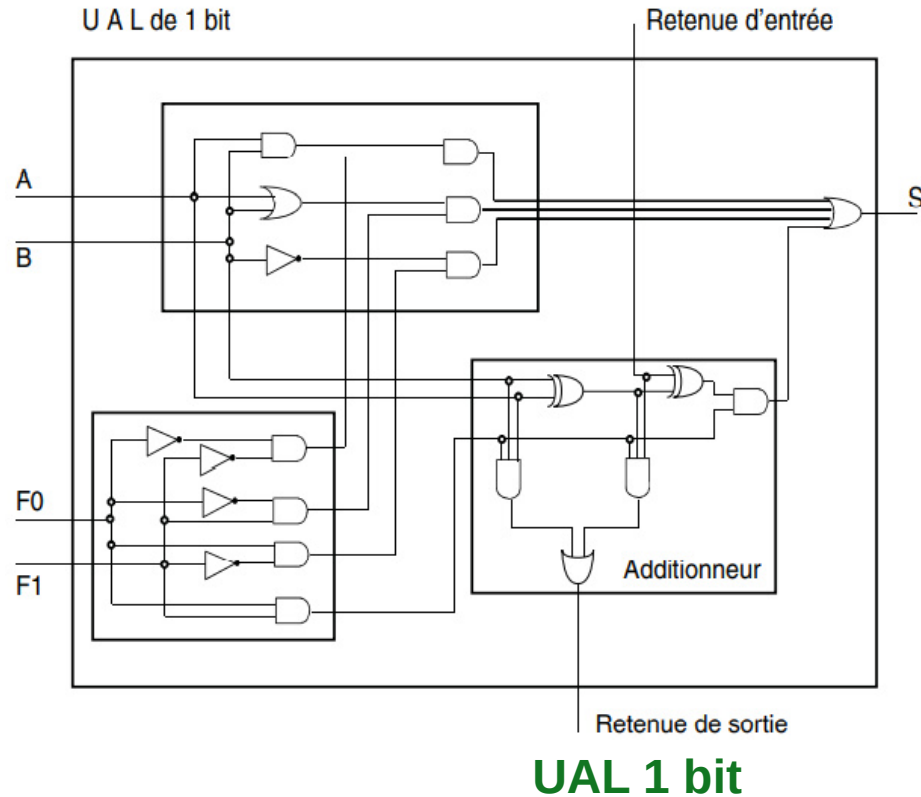
Ces produits partiels binaires sont de simples ET logiques

Diviseur

Diviser, c'est faire des multiplications et des soustractions :-)

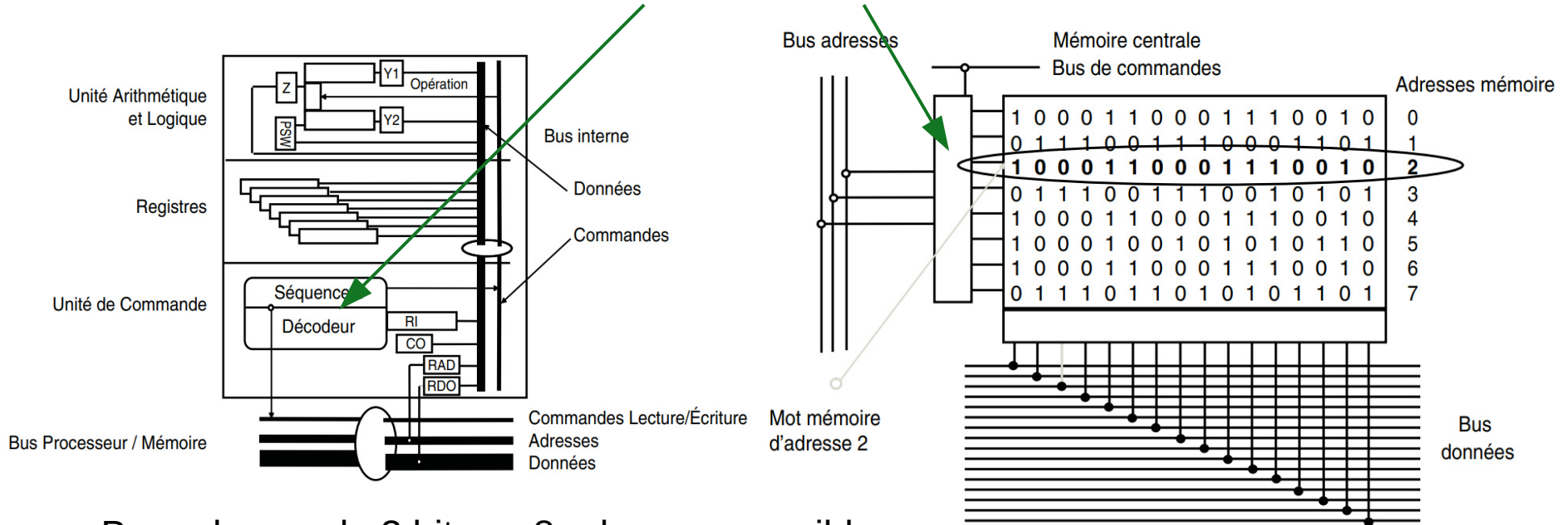
Exécution : Circuits de calcul dans l'ALU

Cette UAL permet de réaliser les quatre opérations ET, OU, NON et Addition



Communication : circuits combinatoires dans les unités de contrôle

Circuits logiques combinatoires



Bus adresse de 3 bits → 8 adresses possibles

Bus adresse de 32 bits → ~ 4 milliards d'adresses possibles

Si mots de 32 bits → RAM limitée à environ 16Go

Fabrication des microprocesseurs

Comment fabrique t'on les micro-processeurs ?

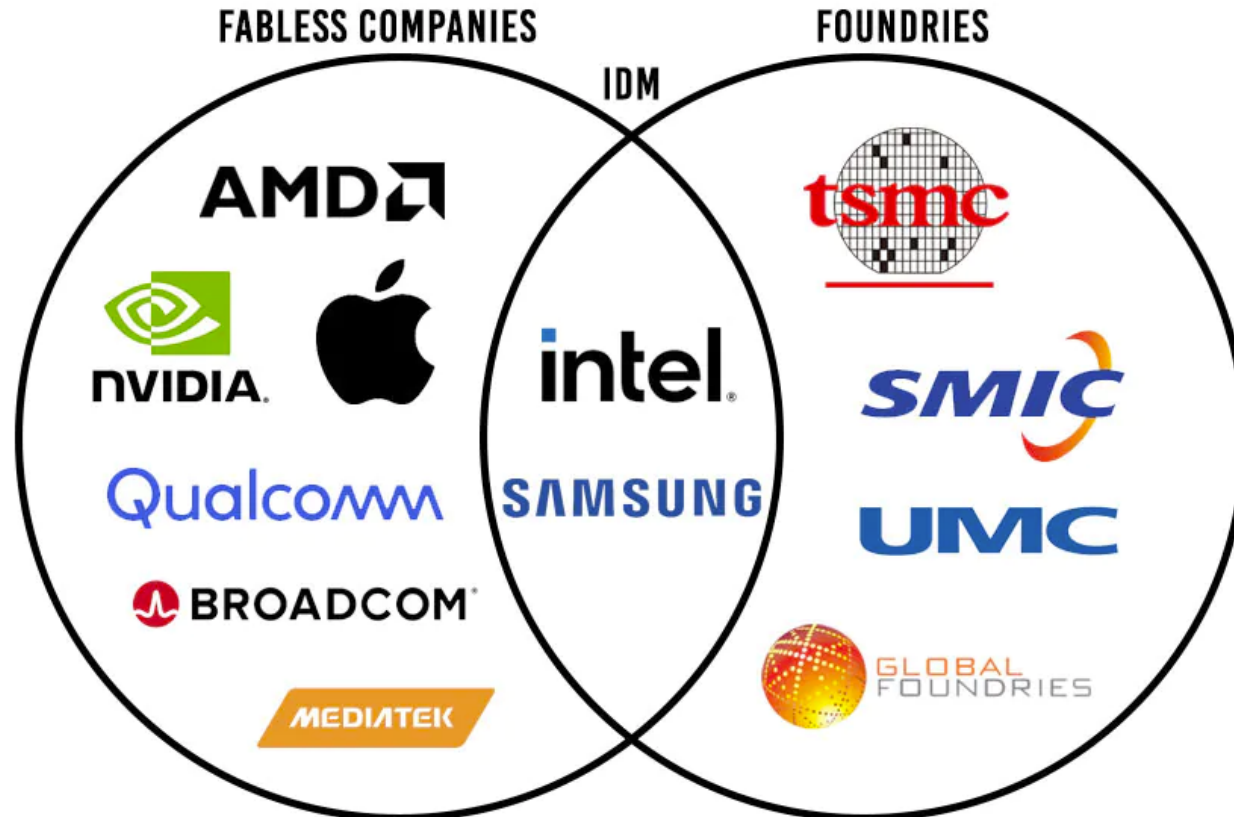
<https://www.youtube.com/watch?v=NFr-WyytNfo>



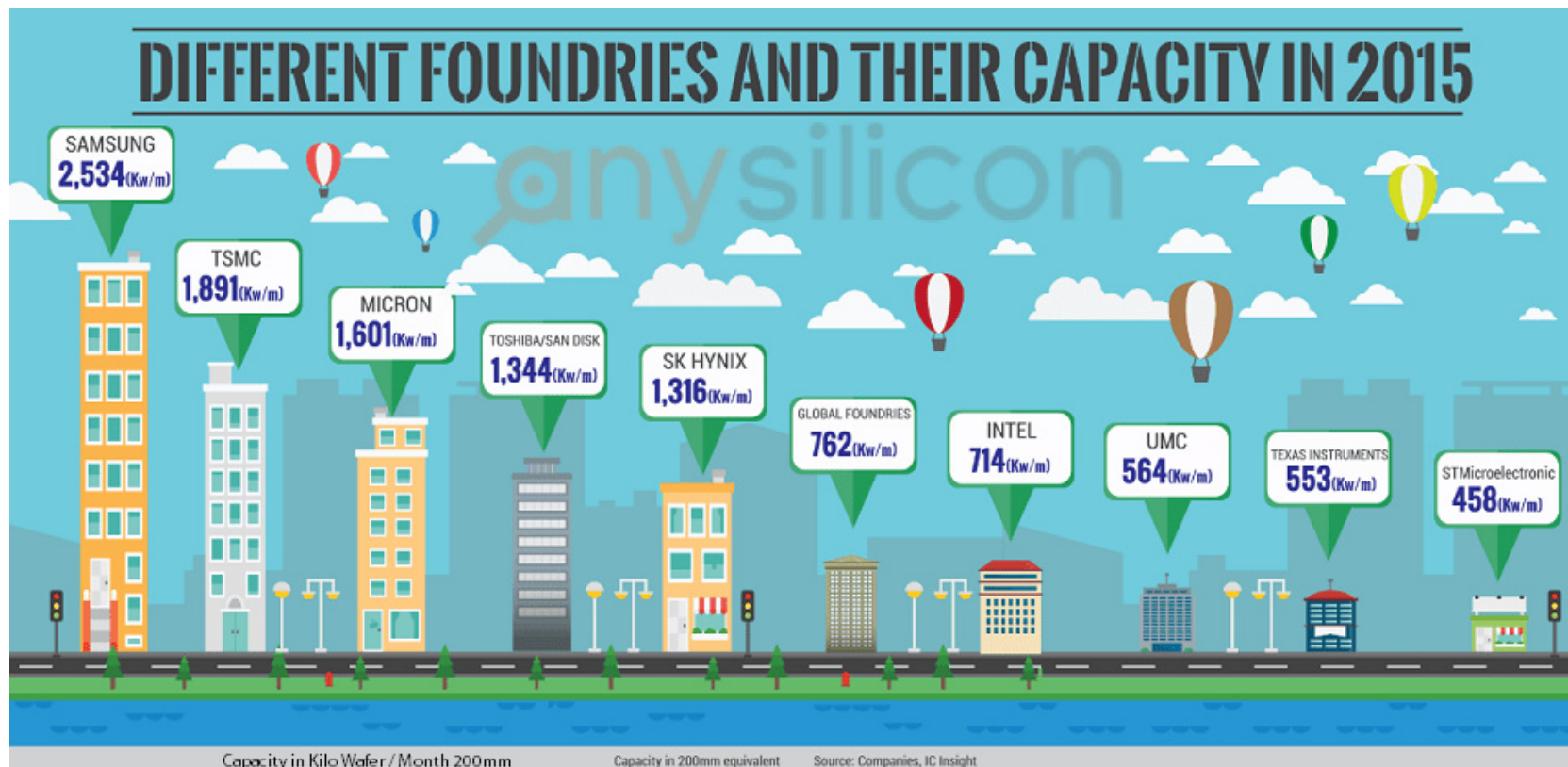
**Taille d'un transistor aujourd'hui:
7 nm ~ 7 millionième de millimètre**

Construire une fonderie est très coûteux !!!

Fabrication des microprocesseurs



Fabrication des microprocesseurs



Un peu de géostratégie...

- **Fonderies (Foundries) : quasiment toutes asiatiques**

TSMC (Taïwan), Global Foundries, UMC (Taïwan), SMIC (Chine), Tower Semiconductor (Israël), Powerchip (Chine), VIS, Hua Hong Semi (Chine), DB HiTek (Corée du Sud), Nanya (Taiwan), PSMC (Chine), Win Semiconductors (Taïwan), Episil (Taïwan), Winbond (Taïwan)

- **Conception et brevets technologiques (Fabless) : quasiment tous USA**

ARM, Qualcomm, Nvidia, Advanced Micro Device, MD, Micron Technology, Broadcom

- **IDM (Integrated Device Manufacturer) : USA/Europe/Asie**

Intel (USA), Samsung (Corée du Sud), STMicroelectronics (France-Italie), Infineon (Allemagne), Texas Instrument (USA)