

1M - Informatique

Cours 3 - Architecture des ordinateurs

A. Ridard

A propos de ce document

- Pour naviguer dans le document, vous pouvez utiliser :
 - le menu (en haut à gauche)
 - l'icône en dessous du logo GyYv
 - les différents liens
- Pour signaler une erreur, vous pouvez envoyer un message à l'adresse suivante :
anthony.ridard@eduvaud.ch

- 1 **Breve histoire des ordinateurs**
- 2 Fonctionnement d'un ordinateur
- 3 Couche logique d'un ordinateur

- 1 Brève histoire des ordinateurs
 - Machines mécaniques
 - Machines électromécaniques
 - Machines électroniques
 - Micro-ordinateurs
- 2 Fonctionnement d'un ordinateur
 - Structure générale d'un ordinateur
 - Composants de la machine matérielle
 - Fonction d'exécution
 - Fonction de mémorisation
 - Fonction de communication
- 3 Couche logique d'un ordinateur
 - Portes logiques
 - Circuits logiques

- 1642 : la Pascaline (France)

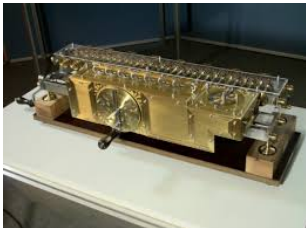


Blaise Pascal conçoit cette machine¹ capable d'additionner et de soustraire deux nombres de façon directe². Elle comprend des inscripteurs (ensemble de roues) permettant de saisir les chiffres des nombres, un mécanisme capable d'additionner avec la propagation de la retenue et un afficheur du résultat.

1. A l'âge de dix-neuf ans pour soulager la tâche de son père qui venait d'être nommé premier président à la Cour des aides de Normandie par le cardinal de Richelieu et qui devait remettre en ordre les recettes fiscales de cette province

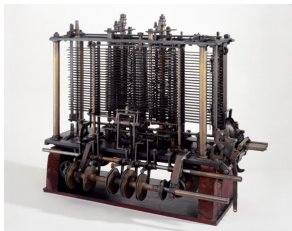
2. Et de faire des multiplications et des divisions par répétitions

- 1671 : la machine de Leibniz (Allemagne)



Dans une machine à additionner, le terme que l'on saisit est ajouté au totalisateur, puis il est effacé de l'inscripteur pour faire place au suivant. Dans une multiplication, on doit conserver le multiplicande, le temps de le multiplier successivement par chacun des chiffres du multiplicateur. Leibniz invente cette mémoire mécanique, sous la forme d'un cylindre cannelé, et en juxtapose 8 dans sa machine, autant que de chiffres possibles au multiplicande.

- 1834 : la machine analytique de Babbage (Angleterre)

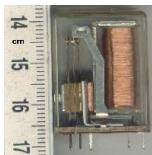


C'est la première machine à calculer **programmable**³, conçue avec tous les éléments d'un ordinateur actuel, mais seul un prototype inachevé a pu être réalisé.

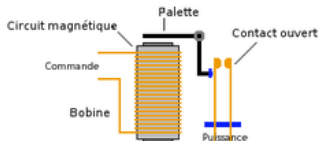
C'est au cours de son développement qu'Ada Lovelace formalise les idées du mathématicien, et écrit le premier algorithme de l'histoire. Elle se montre aussi remarquable visionnaire en comprenant que la vocation de cette machine va bien au-delà des simples calculs numériques...

- 1 Brève histoire des ordinateurs
 - Machines mécaniques
 - **Machines électromécaniques**
 - Machines électroniques
 - Micro-ordinateurs
- 2 Fonctionnement d'un ordinateur
 - Structure générale d'un ordinateur
 - Composants de la machine matérielle
 - Fonction d'exécution
 - Fonction de mémorisation
 - Fonction de communication
- 3 Couche logique d'un ordinateur
 - Portes logiques
 - Circuits logiques

Ces machines sont constituées de relais électromécaniques



schématisés de la manière suivante :



Cet élément se comporte comme un interrupteur qui laisse passer ou non un courant électrique réalisant les niveaux logiques 1 ou 0.

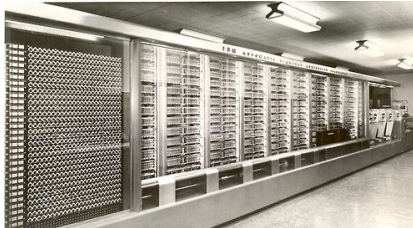
- 1941 : Zuse 3 (Allemagne)



Ce premier calculateur programmable (ordinateur) à base de rubans perforés utilisait déjà le système binaire⁴ à virgule flottante.

4. inventé par Leibniz vers 1700

- 1944 : Mark I - IBM (États-Unis)



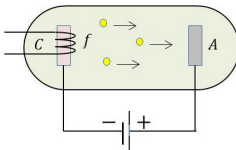
Ce calculateur également programmable à base de rubans perforés, développé en parallèle du précédent, utilisait encore le système décimal.

- 1 Brève histoire des ordinateurs
 - Machines mécaniques
 - Machines électromécaniques
 - **Machines électroniques**
 - Micro-ordinateurs
- 2 Fonctionnement d'un ordinateur
 - Structure générale d'un ordinateur
 - Composants de la machine matérielle
 - Fonction d'exécution
 - Fonction de mémorisation
 - Fonction de communication
- 3 Couche logique d'un ordinateur
 - Portes logiques
 - Circuits logiques

Ces machines sont constituées de tubes électroniques

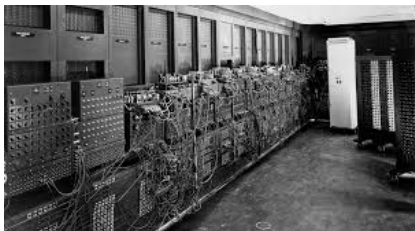


schématisés de la manière suivante :



Là encore, cet élément se comporte comme un interrupteur qui laisse passer ou non un courant électrique réalisant les niveaux logiques 1 ou 0.

- 1946 : ENIAC



Composé de 18 000 tubes, ce premier ordinateur électronique est programmable à l'aide de fiches, il occupe une surface de 167 m² et opère encore en décimal.

- 1952 : EDVAC



Opérant en binaire, celui-ci est le premier à respecter *l'architecture de Von Neumann*, toujours d'actualité, décomposant l'ordinateur en 4 parties :

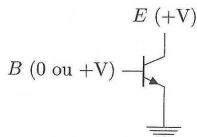
- l'**unité arithmétique et logique** qui effectue les opérations de base
- l'**unité de contrôle** qui séquence les opérations
- la **mémoire** qui contient les données et le programme
- les **dispositifs d'entrées-sorties** qui permettent de communiquer avec l'extérieur

- 1 Brève histoire des ordinateurs
 - Machines mécaniques
 - Machines électromécaniques
 - Machines électroniques
 - **Micro-ordinateurs**
- 2 Fonctionnement d'un ordinateur
 - Structure générale d'un ordinateur
 - Composants de la machine matérielle
 - Fonction d'exécution
 - Fonction de mémorisation
 - Fonction de communication
- 3 Couche logique d'un ordinateur
 - Portes logiques
 - Circuits logiques

Ils sont constitués de transistors, plus petits et moins fragiles que les tubes à vide,

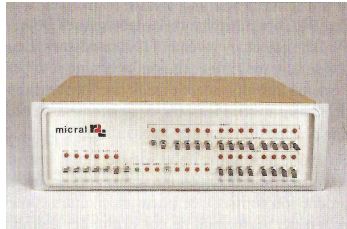


schématisés de la manière suivante :



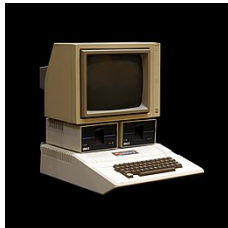
Là encore, cet élément se comporte comme un interrupteur qui laisse passer ou non un courant électrique réalisant les niveaux logiques 1 ou 0. En les combinant, on forme des circuits intégrés mettant ainsi en oeuvre les circuits logiques que nous étudierons ultérieurement.

- 1972 : Micral (France)



Reconnu comme le premier micro-ordinateur, il est fondé sur le processeur 8008 d'Intel, il ne dispose ni de clavier, ni d'écran, mais il révolutionne le monde de l'informatique par sa taille et son prix (8500 FF).

- 1977 : Apple II (États-Unis)



Il succède rapidement à l'Apple I (1976), premier ordinateur de la société Apple.

- 1981 : IBM PC (États-Unis)



Premier ordinateur équipé d'un système d'exploitation⁵ proposé par Bill Gates et baptisé MS-DOS (Microsoft Disk Operating Systems).
L'utilisateur n'avait accès qu'à une interface en ligne de commande, le shell, nécessitant une certaine expertise.

- 1984 : Macintosh 128K (États-Unis)



Premier ordinateur avec un système d'exploitation (macOS⁶) doté d'une interface graphique destinée au grand public, et la souris pour le piloter.

6. Dérivé du système d'exploitation Unix développé à Bell Labs et écrit dans le langage C

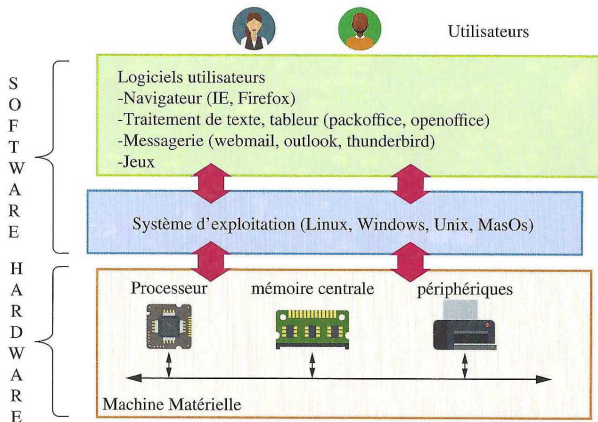
- 1990 - aujourd'hui : l'éditeur Microsoft développe un système graphique au dessus de MS-DOS, qui deviendra ensuite un système d'exploitation à part entière, le système Windows.
- 1991 - aujourd'hui : le système Linux, créé par Linus Torvalds et diffusé sous la licence libre GNU GPL, est particulièrement répandu au niveau des serveurs et des machines de calculs et de stockage.
- 2007 - aujourd'hui : Apple développe une version de son système d'exploitation (iOS) pour les téléphones portables qu'il commercialise.
- 2008 - aujourd'hui : Google diffuse le système d'exploitation Android pour téléphones mobiles. Ce système utilise le noyau de Linux auquel sont ajoutés des programmes et bibliothèques non libres.

Malgré une évolution exponentielle de leurs capacités, les ordinateurs respectent encore l'architecture de Von Neumann. La technologie évolue, mais les concepts restent !

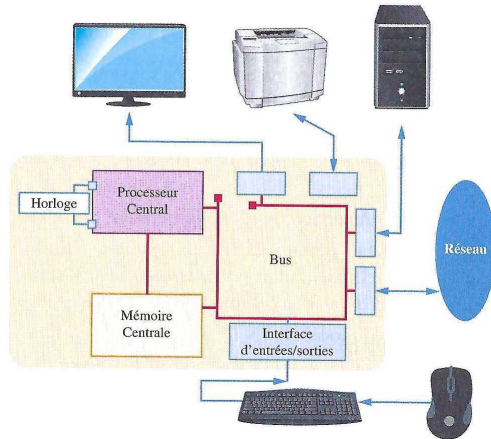
année	processeur	nombre de transistors	fréquence en MHz
1971	4004	2 300	0,108
1972	8008	3 500	0,2
1974	8080	6 000	2
1978	8086	29 000	5, 8
1981	80286	134 000	6, 10, 12
1985	80386	275 000	16, 20, 25, 33
1989	80486	1 200 000	25, 32, 50
1993	pentium	3 100 000	60, 66
1997	pentium II	7 500 000	233, 266, 300
1999	pentium III	9 500 000	500
2000	pentium 4	42 000 000	600
2005	Core 2	100 000 000	2 000
2012	Core I7 Haswell	2 600 000 000	3 000

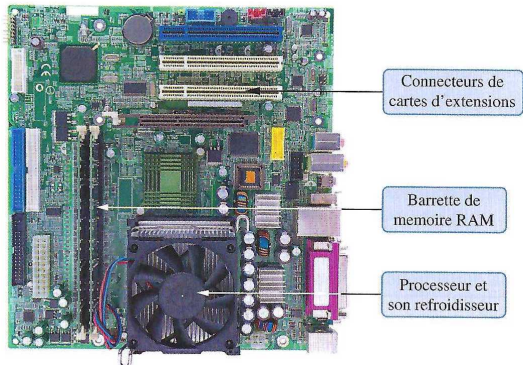
- 1 Brève histoire des ordinateurs
- 2 Fonctionnement d'un ordinateur**
- 3 Couche logique d'un ordinateur

- 1 Brève histoire des ordinateurs
 - Machines mécaniques
 - Machines électromécaniques
 - Machines électroniques
 - Micro-ordinateurs
- 2 **Fonctionnement d'un ordinateur**
 - **Structure générale d'un ordinateur**
 - Composants de la machine matérielle
 - Fonction d'exécution
 - Fonction de mémorisation
 - Fonction de communication
- 3 Couche logique d'un ordinateur
 - Portes logiques
 - Circuits logiques



- 1 Brève histoire des ordinateurs
 - Machines mécaniques
 - Machines électromécaniques
 - Machines électroniques
 - Micro-ordinateurs
- 2 **Fonctionnement d'un ordinateur**
 - Structure générale d'un ordinateur
 - **Composants de la machine matérielle**
 - Fonction d'exécution
 - Fonction de mémorisation
 - Fonction de communication
- 3 Couche logique d'un ordinateur
 - Portes logiques
 - Circuits logiques



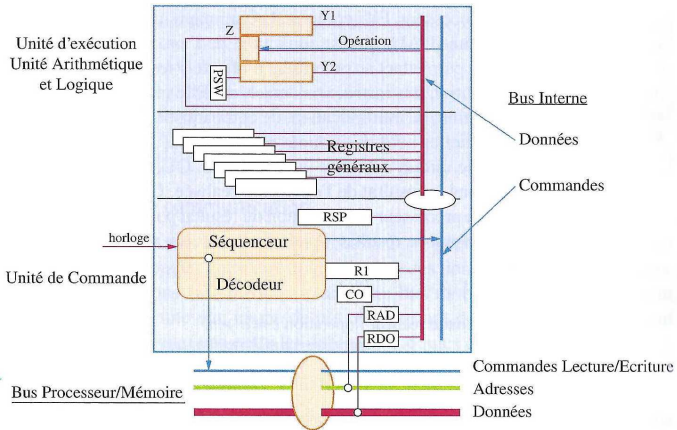


- 1 Brève histoire des ordinateurs
 - Machines mécaniques
 - Machines électromécaniques
 - Machines électroniques
 - Micro-ordinateurs
- 2 **Fonctionnement d'un ordinateur**
 - Structure générale d'un ordinateur
 - Composants de la machine matérielle
 - **Fonction d'exécution**
 - Fonction de mémorisation
 - Fonction de communication
- 3 Couche logique d'un ordinateur
 - Portes logiques
 - Circuits logiques

Le processeur⁷ est le « cerveau » de l'ordinateur. Il permet de manipuler des données et d'exécuter des instructions, toutes ces informations étant codées en binaire.

Il s'agit d'un circuit électronique cadencé au rythme d'une horloge interne dont la fréquence correspond au nombre d'impulsions par seconde. De nos jours, les processeurs possèdent une fréquence de 2 GHz ce qui correspond à 2 000 000 000 de battements par seconde !

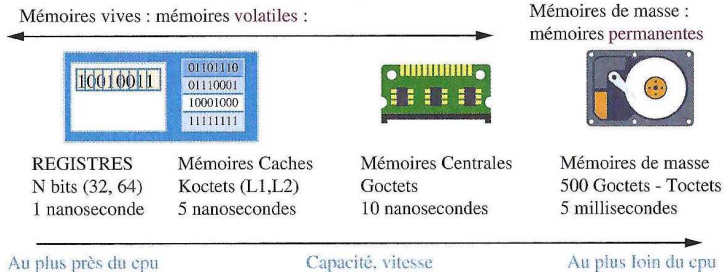
La fréquence du processeur est donc un indicateur de performance, tout comme la capacité de la mémoire centrale...



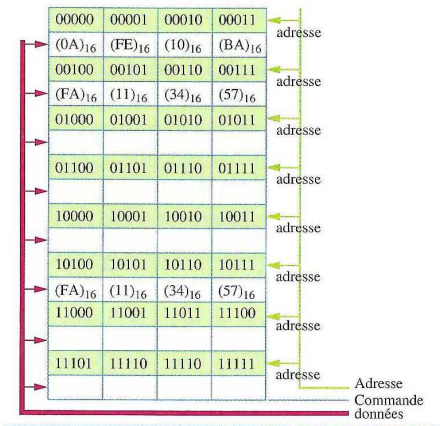
- 1 Brève histoire des ordinateurs
 - Machines mécaniques
 - Machines électromécaniques
 - Machines électroniques
 - Micro-ordinateurs
- 2 **Fonctionnement d'un ordinateur**
 - Structure générale d'un ordinateur
 - Composants de la machine matérielle
 - Fonction d'exécution
 - **Fonction de mémorisation**
 - Fonction de communication
- 3 Couche logique d'un ordinateur
 - Portes logiques
 - Circuits logiques

Une mémoire informatique est un composant électronique capable de stocker des informations, et caractérisée par sa capacité et son temps d'accès.

Elle peut être permanente ou volatile selon qu'elle conserve ou non son contenu sans alimentation électrique.



La mémoire centrale est constituée d'un ensemble de mots composés de plusieurs octets repérés par une adresse. De nos jours, sa capacité est de 4 Go à 8 Go.



Les échanges entre le processeur et la mémoire centrale sont très nombreux, et l'écart de performance entre ces deux éléments empêche le processeur de fonctionner au meilleur rythme. Afin de pallier ce problème, un étage intermédiaire, appelé mémoires caches, est introduit pour stocker les mots binaires les plus fréquemment utilisés.

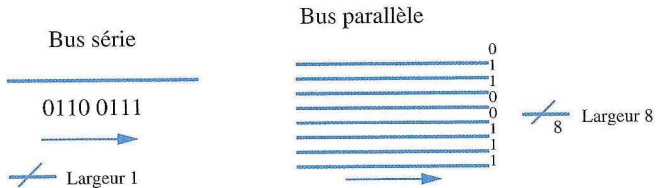
Pour pouvoir mémoriser des informations après l'arrêt de l'ordinateur, on utilise des mémoires de masse comme le disque dur magnétique, le disque SSD (mémoire flash) affichant de meilleures performances (moins fragile, plus silencieux, plus grande vitesse de transfert : 500 Mo/s VS 100 Mo/s) mais dix fois plus chers, ou encore une clé USB (capacité réduite, mais amovible).

- 1 Brève histoire des ordinateurs
 - Machines mécaniques
 - Machines électromécaniques
 - Machines électroniques
 - Micro-ordinateurs
- 2 **Fonctionnement d'un ordinateur**
 - Structure générale d'un ordinateur
 - Composants de la machine matérielle
 - Fonction d'exécution
 - Fonction de mémorisation
 - **Fonction de communication**
- 3 Couche logique d'un ordinateur
 - Portes logiques
 - Circuits logiques

La communication entre l'ordinateur et l'utilisateur est rendu possible grâce aux périphériques d'entrée-sortie connectées via des interfaces d'entrée-sortie (USB, RJ45 pour le réseau local filaire, VGA pour l'écran, HDMI pour l'écran haute résolution).

La communication entre les composants d'un ordinateur est assurée par un ensemble de fils capables de véhiculer de l'information sous forme de bits :

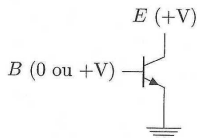
- les bus parallèles, rapides mais coûteux et peu fiables pour des distances « importantes », utilisés par exemple entre le processeur et la mémoire centrale
- les bus séries utilisés par exemple pour une liaison USB⁸



- 1 Brève histoire des ordinateurs
- 2 Fonctionnement d'un ordinateur
- 3 Couche logique d'un ordinateur**

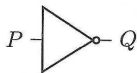
- 1 Brève histoire des ordinateurs
 - Machines mécaniques
 - Machines électromécaniques
 - Machines électroniques
 - Micro-ordinateurs
- 2 Fonctionnement d'un ordinateur
 - Structure générale d'un ordinateur
 - Composants de la machine matérielle
 - Fonction d'exécution
 - Fonction de mémorisation
 - Fonction de communication
- 3 Couche logique d'un ordinateur
 - Portes logiques
 - Circuits logiques

Les circuits d'un ordinateur manipulent uniquement des chiffres binaires 0 et 1, représentés en interne par des tensions électriques : le 0 par une tension basse (proche de 0 Volt) et le 1 par une tension haute (notée $+V$ car elle varie selon les circuits). Ils sont constitués de transistors qui se comportent comme des interrupteurs.



La commande de l'interrupteur est jouée par la broche B : lorsqu'elle est sous tension haute, elle laisse passer le courant entre la broche E (sous tension haute) et la masse ce qui a pour effet de passer E sous tension basse, et inversement, quand B est sous tension basse, E reste sous tension haute.

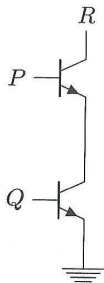
Un transistor permet de réaliser la porte logique NOT (NON) représentée par :



et dont le fonctionnement est résumé dans la table :

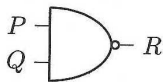
P	$Q = \text{NON } P$
0	1
1	0

En combinant deux transistors en série,



on peut fabriquer la porte logique NAND (NON ET).

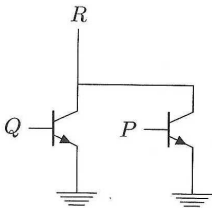
La porte logique NAND (NON ET) est représentée par :



et son fonctionnement est résumé dans la table :

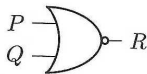
P	Q	$R = \text{NON} (P \text{ ET } Q)$
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

En combinant deux transistors en parallèle,



on peut fabriquer la porte logique NOR (NON OU).

La porte logique NOR (NON OU) est représentée par :

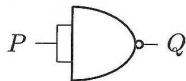


et son fonctionnement est résumé dans la table :

P	Q	$R = \text{NON}(P \text{ OU } Q)$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

Les portes NAND et NOR sont dites complètes car n'importe quel circuit peut-être conçu à partir de ces deux portes uniquement.

Par exemple, la porte NOT peut être fabriquée à partir d'une porte NAND :



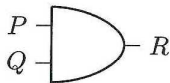
En effet, la table d'un tel montage est :

P	P	$Q = \text{NON} (P \text{ ET } P)$
0	0	1
1	1	0

ou simplement

P	$Q = \text{NON} (P \text{ ET } P)$
0	1
1	0

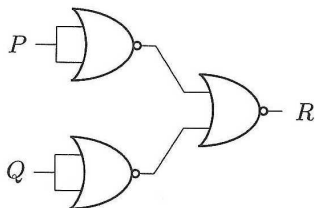
La porte logique AND (ET) est représentée par :



et son fonctionnement est résumé dans la table :

P	Q	$R = P \text{ ET } Q$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

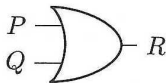
La porte AND (ET) peut être fabriquée à partir de plusieurs portes NOR :



En effet, la table d'un tel montage est :

P	Q	$P' = \text{NON}(P \text{ OU } P)$	$Q' = \text{NON}(Q \text{ OU } Q)$	$R = \text{NON}(P' \text{ OU } Q')$
0	0	1	1	0
0	1	1	0	0
1	0	0	1	0
1	1	0	0	1

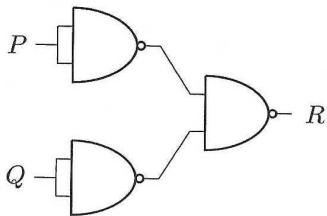
La porte logique OR (OU) est représentée par :



et son fonctionnement est résumé dans la table :

P	Q	$R = P \text{ OU } Q$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

La porte OR (OU) peut être fabriquée à partir de plusieurs portes NAND :



En effet, la table d'un tel montage est :

P	Q	$P' = \text{NON}(P \text{ ET } P)$	$Q' = \text{NON}(Q \text{ ET } Q)$	$R = \text{NON}(P' \text{ ET } Q')$
0	0	1	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	1
1	1	0	0	1

La porte logique XOR (OU EXCLUSIF notée \oplus) est représentée par :



et son fonctionnement est résumé dans la table :

P	Q	$R = P \oplus Q$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

- 1 Brève histoire des ordinateurs
 - Machines mécaniques
 - Machines électromécaniques
 - Machines électroniques
 - Micro-ordinateurs
- 2 Fonctionnement d'un ordinateur
 - Structure générale d'un ordinateur
 - Composants de la machine matérielle
 - Fonction d'exécution
 - Fonction de mémorisation
 - Fonction de communication
- 3 Couche logique d'un ordinateur
 - Portes logiques
 - Circuits logiques

Pour former des circuits électroniques complexes, en général on ne part pas des portes logiques vues précédemment, mais de circuits d'un peu plus haut niveau :

- décodeurs
- multiplexeurs
- additionneurs
- ...

Un **décodeur** permet de sélectionner une sortie à partir des entrées. Plus précisément, un décodeur n bits possède n entrées et 2^n sorties, les n bits en entrée permettent de représenter en base 2 le numéro de la sortie.

Par exemple, un décodeur 2 bits correspond à la table suivante :

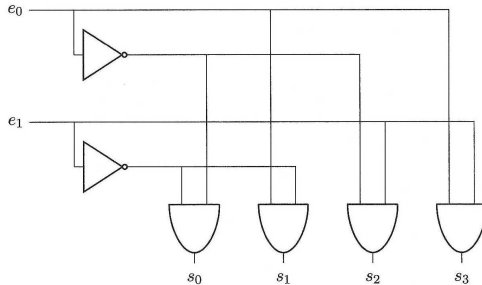
e_0	e_1	s_0	s_1	s_2	s_3
0	0	1	0	0	0
1	0	0	1	0	0
0	1	0	0	1	0
1	1	0	0	0	1



! e_0 désigne le bit de poids faible, celui des « unités »

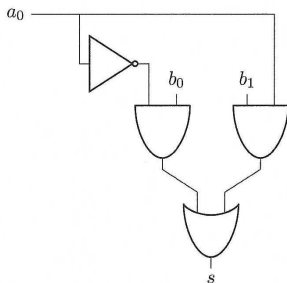


Vérifier qu'un décodeur 2 bits peut se construire ainsi.



Un **multiplexeur** permet de sélectionner une entrée de données à partir des entrées de contrôle. Plus précisément, un multiplexeur k bits permet de sélectionner une entrée parmi les 2^k entrées disponibles. Ses k entrées de contrôle a_0, \dots, a_{k-1} permettent de coder le numéro de l'entrée de données à sélectionner parmi b_0, \dots, b_{2^k-1} .

Un multiplexeur 2 bits est alors schématisé de la manière suivante :





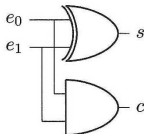
Compléter la table du multiplexeur 2 bits.

a_0	b_0	b_1	s
0	0	0	
0	0	1	
0	1	0	
0	1	1	
1	0	0	
1	0	1	
1	1	0	
1	1	1	

Un **additionneur n bits** est construit en mettant en cascade n additionneurs 1 bit qui réalisent chacun l'addition de deux nombres de 1 bit, en gérant les retenues.

En fait, ces additionneurs 1 bit sont eux-mêmes construits à partir d'un circuit encore plus simple, appelé **demi-additionneur**. Prenant en entrée deux bits e_0 et e_1 , il envoie sur une sortie s la somme $e_0 + e_1$, tout en positionnant une autre sortie c à 1 si le calcul provoque une retenue.

Un demi-additionneur est alors schématisé de la manière suivante :





Compléter la table du demi-additionneur.

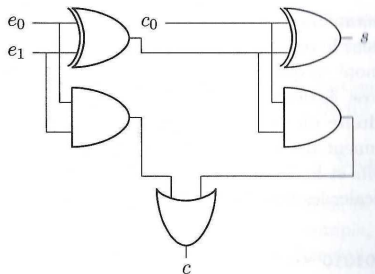
e_0	e_1	s	c
0	0		
0	1		
1	0		
1	1		

Pour réaliser un **additionneur 1 bit** (complet), il faut prendre en compte la retenue éventuelle de l'addition de deux bits précédents. Prenant en entrée deux bits e_0, e_1 et une retenue c_0 , il envoie sur une sortie s la somme $e_0 + e_1 + c_0$, tout en positionnant une autre sortie c à 1 si le calcul provoque une retenue.

On le construit en utilisant deux demi-additionneurs et une porte OR :

- le premier calcule $s_0 = e_0 + e_1$ en positionnant éventuellement à 1 la retenue c_1
- le second calcule $s = s_0 + c_0$ en positionnant éventuellement à 1 la retenue c_2
- la retenue finale c vaut 1 si l'une des deux retenues c_1 ou c_2 est égale à 1

Un additionneur 1 bit est alors schématisé de la manière suivante :





Compléter la table de l'additionneur 1 bit.

e_0	e_1	c_0	s	c
0	0	0		
0	0	1		
0	1	0		
0	1	1		
1	0	0		
1	0	1		
1	1	0		
1	1	1		

Ce cours s'appuie sur :

- le site internet [Modulo](#) développé par les concepteurs du programme
- l'ouvrage [Numérique et sciences informatiques](#) aux éditions Ellipses
- l'ouvrage [Informatique](#) aux éditions Dunod