



# Bases de l'architecture pour la programmation - LIFASR3 -

Hamid LADJAL

[hamid.ladjal@univ-lyon1.fr](mailto:hamid.ladjal@univ-lyon1.fr)

[hamid.ladjal@liris.cnrs.fr](mailto:hamid.ladjal@liris.cnrs.fr)

# COORDONNÉES ET SITE WEB

---

## **Responsable de L'UE :**

**Hamid LADJAL**

Bâtiment Nautibus (2ème étage)

Tel : 04 72 43 16 36

Mél : hamid.ladjal@liris.cnrs.fr

hamid.ladjal@univ-lyon1.fr

## **Responsables d'amphi, TD et TP :**

**Hamid LADJAL** (mercredi matin et après midi ) + d'autres intervenants

Site WEB de l'UE (pour infos pratiques, supports, corrections ...)

<http://perso.univ-lyon1.fr/hamid.ladjal/LIFASR3/>

<https://perso.liris.cnrs.fr/hamid.ladjal/LIFASR3/supports.html>

# Détail des enseignements de l'UE

---

## **CM : 6 séances de 1h30**

- Présentation des concepts fondamentaux
- Notions de base de l'architecture des ordinateurs
- Illustration par des exemples

## **TD : 7 séances de TD de 1h30**

- Mieux assimiler les notions de bases
- Analyser un problème et le formaliser
- Apprendre à poser et résoudre des problèmes
- Posséder certaines démarches pour le résoudre

## **TP : 4 séances de TP de 3h00**

- Réaliser et programmer des circuits combinatoires et séquentiels simples
- Savoir réaliser et mettre en pratique les notions vues en cours et en TD

# Emploi du temps

	Mercredi Matin (Grp: A, B, C, D)		
Mercredi	CM	TD	TP
15/09/2021	CM_1 (8h -9h30)		
		TD1 (9h45 - 11h15) (Grp A et B)	
22/09/2021	CM_2 (8h -9h30)	TD1 (11h30 - 13h00) (Grp C et D)	
		TD2 (9h45 - 11h15) (Grp A et B)	
29/09/2021	CM_3 (8h -9h30)	TD2 (11h30 - 13h00) (Grp C et D)	
		TD3 (9h45 - 11h15) (Grp A et B)	
06/10/2021	CM_4 (8h -9h30)	TD3 (11h30 - 13h00) (Grp C et D)	
		TD4 (9h45 - 11h15) (Grp A et B)	
13/10/2021	CM_5 (8h -9h30)	TD4 (11h30 - 13h00) (Grp C et D)	
20/10/2021	CM_6 (8h -9h30)		TP_1(9h45-13h00)
		TD5 (9h45 - 11h15) (Grp A et B)	
27/10/2021		TD5 (11h30 - 13h00) (Grp C et D)	
03/11/2021	Banalisé	Banalisé	Banalisé
10/11/2021			TP_2 (9h45-13h00)
		TD6 (9h45 - 11h15) (Grp A et B)	
17/11/2021		TD6 (11h30 - 13h00) (Grp C et D)	
24/11/2021			TP_3 (9h45-13h00)
		TD7 (9h45 - 11h15) (Grp A et B)	
01/12/2021		TD7 (11h30 - 13h00) (Grp C et D)	
08/12/2021			TP_4 (9h45-13h00)
15/12/2021			
22/12/2021			

# Emploi du temps

	Mercredi après midi (Groupes: E, F, G, H)		
Mercredi	CM	TD	TP
15/09/2021	CM_1 (14h -15h30)		
22/09/2021	CM_2 (14h -15h30)	TD1 (15h45 - 17h15) (Grp EFGH)	
29/09/2021	CM_3 (14h -15h30)	TD2 (15h45 - 17h15) (Grp EFGH)	
06/10/2021	CM_4 (14h -15h30)	TD3 (15h45 - 17h15) (Grp EFGH)	
13/10/2021	CM_5 (14h -15h30)	TD4 (15h45 - 17h15) (Grp EFGH)	
20/10/2021			TP_1(14h00-17h00)
27/10/2021		TD5 (14h00 - 15h30) (Grp EFGH)	
03/11/2021	Banalisé	Banalisé	Banalisé
10/11/2021			TP_2 (14h00-17h00)
17/11/2021		TD6 (14h00 - 15h30) (Grp EFGH)	
24/11/2021			TP_3 (14h00-17h00)
01/12/2021		TD7 (14h00 - 15h30) (Grp EFGH)	
08/12/2021			TP_4 (14h00-17h00)
15/12/2021			
22/12/2021			

# MODALITÉ DE CONTRÔLE DES CONNAISSANCES (MCC)

---

## **En TD (40% de la note finale):**

- Un contrôle de présence à chaque séance
- 2 interrogations de 30 min environ (20% chacune)

## **En TP (20% de la note finale) :**

- 1 TP noté de 1h00 en fin de semestre

## **Contrôle final (40% de la note finale)**

- Épreuve de 1h30 sans document, anonyme
- Questions de cours, exercices....

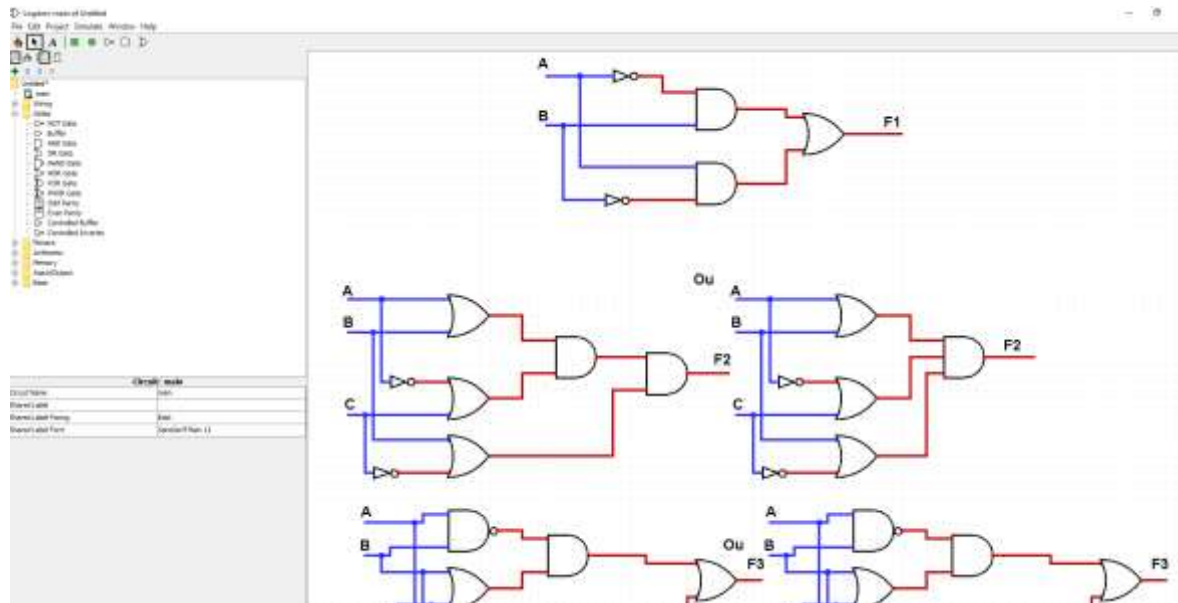
## **Absences seront contrôlées** à chaque séance de TD et TP

- Justificatif en cas d'absence (=>enseignant de TD/TP validé par la scolarité)
- Une influence sur la note de l'UE

# INFOS PRATIQUES

## Environnement et outils de travail

- Linux / windows
- Répertoire utilisateur W:
- **Logisim**: Un outil pour le design et la simulation de circuits logiques numériques
- <https://logisim.fr.uptodown.com>



# Conseils sur la méthode de travail

---

**Pdf = uniquement copies des transparents**

=>Prendre des notes

(en particulier exercices)

Pour vous aider : transparents numérotés

**- Savoir refaire les exercices et les TP**

Temps de travail estimé :

- Après un CM 1h - 1h30
- Après un TD 1h30 - 2h00

**• Cours avec complexité croissante**



# Plan

- 1) **L'algèbre de Boole, la logique combinatoire et les circuits combinatoires**
- 2) **Circuits séquentiels**
- 3) **Représentation et codage des données**



# CM1: Logique combinatoire et les circuits combinatoires

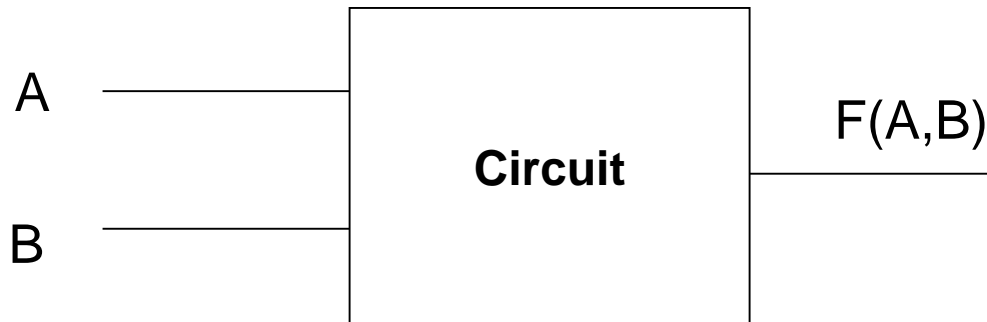
[hamid.ladjal@univ-lyon1.fr](mailto:hamid.ladjal@univ-lyon1.fr)  
[hamid.ladjal@liris.cnrs.fr](mailto:hamid.ladjal@liris.cnrs.fr)

# Logique combinatoire

- L'algèbre de Boole
- Opérateurs de base
- Propriétés et les fonctions combinatoires
- Circuits combinatoires:
  - Multiplexeur et démultiplexeur
  - Codeur, décodeur et transcodeur
  - Additionneur et comparateur....

# Introduction

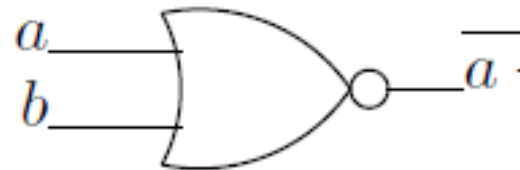
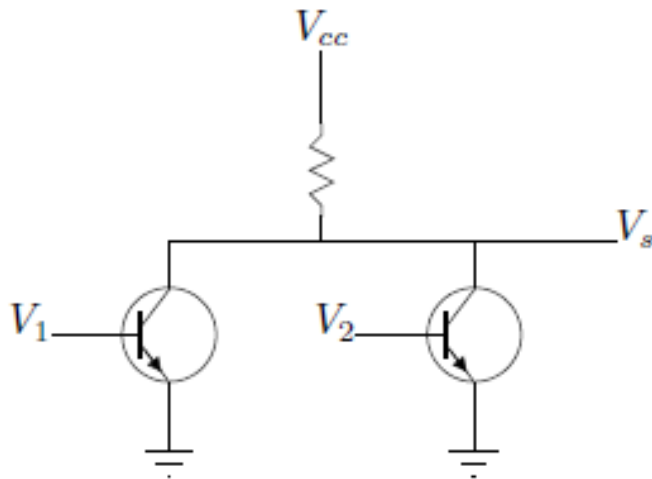
- Les machines numériques (ordinateur, tablette, téléphone...) sont constituées d'un ensemble de **circuits électroniques**.



- Chaque circuit fournit une **fonction logique** bien déterminée; opérations logiques ou arithmétiques (addition, soustraction, comparaison, .....

# Introduction



- Une **fonction logique de base** est réalisée à l'aide des **portes logiques** qui permettent d'effectuer des opérations élémentaires.
- ↓
- Ces **portes logiques** sont aujourd'hui réalisées à l'aide de **transistors**.



# Introduction

---

---

- Pour **concevoir et réaliser** ce circuit on doit avoir un modèle **mathématique de la fonction** réalisée par ce circuit .  

- Ce modèle doit prendre en considération le **système binaire**.  

- Le modèle mathématique utilisé est celui de **Boole**.

# Algèbre de Boole

---

1854 : Georges Boole propose une algèbre

Propositions vraies ou fausses  
et opérateurs possibles  $\longrightarrow$  Algèbre de Boole



Étude des systèmes binaires :

Possédant **deux états s'excluant mutuellement**

C'est le cas des systèmes numériques

(des sous ensembles : les circuits logiques)

# Algèbre binaire

---

---

On se limite : Base de l'algèbre de Boole

Propriétés indispensables aux systèmes logiques

## Définitions :

- **États logiques** : 0 et 1, Vrai et Faux, H et L  
(purement symbolique)
- **Variable logique** : Symbole pouvant prendre  
comme valeur des états logiques (A,b,c, Out ...)
- **Fonction logique** : Expression de variables et d'opérateurs  
(  $f = \text{not}(a) \wedge (c \text{ OR } r.t) )$  )



# Calcul propositionnel

---

Algèbre de Boole sur  $[0,1]$  = algèbre binaire

Structure d'algèbre de Boole

- 2 lois de composition interne (LCI)
- 1 application unaire

2 LCI : ET, OU

- Somme (OU, Réunion, Disjonction)

$$s = a + b = a \vee b$$

- Produit (ET, intersection, Conjonction)

$$s = a \cdot b = ab = a \wedge b$$

Application unaire :

- Not (complémentation, inversion, négation, non)  $s = \bar{a} = \text{not}(a) = \neg a$

# Fonctions logiques

---

**Fonction logique** à  $n$  variables  $f(a,b,c,d,\dots,n)$

$$[0,1]^n \longrightarrow [0,1]$$

- Une fonction logique ne peut prendre que deux valeurs
- Les cas possibles forment un ensemble fini ( $2^n$ )
- La table de fonction logique = **table de vérité**

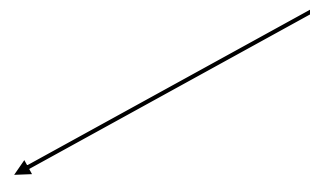
# Opérateurs logiques de base

# OU ( OR )

- Le **OU** est un opérateur binaire ( deux variables) , à pour rôle de réaliser la **somme logique** entre **deux variables logiques**.
- Le OU fait la **disjonction** entre deux variables.
- Le **OU** est défini par  $F(A,B) = A + B$  ( il ne faut pas confondre avec la somme arithmétique )

A	B	A + B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

table de vérité



# ET ( AND )

- Le **ET** est un opérateur binaire ( deux variables) , à pour rôle de réaliser le **Produit logique** entre **deux variables booléennes**.
- Le **ET** fait la **conjonction** entre deux variables.
- Le ET est défini par :  $F(A,B) = A \cdot B$

A	B	$A \cdot B$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

# NON ( négation )

- **NON** : est un opérateur unaire ( une seule variable) qui à pour rôle d'**inverser** la valeur d'une variable .

$$F(A) = \text{Non } A = \overline{A}$$

( lire : A barre )

A	$\overline{A}$
0	1
1	0

# Tables de vérité de ET, OU, NON

	b	0	1
a	0	0	1
	1	1	1

$$s = a + b$$

S est vrai si a OU b est vrai.

a	b	s
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

	b	0	1
a	0	0	0
	1	0	1

$$s = a \cdot b$$

S est vrai si a ET b sont vrais.

a	b	s
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

a	1
1	0

$$s = \bar{a}$$

S est vrai si a est faux

a	s
0	1
1	0

# Deux autres opérateurs : NAND, NOR

a \ b	0	1
0	1	1
1	1	0

$$s = a \uparrow b = \overline{a \cdot b}$$

S est vrai si a OU b est faux.

NAND (Not-AND)

a \ b	0	1
0	1	0
1	0	0

$$s = a \downarrow b = \overline{a + b}$$

S est vrai si ni a, ni b ne sont vrais.

NOR (Not-OR)

**NAND et NOR ne sont pas associatifs**



# Encore un opérateur : XOR

		b	0	1
a	0	0	1	
	1	1	0	

$$s = a \oplus b = a.\bar{b} + \bar{a}.b$$

S est vrai si a OU b est vrai mais pas les deux.

**XOR (Ou-Exclusif)** vaut 1 si a est différent de b  
Opérateur de différence (disjonction)

# Encore un opérateur : XOR

---

**XOR est associatif**  $s = a \oplus b \oplus c \dots \oplus n$

vaut 1 si le nombre de variables à 1 est impair.

$$s = \overline{a \oplus b} = \overline{a} \oplus b = a \oplus \overline{b} = a \text{ XNOR } b$$

**XNOR** =  $\overline{\text{XOR}}$  vaut 1 si  $a = b$

Inverseur programmable : (le programme vaut 0 ou 1)

$$a \oplus 1 = \overline{a} \quad a \oplus 0 = a$$

# Simplification des fonctions logiques

# Simplification /optimisation ?

---

Méthodes «classiques» de simplifications :

- pas de solution unique
- indépendant de la technologie
- le temps n'est pas pris en compte

La simplification «mathématique» n'est pas toujours optimale en regard des critères d'optimisation technologiques.

# Simplification des fonctions logiques

---

- L'objectif de la simplification des fonctions logiques est de :
  - réduire le **nombre de termes** dans une fonction
  - et de réduire le **nombre de variables** dans un terme
- Cela afin de réduire le nombre de **portes logiques** utilisées → **réduire le coût du circuit**
- Plusieurs méthodes existent pour la simplification :
  - 1) **Les méthodes algébriques**
  - 2) **Les méthodes graphiques : ( ex : tableaux de karnaugh )**

# Propriétés de ET,OU,NON

## 1) Les méthodes algébriques

- **Commutativité**

$$a+b = b+a$$

$$a.b = b.a$$

- **Associativité**

$$a+(b+c) = (a+b)+c$$

$$a.(b.c) = (a.b).c$$

- **Distributivité**

$$a.(b+c) = a.b+a.c$$

$$a+(b.c) = (a+b).(a+c)$$

- **Idempotence**

$$a+a = a$$

$$a.a = a$$

- **Absorption**

$$a+a.b = a$$

$$a.(a+b) = a$$

- **Involution**

$$\overline{\overline{a}} = a$$

# Propriétés de ET,OU,NON

## Les méthodes algébriques

- **Élément neutre**

$$a+0 = a$$

$$a.1 = a$$

- **Élément absorbant**

$$a+1 = 1$$

$$a.0 = 0$$

- **Inverse**

$$a+\bar{a} = 1$$

$$a.\bar{a} = 0$$

- **Théorème de "De Morgan"**

$$\overline{a+b} = \bar{a} . \bar{b}$$

$$\overline{a.b} = \bar{a} + \bar{b}$$

$$\overline{\sum_i x_i} = \prod_i \bar{x}_i$$

$$\overline{\prod_i x_i} = \sum_i \bar{x}_i$$

- **Théorème du Consensus**

$$a.x+b.\bar{x}+a.b = a.x+b.\bar{x}$$

$$(a+x)(\bar{b}+x)(a+b)=(a+x)(\bar{b}+x)$$

# Propriétés de ET,OU,NON

---

## Exercice 1:

Démontrez la proposition suivante :

$$ABC + A\bar{B}\bar{C} + A\bar{B}CD = AB + ACD$$

$$A\bar{B}C + \bar{A}BC + A\bar{B}C + ABC\bar{C} = BC + AC + AB$$



# Propriétés de ET,OU,NON

## Correction

$$\begin{aligned}ABC + AB\bar{C} + A\bar{B}CD &= AB(C + \bar{C}) + A\bar{B}CD \\ &= AB + A\bar{B}CD \\ &= A(B + \bar{B}(CD)) \\ &= A(B + CD) \\ &= AB + ACD\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A.B.C + \bar{A}.B.C + A.\bar{B}.C + A.B.\bar{C} &= \\ A.B.C + \bar{A}.B.C + A.B.C + A.\bar{B}.C + ABC + A.B.\bar{C} &= \\ B.C + A.C + A.B &= \end{aligned}$$

# Simplification par la table de Karnaugh

# Description de la table de karnaugh

---

---

- La méthode consiste à mettre en évidence par une méthode **graphique** (un tableau ) tous les termes qui sont adjacents (qui ne diffèrent que par **l'état d'une seule variable**).
- Un tableau de Karnaugh = table de vérité de  $2^n$  cases avec un changement unique entre 2 cases voisines d'où des codes cycliques (Gray ou binaire réfléchi).
- La méthode peut s'appliquer aux fonctions logiques de **2,3,4,5 et 6 variables**.
- Les tableaux de Karnaugh comportent  **$2^n$  cases** ( n: est le nombre de variables ).

# Description de la table de karnaugh

---

## Règles de regroupement :

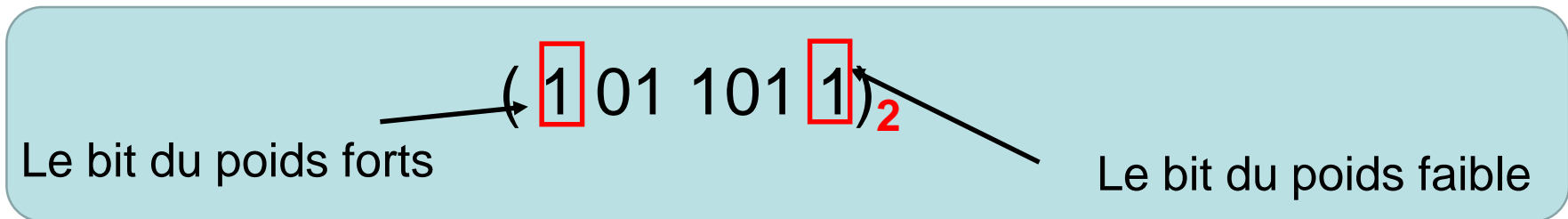
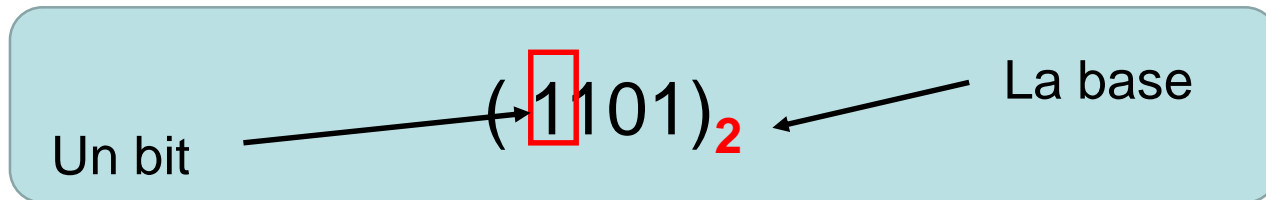
- groupe de  $2^n$  cases : 1,2,4 ou 8
- en ligne, colonne, rectangle, carré, mais pas diagonale
- tous les 1, mais pas les 0 au moins une fois dans les groupements

## Règles de minimisation de la fonction :

- rechercher les groupements en commençant par les cases qui n'ont qu'une seule façon de se grouper
- rechercher les groupements les plus grands
- les groupements doivent contenir au moins un 1 non utilisé par les autres groupements
- L'expression logique finale est la réunion ( la somme ) des groupements après simplification et élimination des variables qui changent d'état.

# Systeme binaire

- Dans le systeme binaire, pour exprimer n'importe quelle valeur on utilise uniquement 2 symboles : { 0 , 1 }



- Un nombre dans la base 2 peut être écrit aussi sous la forme polynomiale

# Systeme binaire

## Exemple

- Sur un seul bit : 0 , 1

- Sur 2 bits :

Binaire	Décimal
00	0
01	1
10	2
11	3

$$2^1 2^0$$

**4 combinaisons =  $2^2$**

## Sur 3 Bits

$$2^2 2^1 2^0$$

Binaire	Décimal
000	0
001	1
010	2
011	3
100	4
101	5
110	6
111	7

**8 combinaisons =  $2^3$**

## Sur 4 Bits

Binaire	Décimal
0000	0
0001	1
0010	2
0011	3
0100	4
0101	5
0110	6
0111	7
1000	8
1001	9
1010	10
1011	11
1100	12
1101	13
1110	14
1111	15

**16 combinaisons =  $2^4$**

# Description de la table de karnaugh

	A		
B			
		0	1
0			
1			

**Tableau à 2 variables**

		AB				
C						
			00	01	11	10
0						
1						

**Tableaux à 3 variables**

# Tableaux de Karnaugh

$f(a,b,c,d, \dots, n)$  fonction logique à  $N$  entrées sera représentée par  
une table à  $2^N$  lignes  
un tableau à  $2^N$  cases

a b c	$f(a,b,c)$
0 0 0	0
0 0 1	1
0 1 0	0
0 1 1	0
1 0 0	1
1 0 1	0
1 1 0	0
1 1 1	1

A Karnaugh map for the function  $f(a,b,c)$ . The vertical axis is labeled 'a' with values 0 and 1. The horizontal axis is labeled 'bc' with values 00, 01, 11, and 10. The cells contain the function values: (0,00)=0, (0,01)=1, (0,11)=0, (0,10)=0, (1,00)=1, (1,01)=0, (1,11)=1, (1,10)=0. The header row (00, 01, 11, 10) is circled in black, and an arrow points from this circle to the text on the right.

a \ bc	00	01	11	10
0	0	1	0	0
1	1	0	1	0

Code Gray ou  
binaire réfléchi  
=  
1 seul changement  
entre 2 codes  
successifs



# Tableaux de Karnaugh

## Exemple 1 : 3 variables

		AB			
		00	01	11	10
C	0	0	0	1	0
	1	1	1	1	1

$$F(A, B, C) = C + AB$$

# Tableaux de Karnaugh

## Exemple 2 : 4 variables

		AB			
		00	01	11	10
CD	00	0	0	0	1
	01	1	1	1	1
	11	0	0	0	0
	10	0	1	0	0

$$F(A, B, C, D) = \overline{C}.D + A.\overline{B}.\overline{C} + \overline{A}.B.C.\overline{D}$$

# Tableaux de Karnaugh

## Exemple 3 : 4 variables

		AB			
		00	01	11	10
CD	00	1			1
	01		1	1	1
	11				1
	10	1			1

$$F(A, B, C, D) = \overline{A}\overline{B} + \overline{B}\overline{D} + \overline{B}C\overline{D}$$

# Tableaux de Karnaugh

## Exemple 4 : 5 variables

		AB			
		00	01	11	10
CD	00	1			
	01	1		1	
	11	1		1	
	10	1			

U = 0

		AB			
		00	01	11	10
CD	00	1			
	01	1			1
	11	1			1
	10	1	1		

U = 1

$$F(A,B,C,D,U) = \bar{A}\bar{B} + A.B.D.\bar{U} + \bar{A}.C.\bar{D}.U + A.\bar{B}.D.U$$

# Exercice

Trouver la forme simplifiée des fonctions à partir des deux tableaux ?

		AB			
		00	01	11	10
C	0		1	1	1
	1	1		1	1

CD	AB			
	00	01	11	10
00	1		1	1
01				
11				
10	1	1	1	1

# Logique multi-niveaux

On peut généraliser l'algèbre binaire à plus de 2 niveaux

a \ b	0	1	Z	X
0	0	X	0	X
1	X	1	1	X
Z	0	1	Z	X
X	X	X	X	X

0 logique

1 logique

Z déconnecté

X inconnu

# Logique multi-niveaux

- Pour les cas impossibles ou interdites il faut mettre un **X** dans la T.V .
- Les cas impossibles sont représentées aussi par des **X** dans la table de karnaugh

		AB			
		00	01	11	10
CD	00			1	
	01		1	X	X
	11	1	1	X	X
	10		1	1	1

A	B	C	D	S
0	0	0	0	0
0	0	0	1	0
0	0	1	0	0
0	0	1	1	1
0	1	0	0	0
0	1	0	1	1
0	1	1	0	1
0	1	1	1	1
1	0	0	0	0
1	0	0	1	X
1	0	1	0	1
1	0	1	1	X
1	1	0	0	1
1	1	0	1	X
1	1	1	0	1
1	1	1	1	X

# Tableaux de Karnaugh

- Il est possible d'utiliser les **X** dans des regroupements :
  - Soit les prendre comme étant des **1**
  - Ou les prendre comme étant des **0**
- Il ne faut pas former des regroupement qui contient uniquement des **X**

		AB			
		00	01	11	10
CD	00			1	
	01		1	X	X
	11	1	1	X	X
	10		1	1	1

**AB**



# Tableaux de Karnaugh

		AB			
		00	01	11	10
CD	00			1	
	01		1	X	X
	11	1	1	X	X
	10		1	1	1

$$AB + CD$$

# Tableaux de Karnaugh

		AB			
		00	01	11	10
CD	00			1	
	01		1	X	X
	11	1	1	X	X
	10		1	1	1

$$AB + CD + BD$$

# Tableaux de Karnaugh

CD \ AB	00	01	11	10
00			1	
01		1	X	X
11	1	1	X	X
10		1	1	1

$$AB + CD + BD + AC$$

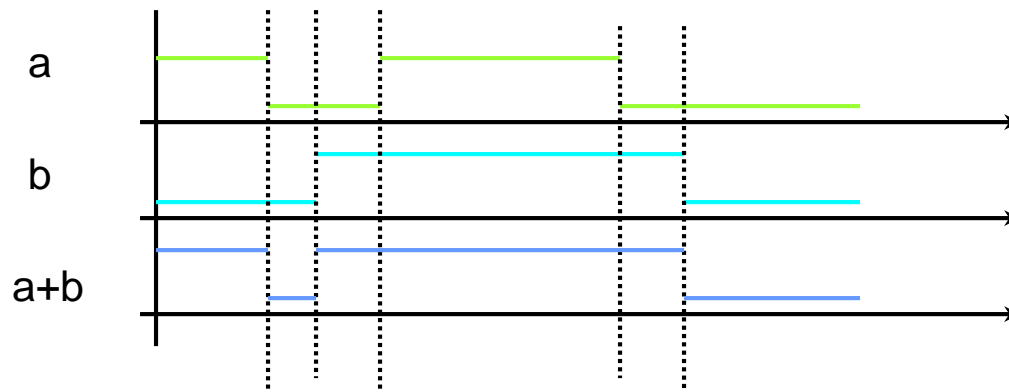
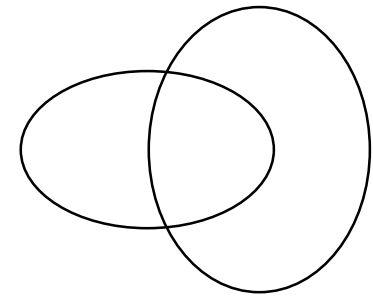
# Tableaux de Karnaugh

		AB			
		00	01	11	10
CD	00			1	
	01		1	X	X
	11	1	1	X	X
	10		1	1	1

$$AB + CD + BD + AC + BC$$

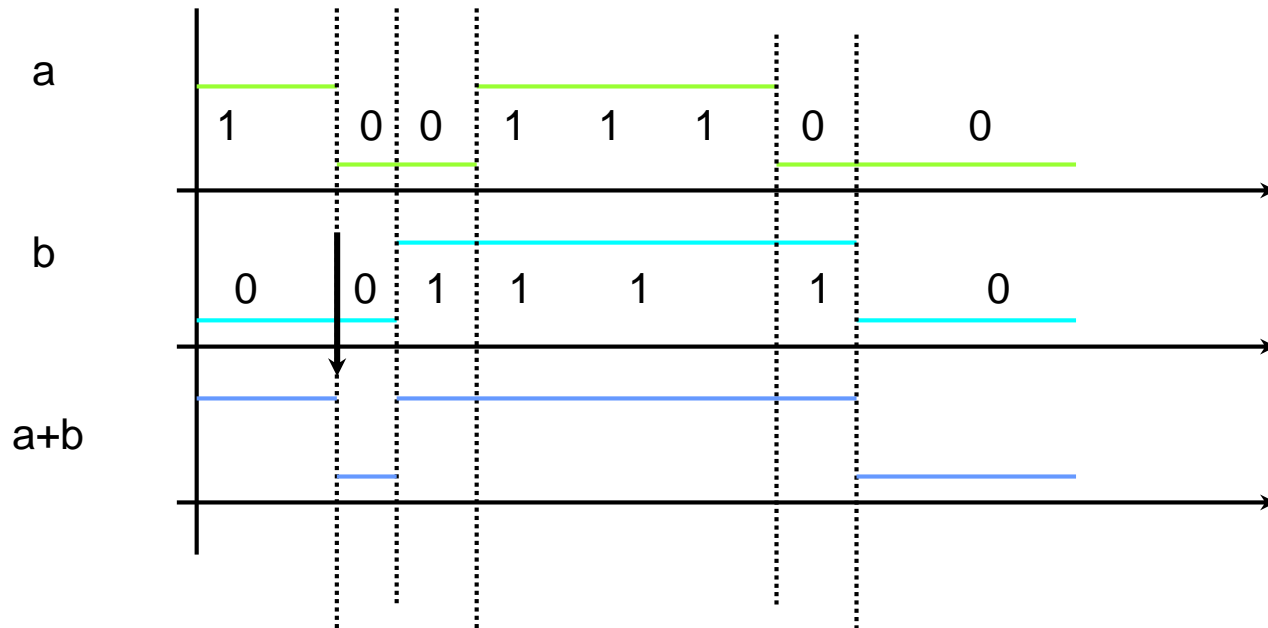
# Représentation des fonctions

- Diagramme de Venn ou d'Euler  
vue ensembliste
- Table de vérité
- Tableau de Karnaugh
- Équation logique ex:  $f(a,b)=a+b$
- **Chronogramme** : Graphe d'évolution temporelle



# Chronogrammes

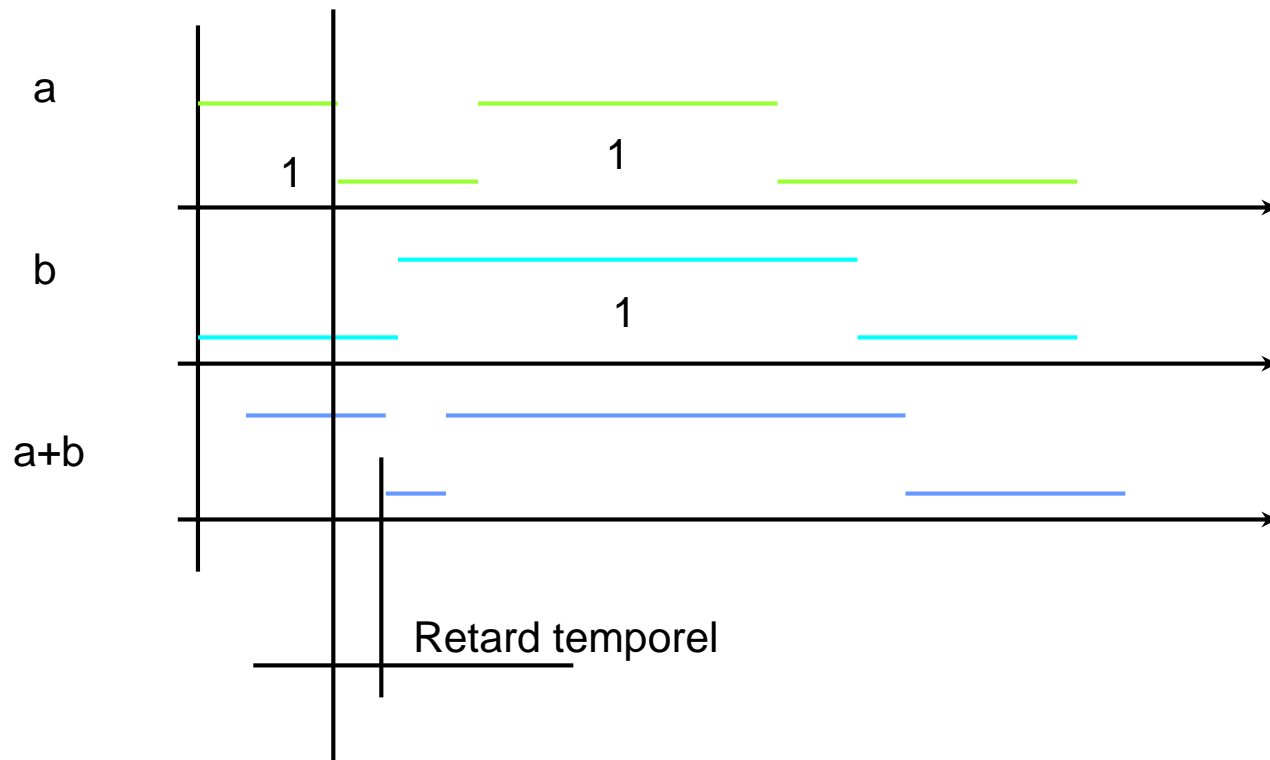
Plusieurs niveaux d'abstraction :  
fonctionnel,



# Chronogrammes

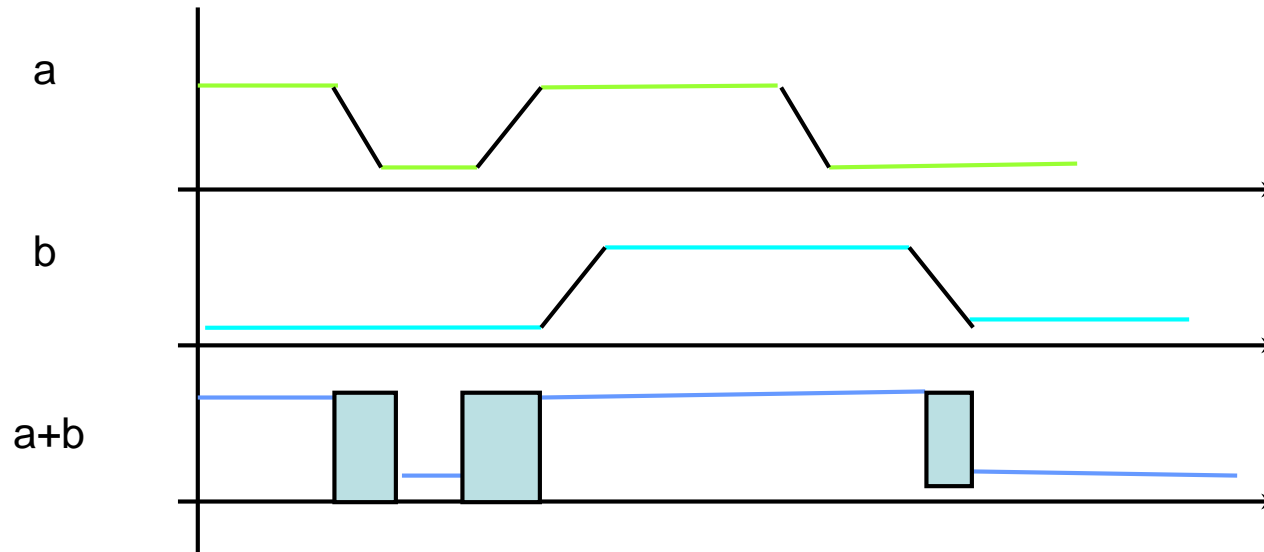
Plusieurs niveaux d'abstraction :

temporel



# Chronogrammes

Plusieurs niveaux d'abstraction :  
analogique symbolique





# Réalisation en électronique

---

---

0/1 représentés par des tensions, courants, charges, fréquences,  
....

Classiquement TENSIONS : Niveau haut = H (le plus positif)  
Niveau bas = L (B) (le plus négatif)

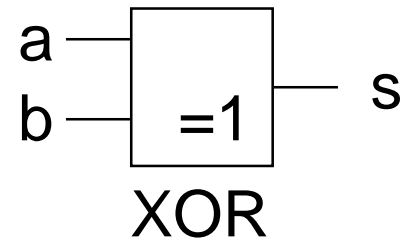
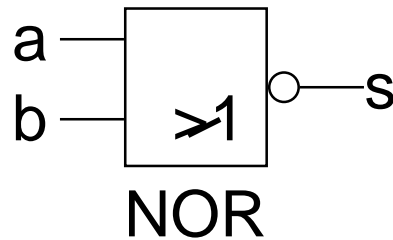
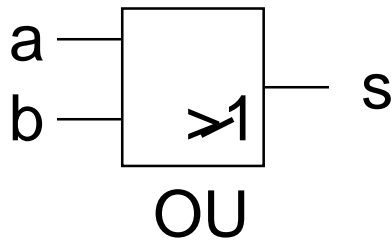
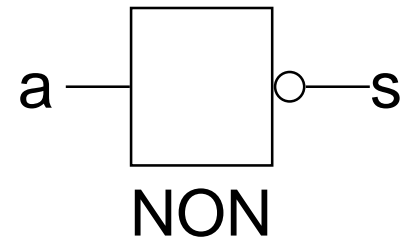
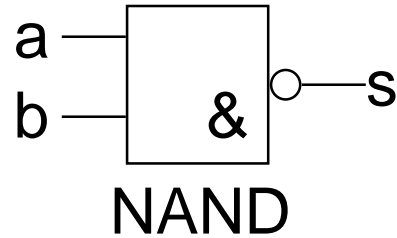
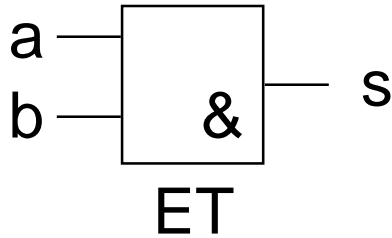
Association d'une information binaire à un niveau :

Convention positive                      H  $\longrightarrow$  1  
(ou logique positive)                    L  $\longrightarrow$  0

Convention négative                      H  $\longrightarrow$  0  
(ou **logique négative**)                    L  $\longrightarrow$  1

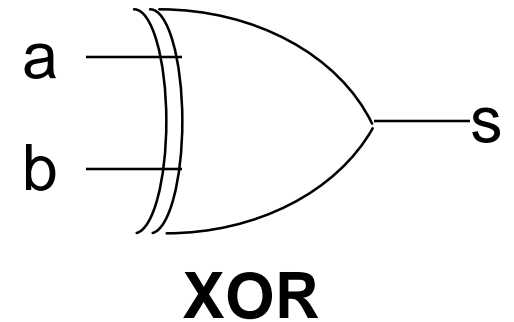
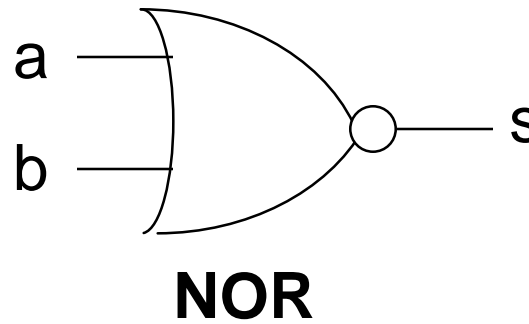
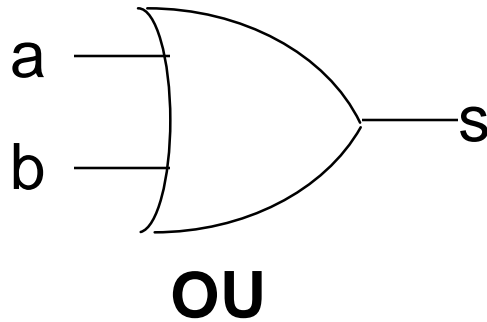
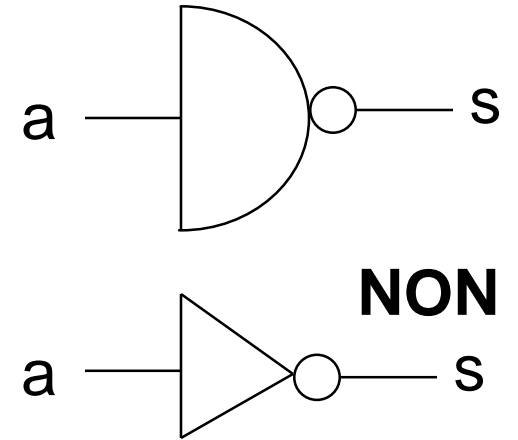
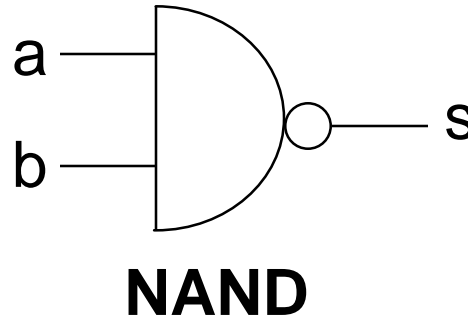
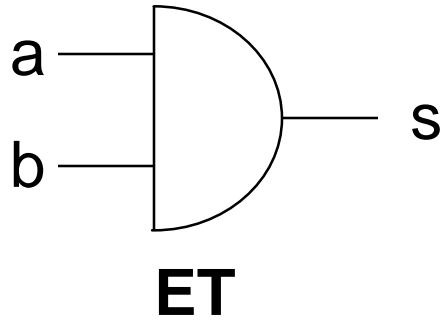
# Représentation graphique : Norme française

Les portes logiques:



# Représentation graphique : Norme américaine

Les portes logiques:

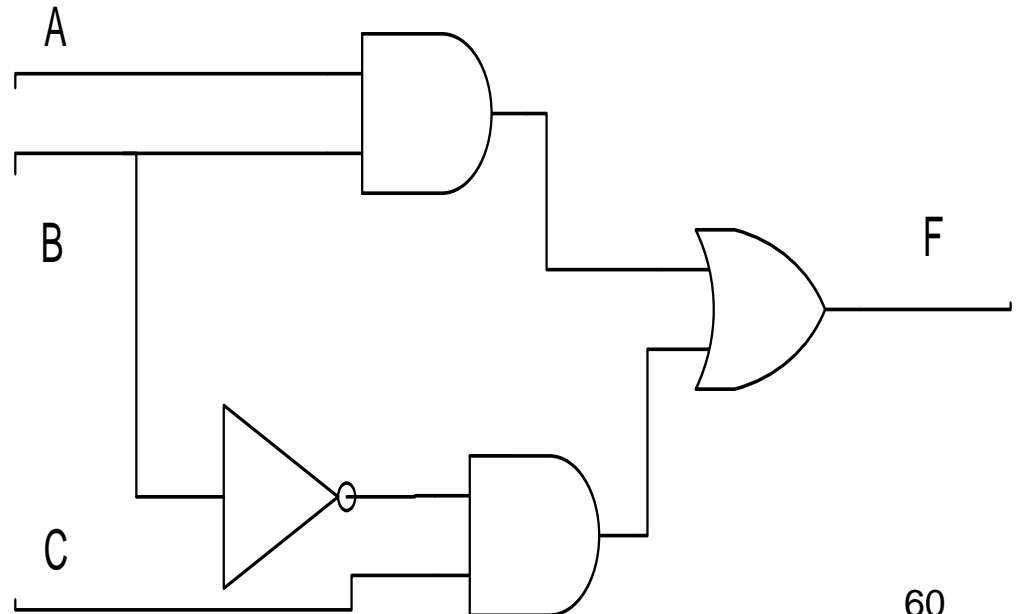


# Schéma d'un circuit logique ( Logigramme)

- Un logigramme est la traduction de la fonction logique en un schéma électronique.
- Le principe consiste à remplacer chaque **opérateur logique** par la **porte logique** qui lui correspond.

## Exemple 1

$$F(A, B, C) = A.B + \overline{B}.C$$



---

---

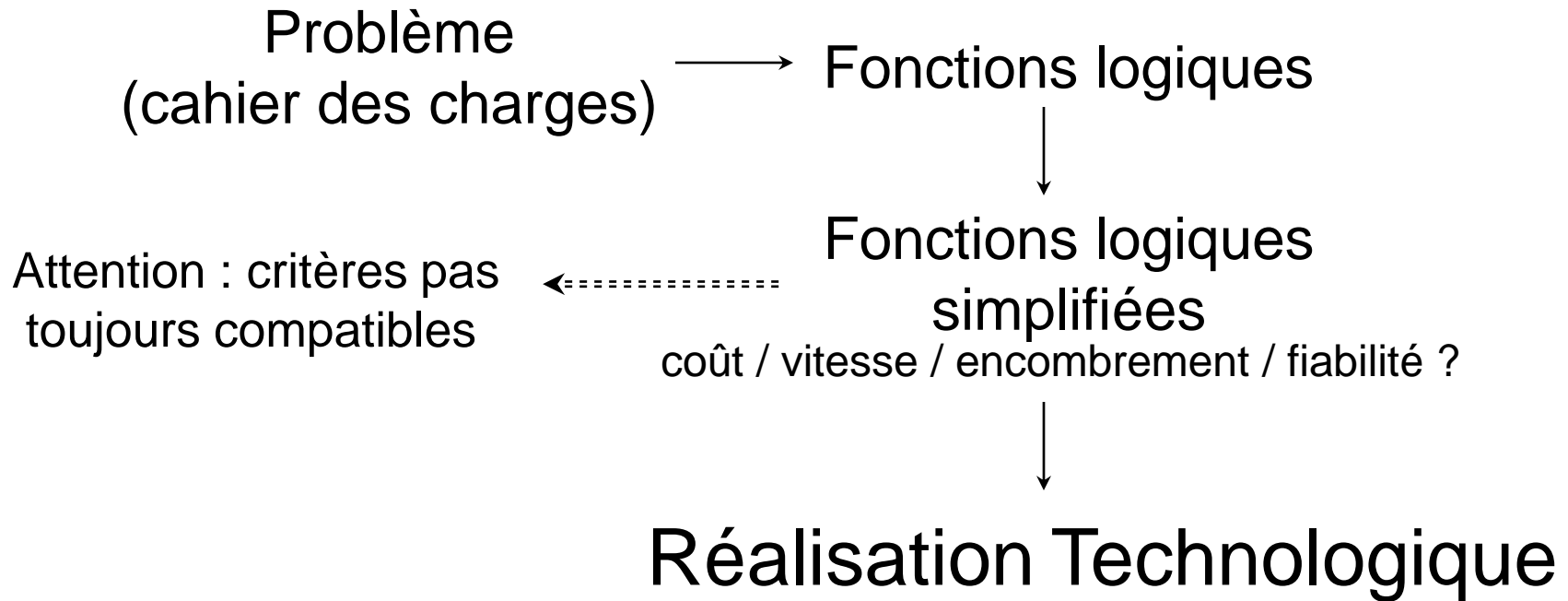
# Les circuits combinatoires

---

---

# Moyens physiques de réalisation des fonctions logiques

---



# Les circuits combinatoires

---

## Objectifs

- Apprendre la structure de quelques **circuits combinatoires souvent utilisés** ( multiplexeur, codeur et decodeur, demi additionneur , additionneur complet,.....).
- Apprendre **comment utiliser** des circuits combinatoires pour concevoir d'autres circuits **plus complexes**.

# Circuits combinatoires

- Un circuit combinatoire est un circuit numérique dont **les sorties** dépendent uniquement **des entrées**.
- $S_i = F(E_i)$
- $S_i = F(E_1, E_2, \dots, E_n)$

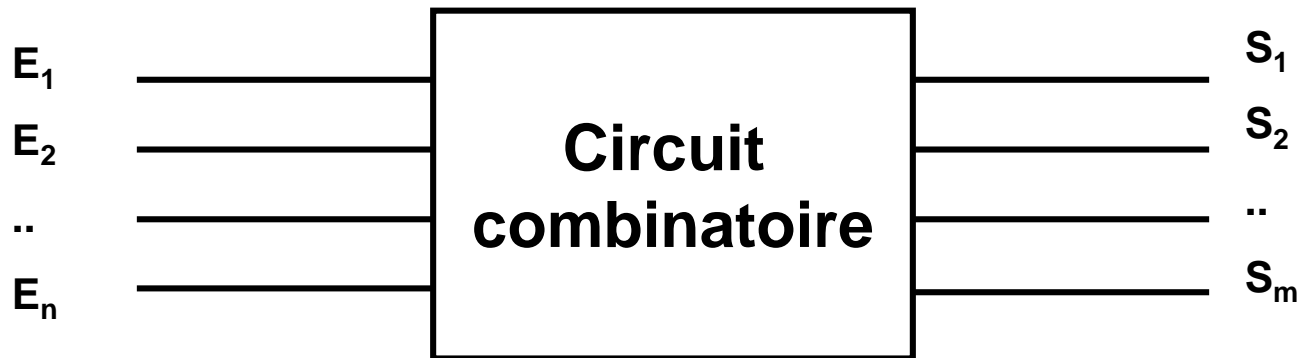


Schéma Bloc

- C'est possible d'utiliser des circuits combinatoires pour réaliser d'autres circuits **plus complexes**.



# Composants combinatoires

---

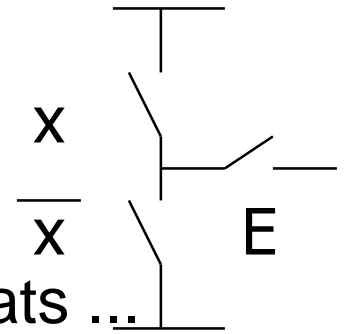
- Inverseurs
- Multiplexeur / démultiplexeur
- Codeurs / Décodeurs
- Transcodeurs
- Additionneur, comparateurs
- Unité arithmétique et logique UAL

# Portes intégrées

Options technologiques : familles logiques  
(TTL, CMOS, BiCMOS, ECL ..)

Entrées : classique, triggée

Sorties : collecteur (drain) ouvert, sortie 3 états ...



## Remarque 1 :

10 entrées =  $2^{10}$  fonctions possibles

⇒ Choix des meilleures fonctions

# Portes intégrées

---

## Remarque 2:

Problème du nombre de boîtiers pour réaliser une fonction logique  $\longrightarrow$  INTEGRATION

SSI (*small scale integration*) petite : inférieur à 12 portes

MSI (*medium*) moyenne : 12 à 99

LSI (*large*) grande : 100 à 9999

VLSI (*very large*) très grande : 10 000 à 99 999

ULSI (*ultra large*) ultra grande : 100 000 et plus

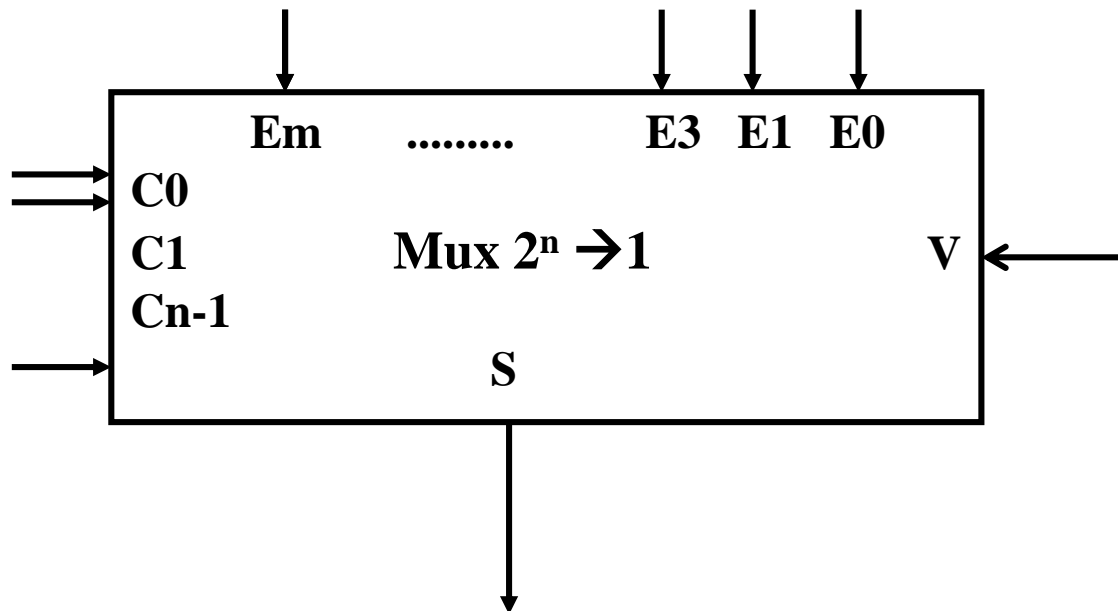
## Remarque 3:

Une manière d'augmenter la puissance de traitement est de construire des **CI dédiés** à une application

(**ASIC** pour *Application Specific Integrated Circuit*)

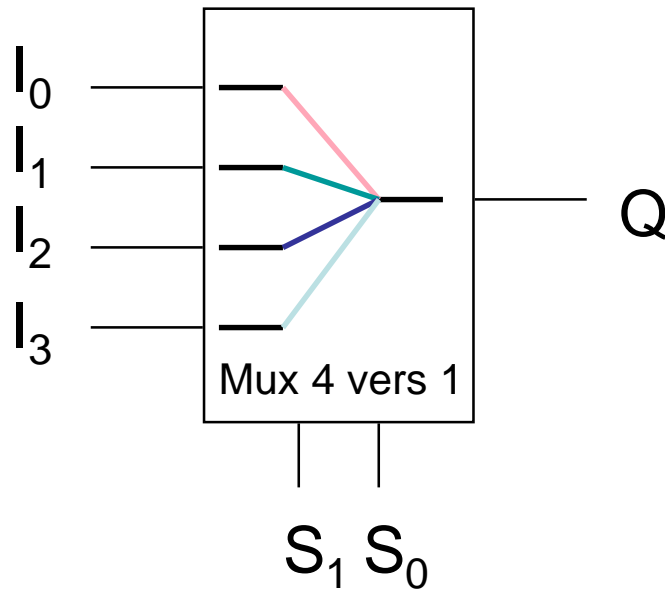
# Multiplexeur

- Un multiplexeur est un circuit combinatoire qui permet de **sélectionner une information** (1 bit) parmi  **$2^n$  valeurs en entrée**.
- Il possède :
  - $2^n$  entrées d'information
  - Une seule sortie
  - N entrées de sélection ( commandes)



# Multiplexeur 4 → 1

Sélection d'une voie parmi  $2^N$  par  $N$  bits de commande



Si  $(S_1 S_0)_2 = (0)_{10}$  alors  $Q = I_0$   
 $Q = \overline{S_1} \cdot \overline{S_0} \cdot I_0$

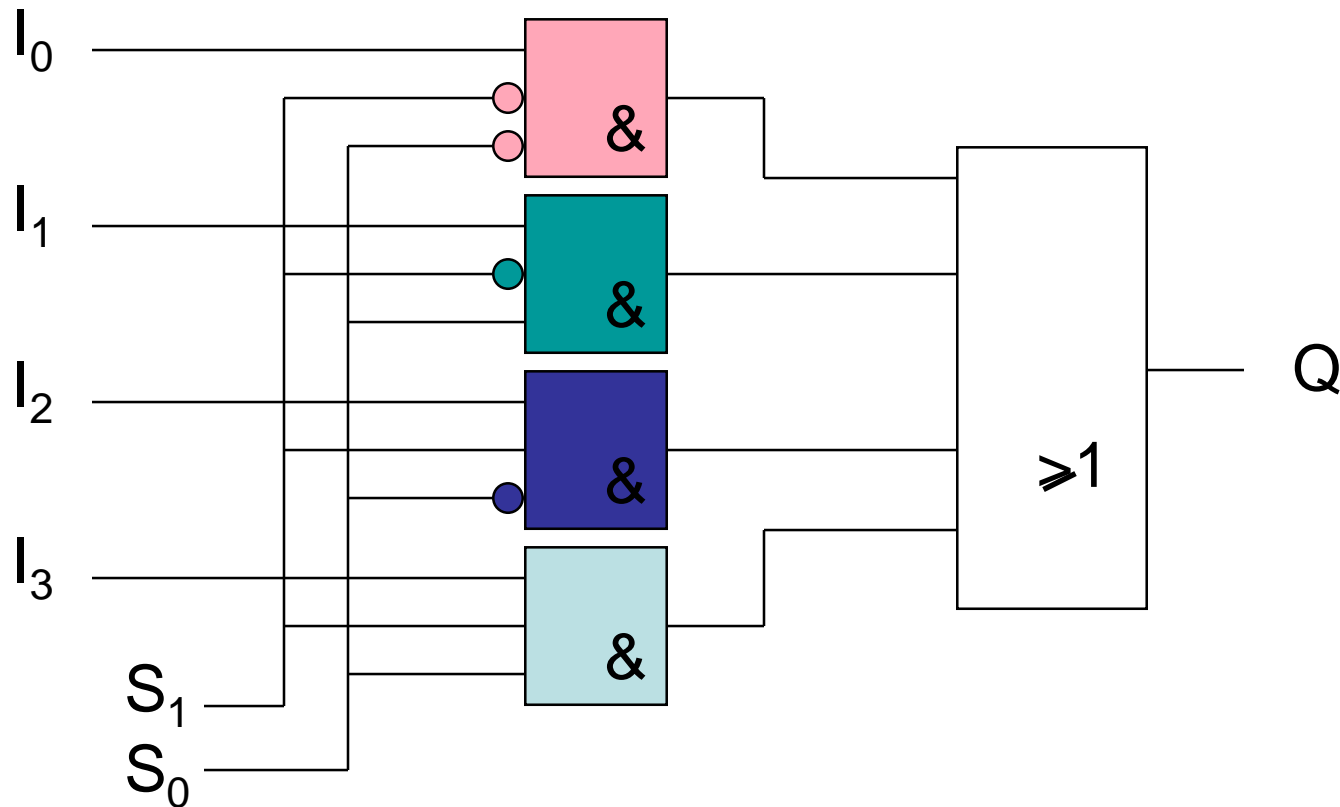
Si  $(S_1 S_0)_2 = (1)_{10}$  alors  $Q = I_1$   
 $Q = \overline{S_1} \cdot S_0 \cdot I_1$

S1	S0	Q
0	0	$I_0$
0	1	$I_1$
1	0	$I_2$
1	1	$I_3$

$$Q = \overline{S_1} \cdot \overline{S_0} \cdot I_0 + \overline{S_1} \cdot S_0 \cdot I_1 + S_1 \cdot \overline{S_0} \cdot I_2 + S_1 \cdot S_0 \cdot I_3$$

# Multiplexeur (logigramme)

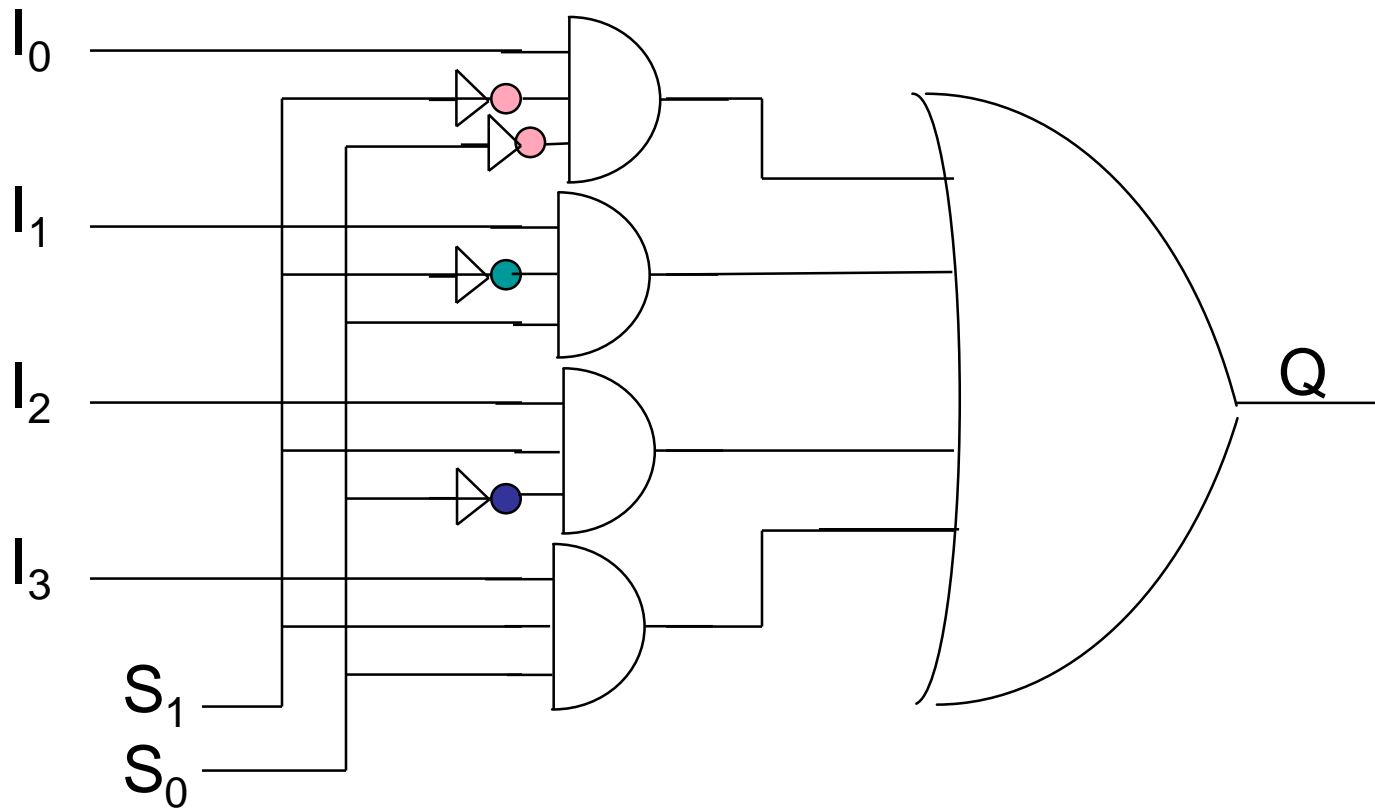
$$Q = \overline{S_1} \cdot \overline{S_0} \cdot I_0 + \overline{S_1} \cdot S_0 \cdot I_1 + S_1 \cdot \overline{S_0} \cdot I_2 + S_1 \cdot S_0 \cdot I_3$$



**Applications :** La conversion parallèle / série d'informations

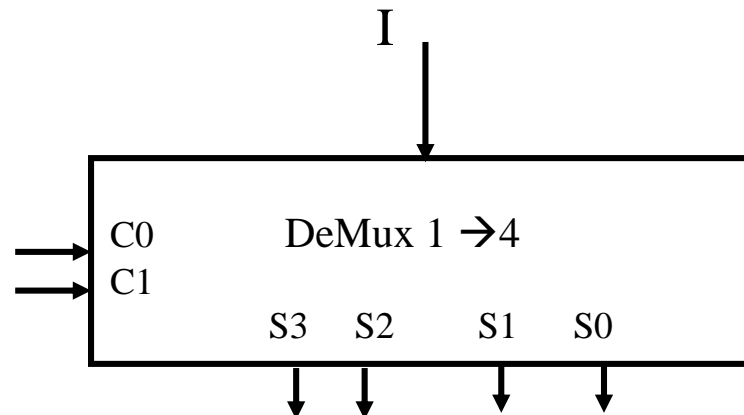
# Multiplexeur (logigramme)

$$Q = \overline{S_1} \cdot \overline{S_0} \cdot I_0 + \overline{S_1} \cdot S_0 \cdot I_1 + S_1 \cdot \overline{S_0} \cdot I_2 + S_1 \cdot S_0 \cdot I_3$$



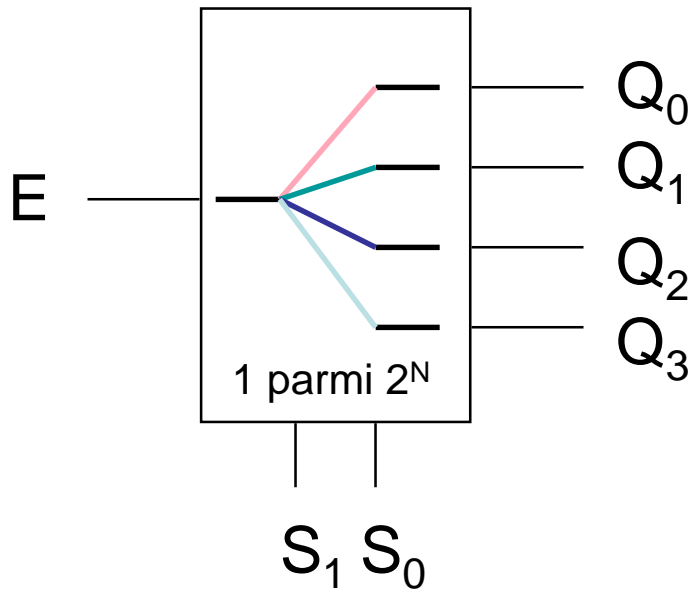
# Démultiplexeur

- Il joue le rôle inverse d'un multiplexeurs, il permet de faire passer une information dans l'une des sorties selon les valeurs des entrées de commandes.
- Il possède :
  - une seule entrée
  - $2^n$  sorties
  - N entrées de sélection ( commandes)





# Démultiplexeur : 1 parmi $2^n$



$$Q_0 = E \text{ si } (S_1 S_0)_2 = 0$$

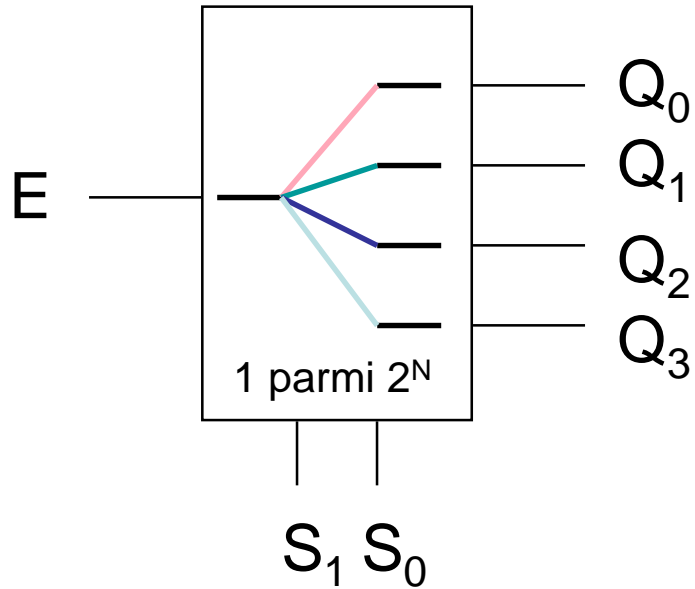
0 sinon

$$Q_1 = E \text{ si } (S_1 S_0)_2 = 1$$

0 sinon

Remarque :  $E$  peut ne pas être « disponible »  
Sortie sélectionnée = 1 les autres 0  
ou Sortie sélectionnée = 0 les autres 1

# Démultiplexeur : 1 → 4



$$Q_0 = \overline{S_1} \cdot \overline{S_0} \cdot (E)$$

$$Q_1 = \overline{S_1} \cdot S_0 \cdot (E)$$

$$Q_2 = S_1 \cdot \overline{S_0} \cdot (E)$$

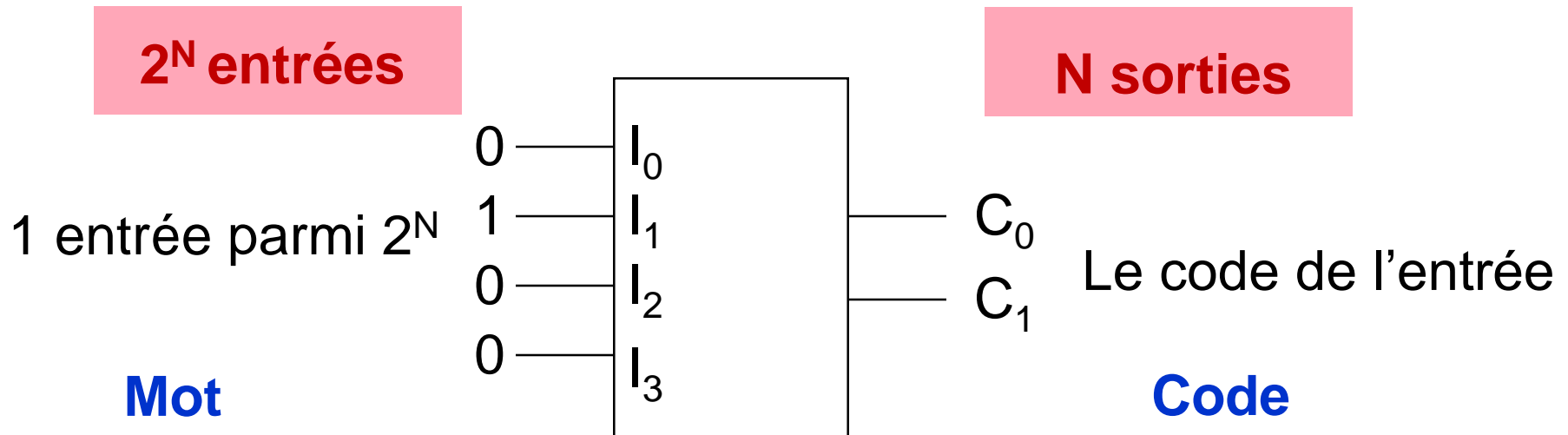
$$Q_3 = S_1 \cdot S_0 \cdot (E)$$

S <sub>1</sub>	S <sub>0</sub>		Q <sub>3</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>1</sub>	Q <sub>0</sub>
0	0		0	0	0	E
0	1		0	0	E	0
1	0		0	E	0	0
1	1		E	0	0	0

Table de vérité

# Codeur (ou Encodeur)

*Faire correspondre un mot code à un symbole*



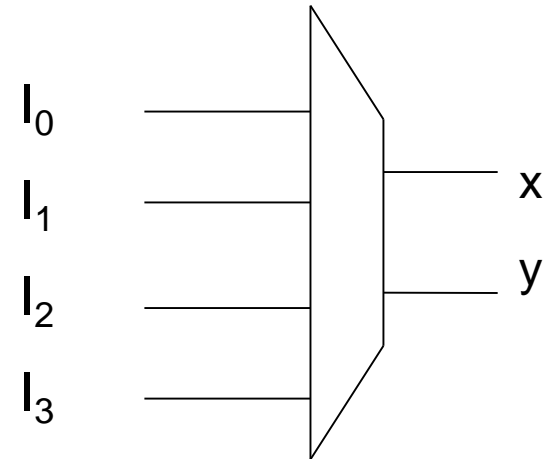
Traduit le rang de l'entrée active en un code binaire

Exemple : Clavier / Scan code  
Caractère / Code ASCII

# L'encodeur binaire ( 4→2)

Table de vérité

$I_0$	$I_1$	$I_2$	$I_3$		$x$	$y$
0	0	0	0		0	0
1	x	x	x		0	0
0	1	x	x		0	1
0	0	1	x		1	0
0	0	0	1		1	1



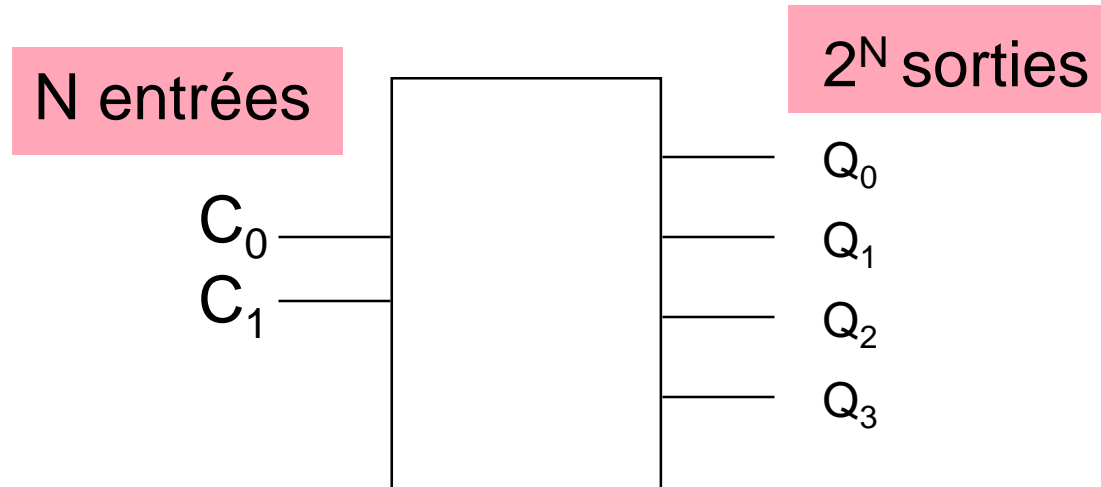
## Equations

$$X = \overline{I_0} \cdot \overline{I_1} \cdot (I_2 + I_3)$$

$$Y = \overline{I_0} \cdot (I_1 + \overline{I_2} \cdot I_3)$$

# Le décodeur binaire

- C'est un circuit combinatoire qui est constitué de :
  - N : entrées de données
  - $2^n$  sorties
  - Pour chaque combinaison en entrée une seule sortie est active à la fois

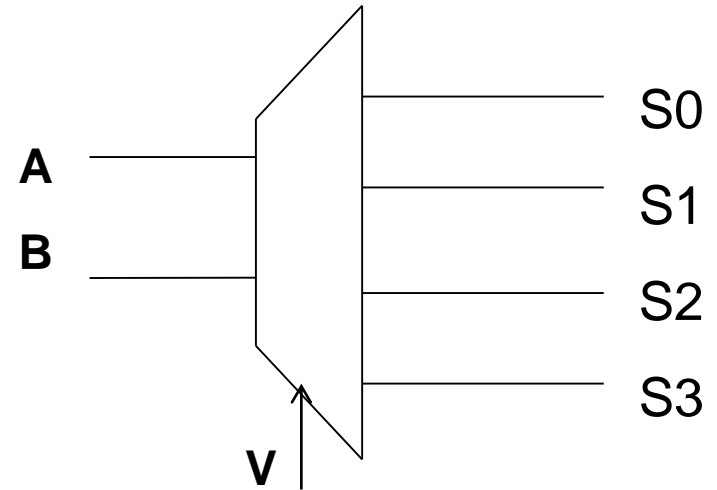


Active la ligne de sortie correspondant au code binaire présent en entrée

# Décodeur 2→4

Table de vérité

V	A	B	S0	S1	S2	S3
0	X	X	0	0	0	0
1	0	0	1	0	0	0
1	0	1	0	1	0	0
1	1	0	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	1



$$S_0 = (\overline{A}.\overline{B}).V$$

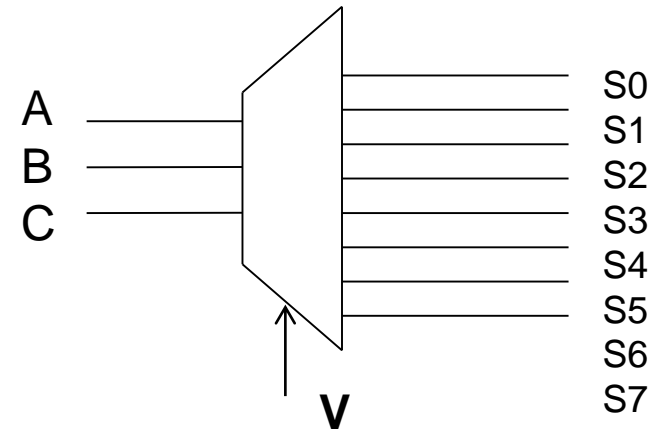
$$S_1 = (\overline{A}.B).V$$

$$S_2 = (A.\overline{B}).V$$

$$S_3 = (A.B).V$$

# Décodeur 3→8

A	B	C	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1



$$S_0 = \overline{A}.\overline{B}.\overline{C}$$

$$S_1 = \overline{A}.\overline{B}.C$$

$$S_2 = \overline{A}.B.\overline{C}$$

$$S_3 = \overline{A}.B.C$$

$$S_4 = A.\overline{B}.\overline{C}$$

$$S_5 = A.\overline{B}.C$$

$$S_6 = A.B.\overline{C}$$

$$S_7 = A.B.C$$

Remarque :

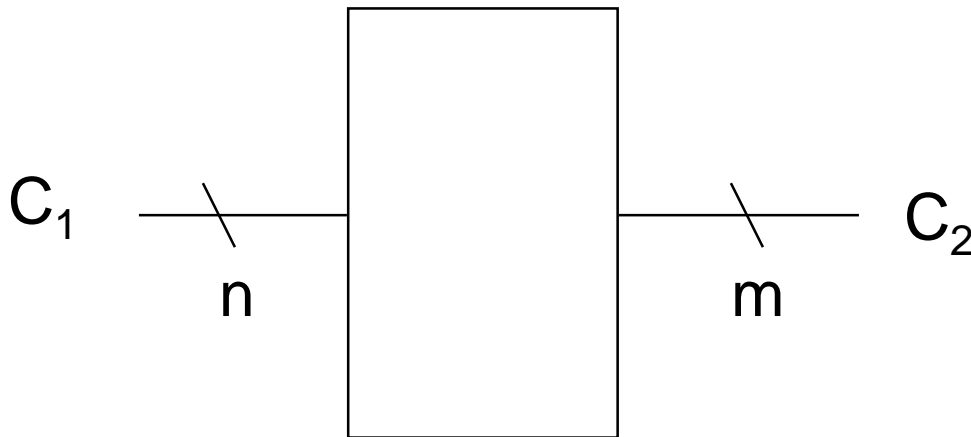
Multiplexeur ↔ Démultiplexeur  
 Codeur ↔ Décodeur

# Transcodeur

---

C'est un circuit combinatoire qui permet de transformer un code  $X$  ( sur  $n$  bits) en entrée en un code  $Y$  ( sur  $m$  bits) en sortie.

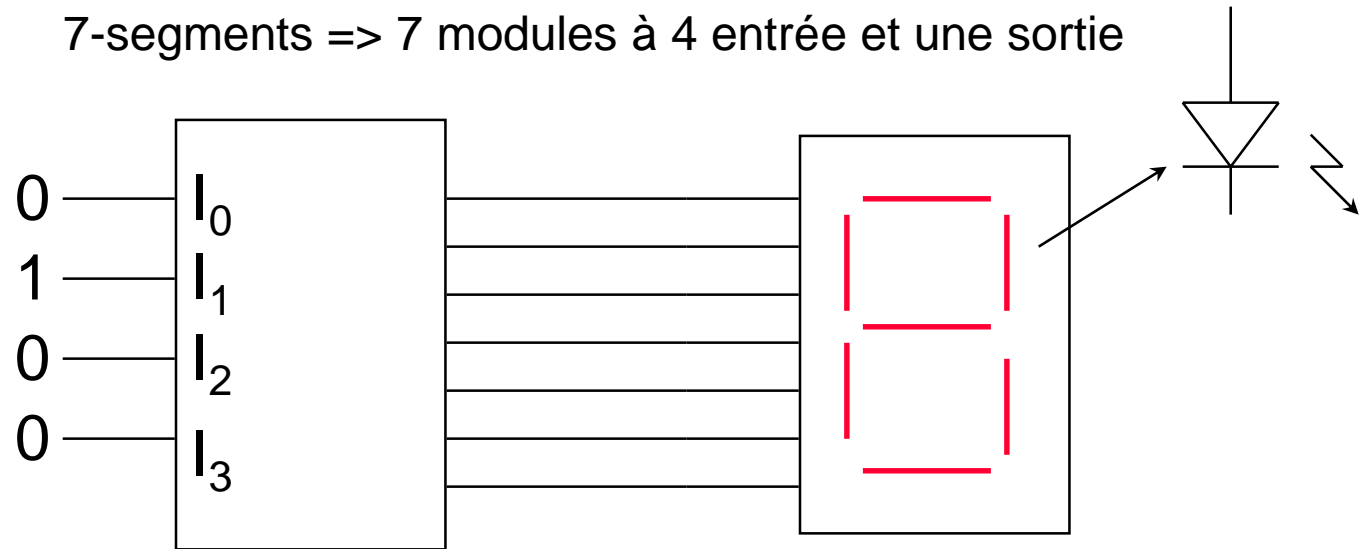
Passage d'un code  $C_1$  à un code  $C_2$





# Transcodeur : exemple

7-segments => 7 modules à 4 entrée et une sortie



Code binaire 0 à 9

Configuration alimentation  
des diodes (ou LCD)

Exemples de code :

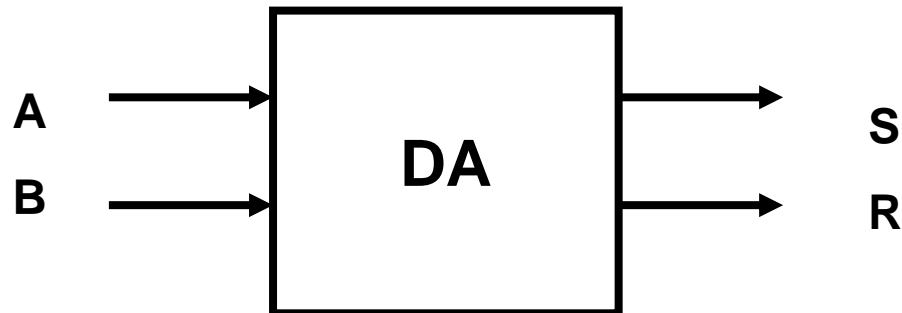
Binaire, binaire réfléchi, 7-segments, BCD, ...

# Additionneur

---

---

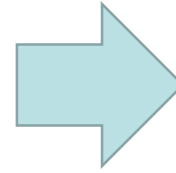
- Le **demi additionneur** est un circuit combinatoire qui permet de réaliser la **somme arithmétique** de deux nombres A et B chacun sur **un bit**.
- A la sortie on va avoir la **somme S et la retenue R** ( Carry).



Pour trouver la structure ( le schéma ) de ce circuit on doit en premier dresser sa table de vérité

# Demi Additionneur

- En binaire l'addition sur un seul bit se fait de la manière suivante:



$$\left\{ \begin{array}{l} 0 + 0 = 00 \\ 0 + 1 = 01 \\ 1 + 0 = 01 \\ 1 + 1 = 10 \end{array} \right.$$

- La table de vérité associée :

A	B	R	S
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0

De la table de vérité on trouve :

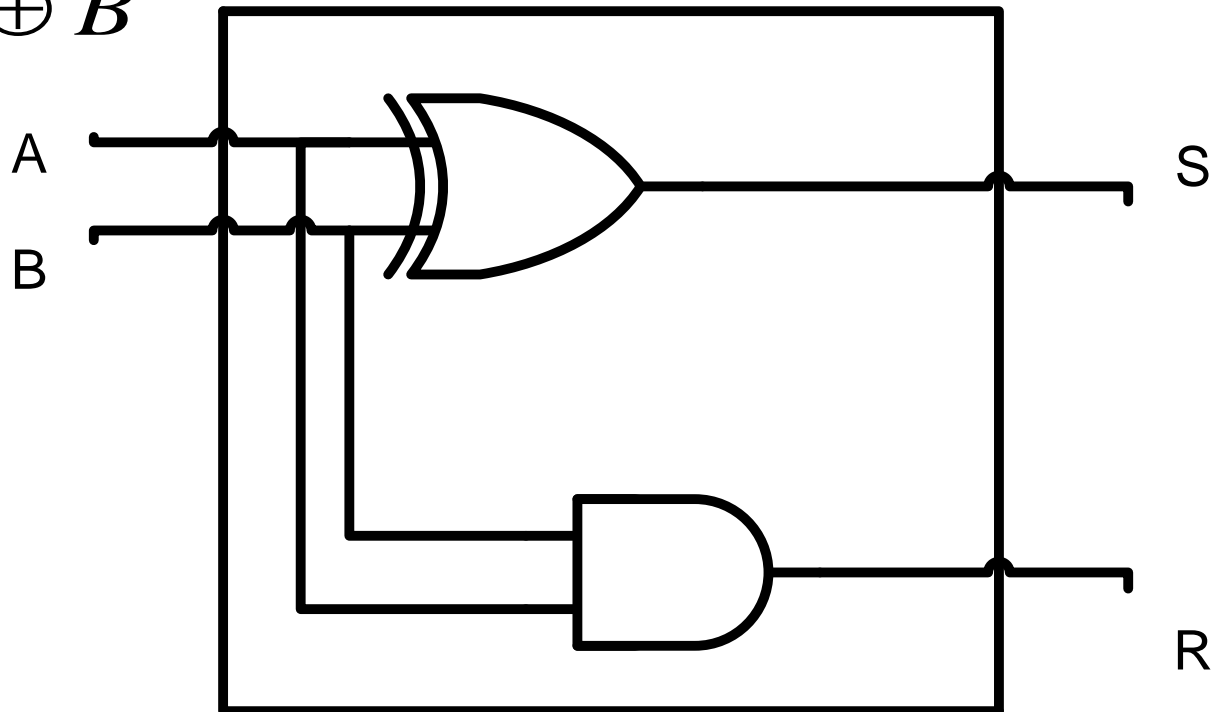
$$R = A.B$$

$$S = \bar{A}.B + A.\bar{B} = A \oplus B$$

# Demi Additionneur

$$R = A.B$$

$$S = A \oplus B$$



Logigramme Demi-Additionneur

# Additionneur complet

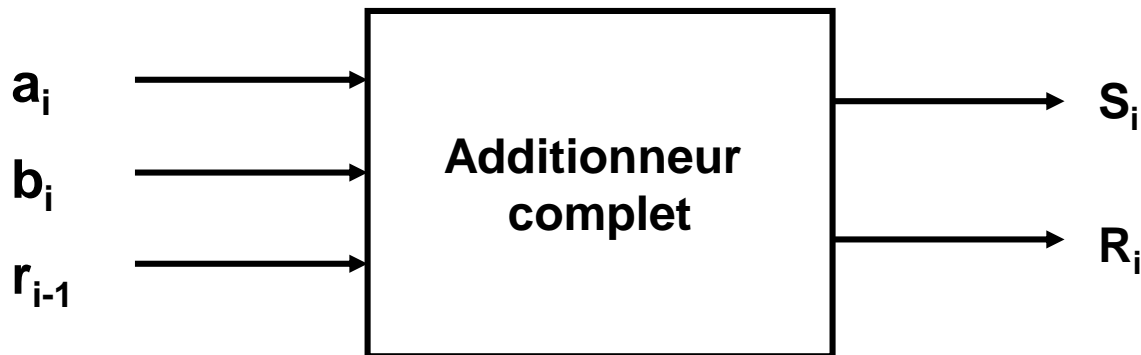
- Lorsque on fait une addition (binaire) il faut tenir en compte de la **retenue entrante**.

$$\begin{array}{cccccc} r_4 & r_3 & r_2 & r_1 & r_0 = 0 & \\ & a_4 & a_3 & a_2 & a_1 & \\ + & b_4 & b_3 & b_2 & b_1 & \\ \hline r_4 & s_4 & s_3 & s_2 & s_1 & \end{array}$$

$$\begin{array}{cc} & r_{i-1} \\ & a_i \\ + & b_i \\ \hline r_i & s_i \end{array}$$

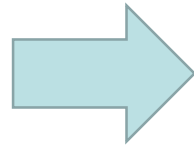
# Additionneur complet 1 bit

- L'additionneur complet à **un bit** possède 3 entrées :
  - $a_i$  : le premier nombre sur un bit.
  - $b_i$  : le deuxième nombre sur un bit.
  - $r_{i-1}$  : le retenue entrante sur un bit.
- Il possède deux sorties :
  - $S_i$  : la somme
  - $R_i$  la retenue sortante



# Additionneur complet 1 bit

Table de vérité d'un  
additionneur complet  
sur 1 bit



$a_i$	$b_i$	$r_{i-1}$	$r_i$	$S_i$
0	0	0	0	0
0	0	1	0	1
0	1	0	0	1
0	1	1	1	0
1	0	0	0	1
1	0	1	1	0
1	1	0	1	0
1	1	1	1	1

Equations

$$S_i = \bar{A}_i \cdot \bar{B}_i \cdot R_{i-1} + \bar{A}_i \cdot B_i \cdot \bar{R}_{i-1} + A_i \cdot \bar{B}_i \cdot \bar{R}_{i-1} + A_i \cdot B_i \cdot R_{i-1}$$

$$R_i = \bar{A}_i \cdot B_i \cdot R_{i-1} + A_i \cdot \bar{B}_i \cdot R_{i-1} + A_i \cdot B_i \cdot \bar{R}_{i-1} + A_i \cdot B_i \cdot R_{i-1}$$

# Additionneur complet 1 bit

Si on veut simplifier les équations on obtient :

$$S_i = \overline{A_i} \cdot \overline{B_i} \cdot R_{i-1} + \overline{A_i} \cdot B_i \cdot \overline{R_{i-1}} + A_i \cdot \overline{B_i} \cdot \overline{R_{i-1}} + A_i \cdot B_i \cdot R_{i-1}$$

$$S_i = \overline{A_i} \cdot (\overline{B_i} \cdot R_{i-1} + B_i \cdot \overline{R_{i-1}}) + A_i \cdot (\overline{B_i} \cdot \overline{R_{i-1}} + B_i \cdot R_{i-1})$$

$$S_i = \overline{A_i} (B_i \oplus R_{i-1}) + A_i \cdot \overline{(B_i \oplus R_{i-1})}$$

$$S_i = A_i \oplus B_i \oplus R_{i-1}$$

$$R_i = \overline{A_i} B_i R_{i-1} + A_i \overline{B_i} R_{i-1} + A_i B_i \overline{R_{i-1}} + A_i B_i R_{i-1}$$

$$R_i = R_{i-1} \cdot (\overline{A_i} \cdot B_i + A_i \cdot \overline{B_i}) + A_i B_i (\overline{R_{i-1}} + R_{i-1})$$

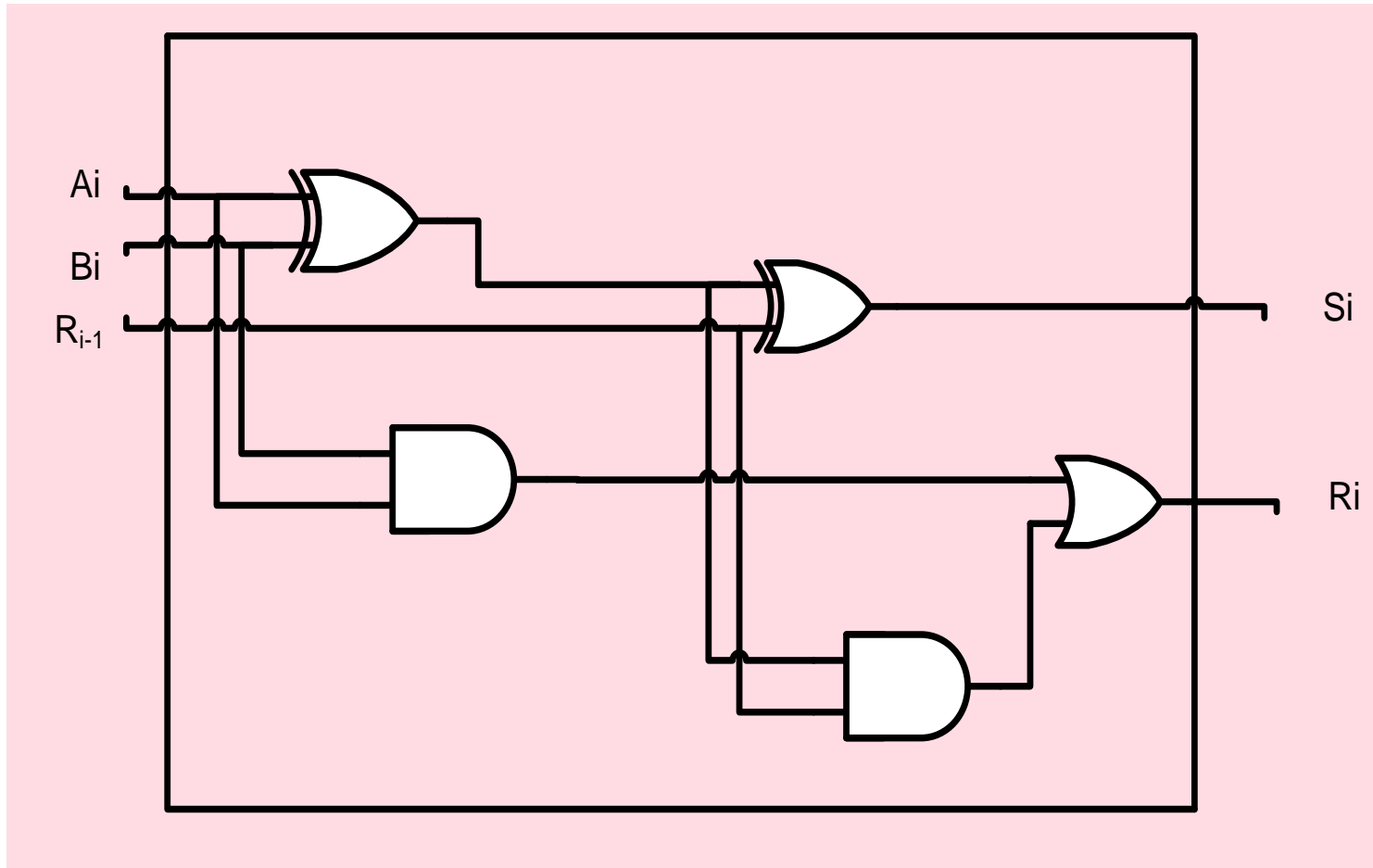
$$R_i = R_{i-1} \cdot (A_i \oplus B_i) + A_i B_i$$



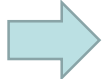
# Schéma d'un additionneur complet

$$R_i = A_i \cdot B_i + R_{i-1} \cdot (B_i \oplus A_i)$$

$$S_i = A_i \oplus B_i \oplus R_{i-1}$$



# Additionneur sur 4 bits

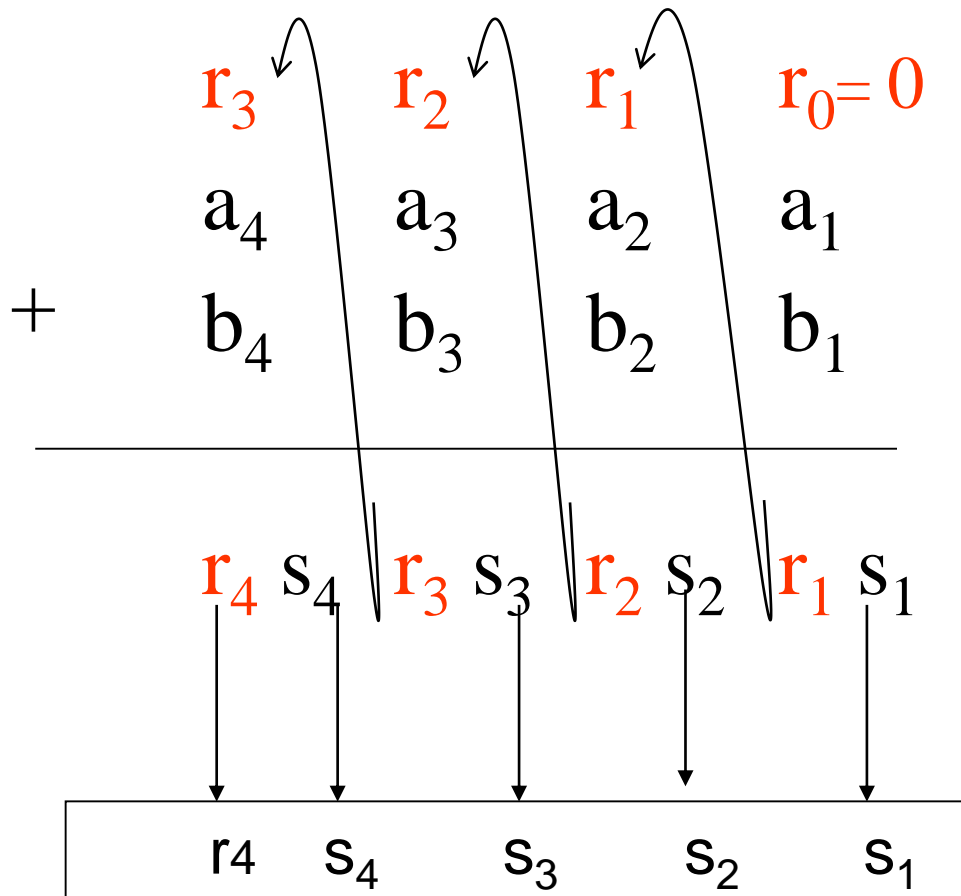
- Un additionneur sur 4 bits est un circuit qui permet de faire l'addition de deux nombres A et B de 4 bits chacun
  - $A(a_3a_2a_1a_0)$
  - $B(b_3b_2b_1b_0)$

En plus il prend en compte de la retenu entrante
- En sortie on va avoir le résultat sur **4 bits ainsi que la retenu ( 5 bits en sortie )**
- Donc au total le circuit possède 9 entrées et 5 sorties.
- Avec 9 entrées on a  $2^9=512$  **combinaisons** !!!!! Comment faire pour représenter la table de vérité ?????
- Il faut trouver une solution plus facile et plus efficace pour concevoir ce circuit ?

# Additionneur sur 4 bits

• Lorsque on fait l'addition en binaire , on additionne **bit par bit** en commençant à partir du poids faible et à chaque fois on **propage** la retenue sortante au bit du rang supérieur.

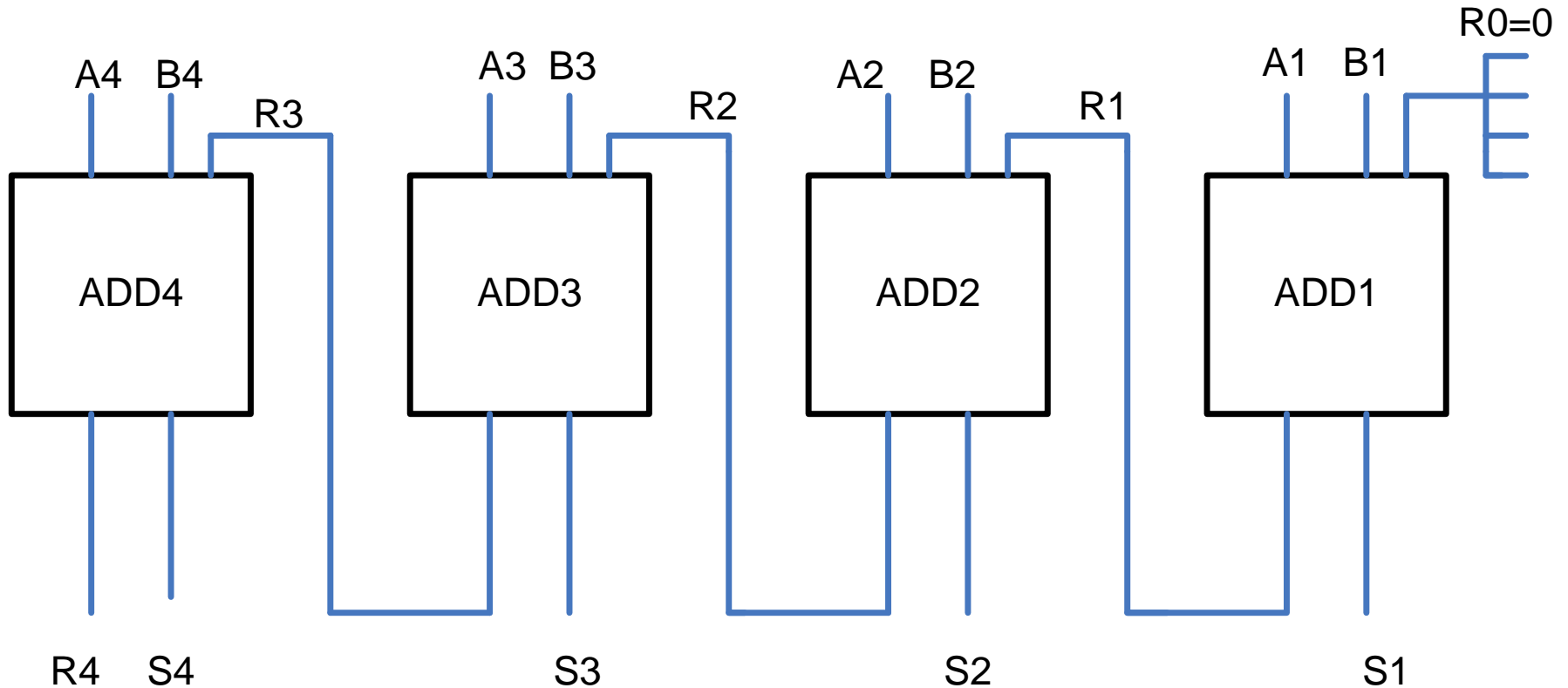
L'addition sur un bit peut se faire par un additionneur complet sur 1 bits.



**Résultat final** 91

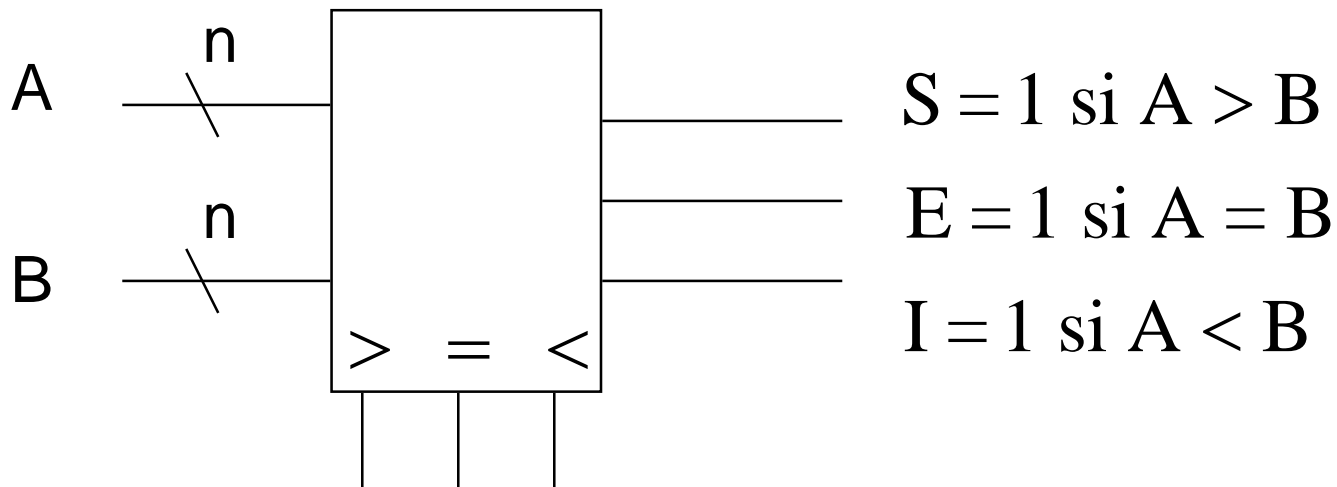
# Additionneur 4 bits ( schéma )

Le premier mot  $A(a_3a_2a_1a_0)$   
Le deuxième mot  $B(b_3b_2b_1b_0)$



# Comparateur

- C'est un circuit combinatoire qui permet de comparer entre deux nombres binaire A et B.
- Il possède 2 entrées :
  - A : sur n bit
  - B : sur n bit
- Il possède 3 sorties
  - E : égalité (  $A=B$  )
  - I : inférieur (  $A < B$  )
  - S : supérieur (  $A > B$  )



Entrées de cascading

Pour une comparaison à n autres bits

# Comparateur sur un bit

Il possède 2 entrées :

A : sur un bit

B : sur un bit

Il possède 3 sorties

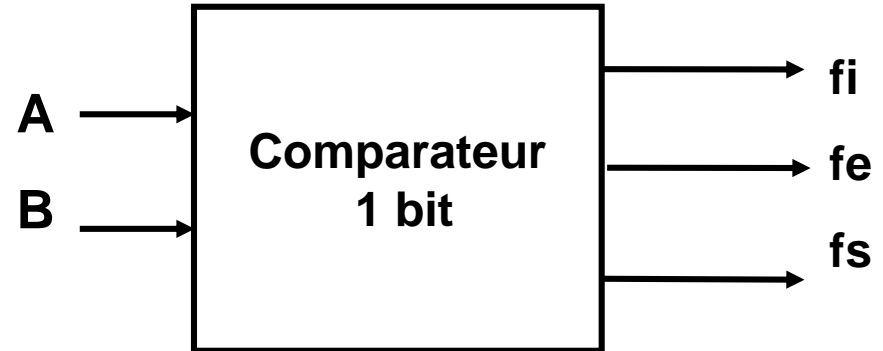
fe : égalité ( A=B)

fi : inférieur ( A < B)

fs : supérieur ( A > B)

Table de vérité

A	B	fs	fe	fi
0	0	0	1	0
0	1	0	0	1
1	0	1	0	0
1	1	0	1	0



$$fs = A.\bar{B}$$

$$fi = \bar{A}B$$

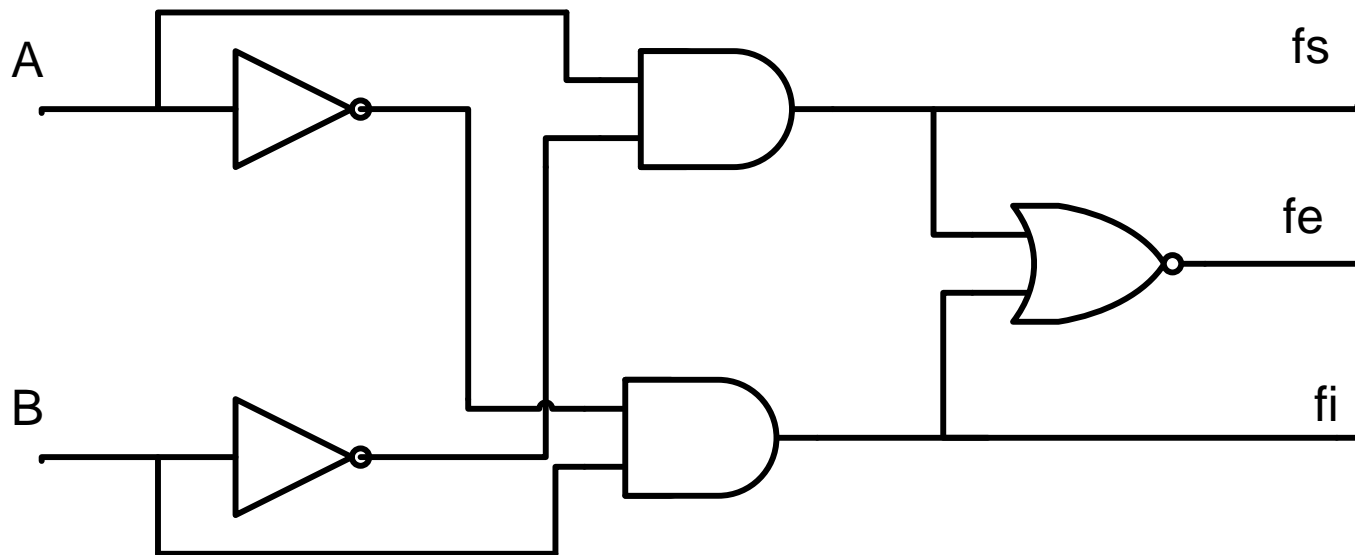
$$fe = \bar{\bar{A}\bar{B}} + \overline{AB} = \overline{A \oplus B} = \overline{fs + fi}$$

# Logigramme comparateur sur un bit

$$fs = A.\bar{B}$$

$$fi = \bar{A}B$$

$$fe = \overline{fs + fi}$$



Logigramme comparateur sur 1 bit

# Exemple 2 : Comparateur sur 2 bits

---

Il possède 2 entrées :

A : sur 2 bits ( $A_2A_1$ )

B : sur 2 bits ( $B_2B_1$ )

Il possède 3 sorties

fe : égalité

fi : inférieur

fs : supérieur





# Comparateur 2 bits

**A=B si A2=B2 et A1=B1**

$$fe = \overline{(A2 \oplus B2)} \cdot \overline{(A1 \oplus B1)}$$

**A>B si**

**A2 > B2 ou (A2=B2 et A1>B1)**

$$fs = A2 \cdot \overline{B2} + \overline{(A2 \oplus B2)} \cdot (A1 \cdot \overline{B1})$$

**A<B si**

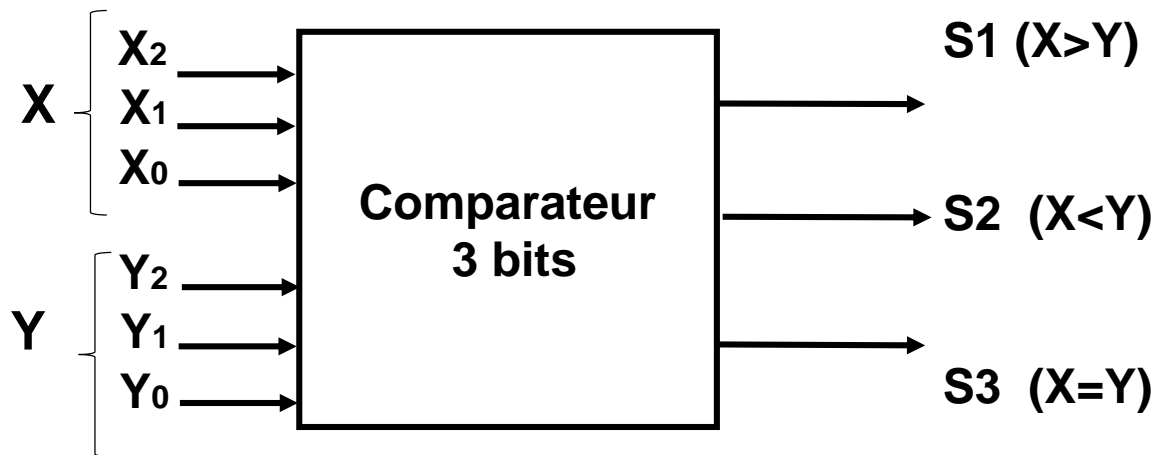
**A2 < B2 ou (A2=B2 et A1<B1)**

$$fi = \overline{A2} \cdot B2 + \overline{(A2 \oplus B2)} \cdot (\overline{A1} \cdot B1)$$

A2	A1	B2	B1		fs	fe	fi
0	0	0	0		0	1	0
0	0	0	1		0	0	1
0	0	1	0		0	0	1
0	0	1	1		0	0	1
0	1	0	0		1	0	0
0	1	0	1		0	1	0
0	1	1	0		0	0	1
0	1	1	1		0	0	1
1	0	0	0		1	0	0
1	0	0	1		1	0	0
1	0	1	0		0	1	0
1	0	1	1		0	0	1
1	1	0	0		1	0	0
1	1	0	1		1	0	0
1	1	1	0		1	0	0
1	1	1	1		0	1	0

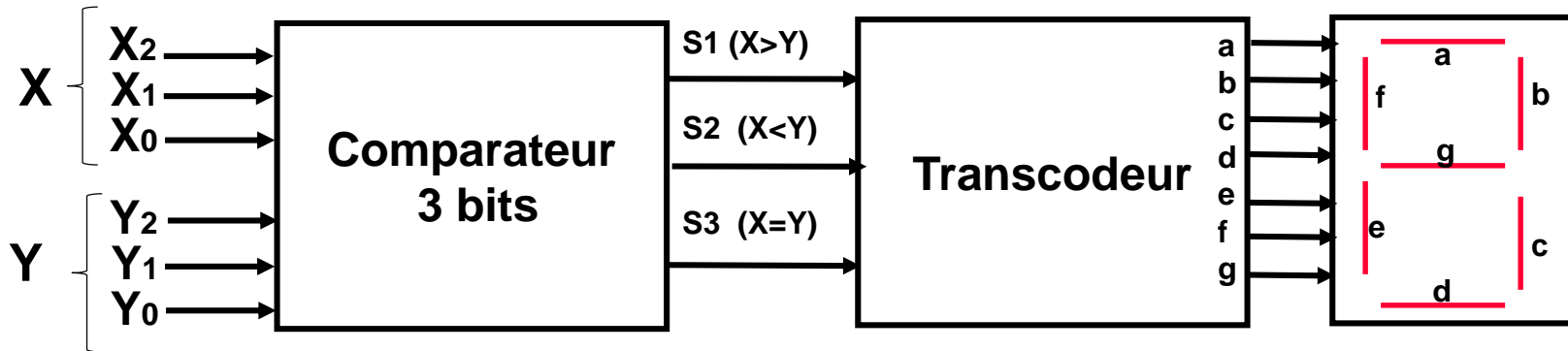
# Comparateur 3 bits

- Un circuit combinatoire qui permet de comparer entre deux nombres binaire X et Y.
  - Il possède 2 entrées :
    - A : sur 3 bits
    - B : sur 3 bits
- Il possède 3 sorties
- fe : égalité ( $X=Y$ )
  - fi : inférieur ( $X < Y$ )
  - fs : supérieur ( $X > Y$ )

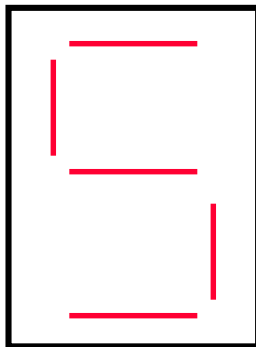


# Deux circuits combinatoires

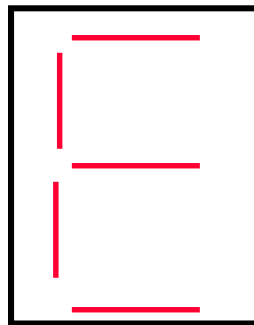
Exemple: Circuit plus complexe = Comparateur + Transcodeur



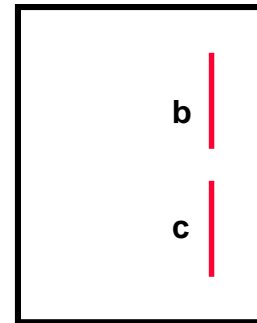
Par exemple



(Si  $X > Y$ )



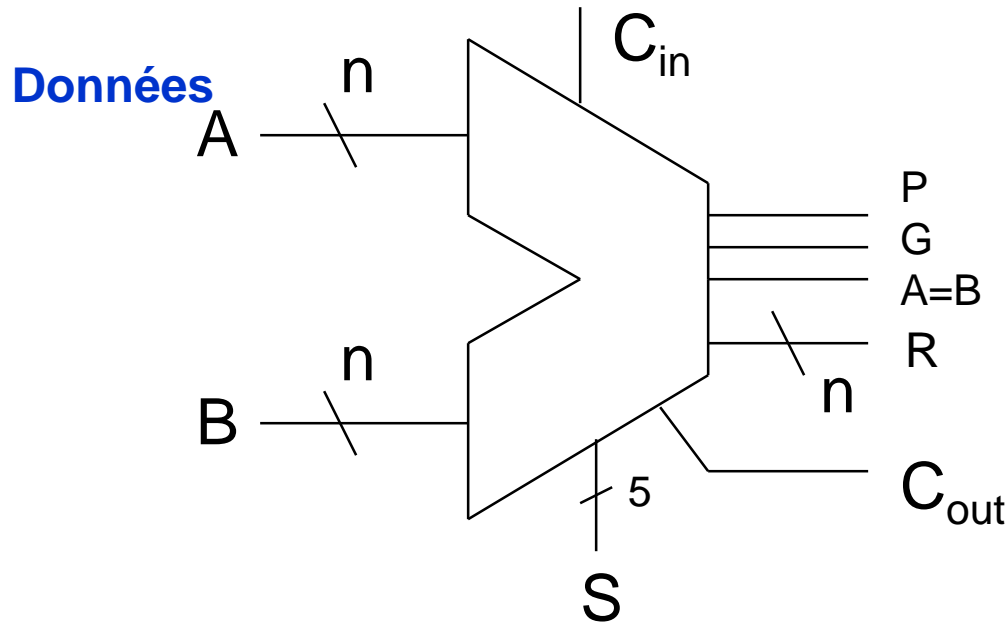
(Si  $X = Y$ )



(Si  $X < Y$ )

# ALU (ou UAL)

## Unité Arithmétique et Logique



Choix de la  
fonction (32 cas)

Instruction

Exemple :

Résultat

$$R = A + \overline{B}$$

$$R = A + B$$

$$R = A + B + 1$$

...

$$R = A \text{ ou } B$$

$$R = A \text{ nand } B$$

...

---

---

# Circuits séquentiels

---

---

# Plan

- Introduction
- Définition d'une bascule
- Présentation de quelques bascules (RS, D, JK)

Applications :

Les registres; les registres à décalage

Les compteurs modulo  $n$

# Définition

---

- **Rappel** : Circuit combinatoire = la valeur des sorties **St** dépendent de la valeur des entrées (**Ei**)

$$St = f(E0, E1, E2...) \text{ sans mémoire}$$

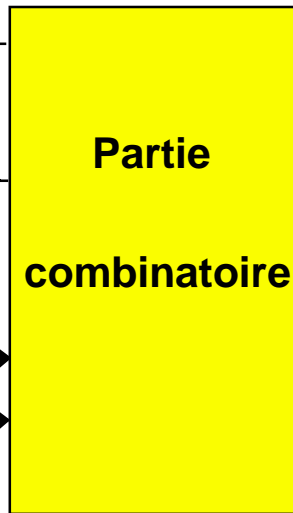
- Un **circuit séquentiel** : faculté de **mémorisation**
- La valeur des sorties à l'instant **t** dépendent de la valeur des entrées **e(t)** de la valeur des sorties à l'instant **t-1**

$$St = f(E0, E1, E2..., St-1)$$

# Circuit séquentiel

$n$  Variables d'entrée

$x_1$   
 $\vdots$   
 $x_n$



$m$  Fonctions de sortie

$z_1$   
 $\vdots$   
 $z_m$

$y_1$   
 $\vdots$   
 $y_k$

$Y_1$   
 $\vdots$   
 $Y_k$

État  
actuel

État  
suivant





# Circuit séquentiel : Etats Stables

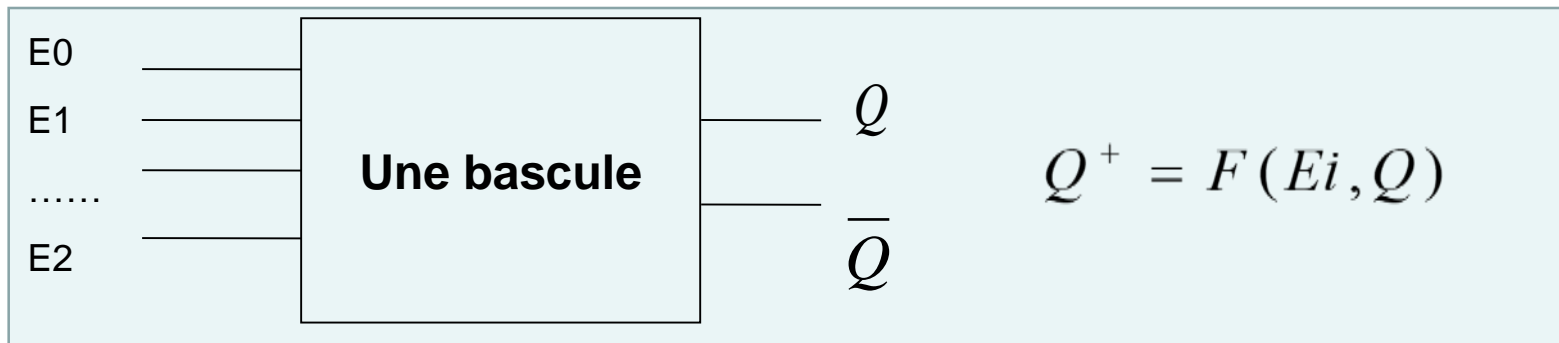
---

- **Les circuits séquentiels** de base sont les **bascules** (flip-flops)
- Une bascule à deux états stables (bistables)
- Les bascules : **capables de conserver l'état de leur sortie** même si la combinaison des signaux d'entrée ayant provoqué cet état de sortie disparaît.

# Les bascules ( flip-flops)



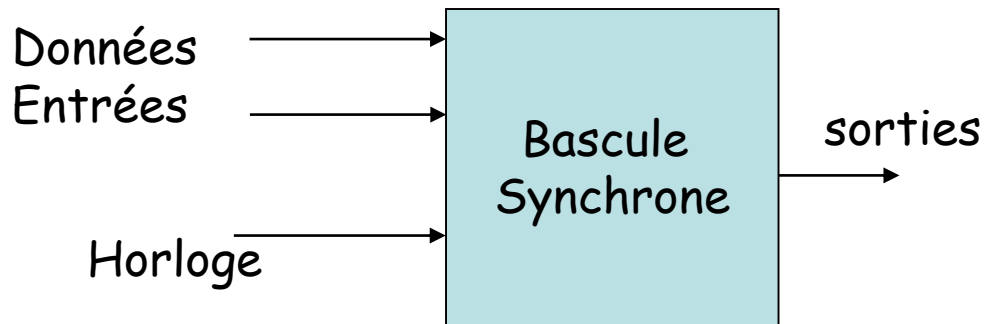
- Bascules Synchrones ou des bascules Asynchrone .
- Chaque bascule **possède des entrées** et **deux sorties**  $Q$  et  $\bar{Q}$
- Une bascule possède la fonction de **mémoration** et de **basculément**.



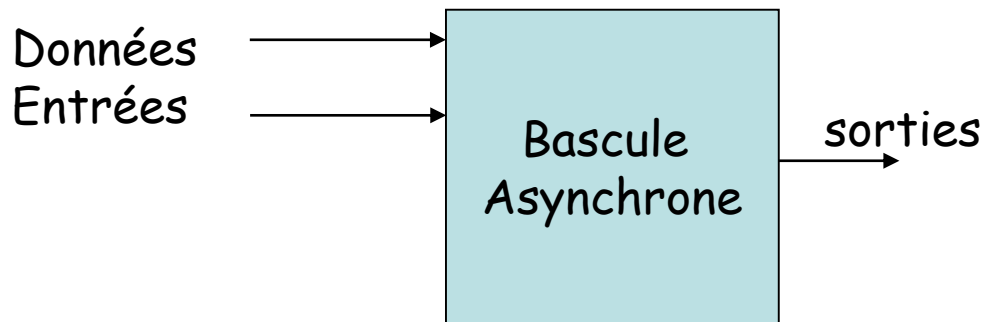
Types de bascules : RS, RST ,D ,JK , T

# Bascules Synchrones/Asynchrones

- Les bascules synchrones : asservies à des impulsions d'horloge et donc insensibles aux bruits entre deux tops

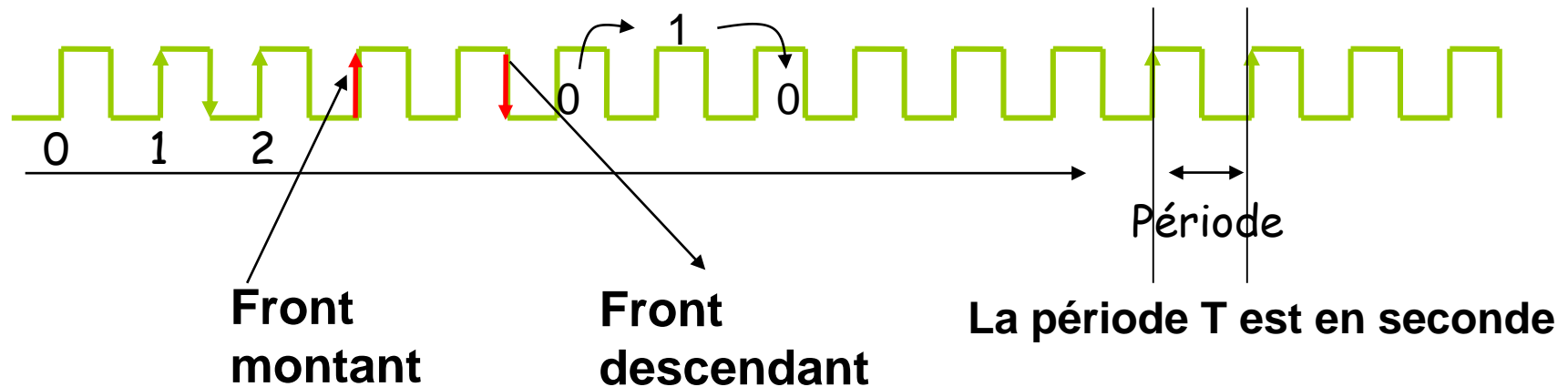


- Les bascules asynchrones, non asservies à une horloge et prenant en compte leurs entrées à tout moment.



# Horloge (Clock)

- **Horloge** : composant passant indéfiniment et régulièrement d'un niveau haut à un niveau bas (succession de 1 et de 0), chaque transition s'appelle un top.



Fréquence = nombre de changement par seconde en hertz (Hz)

Fréquence =  $1/\text{période}$

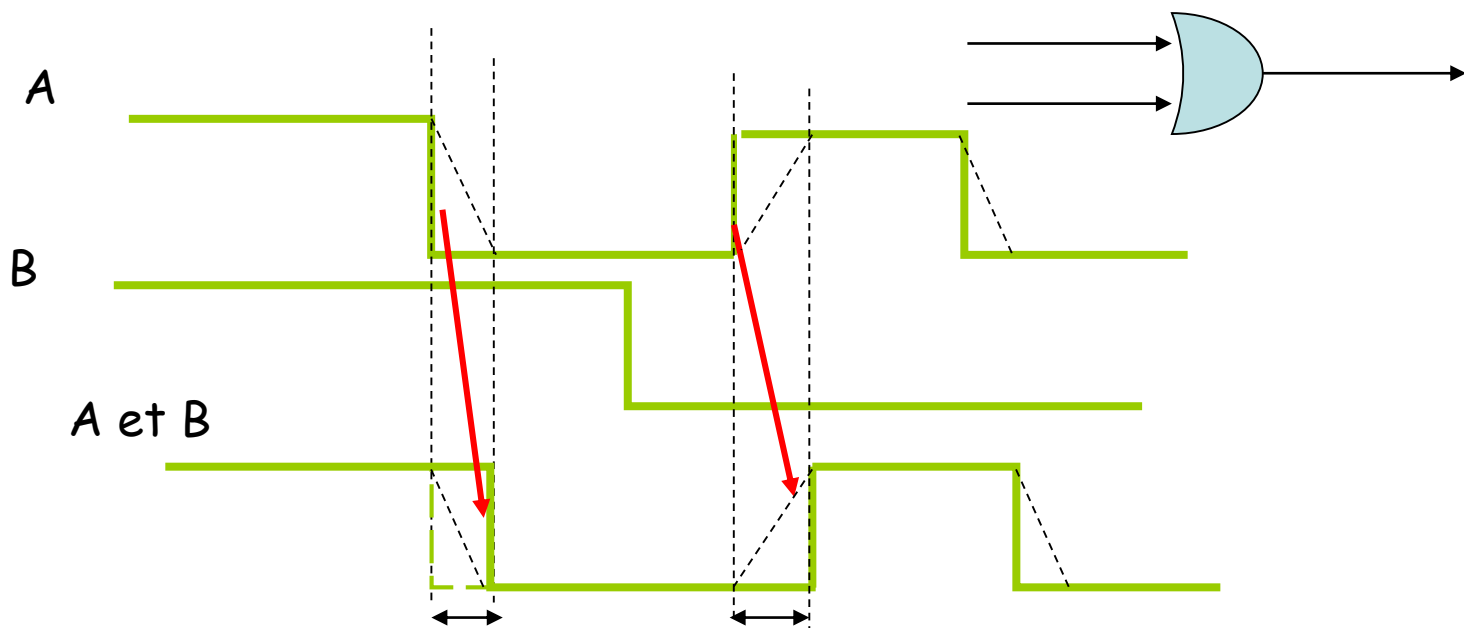
Une horloge de 1 hertz a une période de 1 seconde

.....1 megahertz.....1 microseconde

.....1 gigaHz.....1 nanoseconde

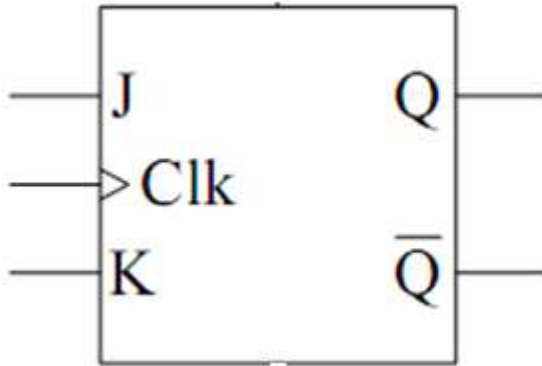
# Temps de réponse des portes logiques

- L'instant séparant l'instant où les données sont appliquées de l'instant où les sorties sont positionnées n'est pas nul.

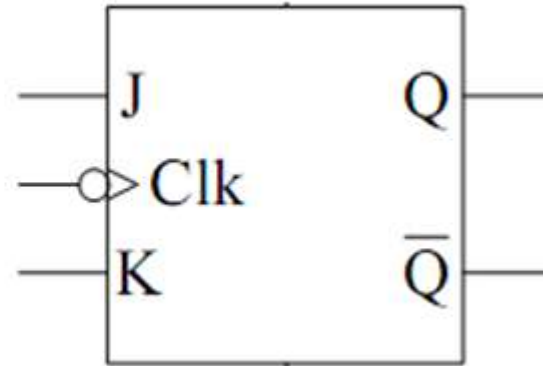


Temps de réponse  
10ns à 1,5ns selon la famille TTL, CMOS

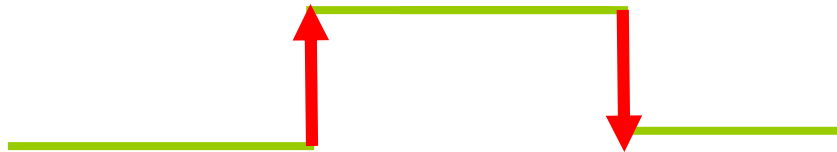
# Horloge (Clock)



**Front montant**



**Front descendant**



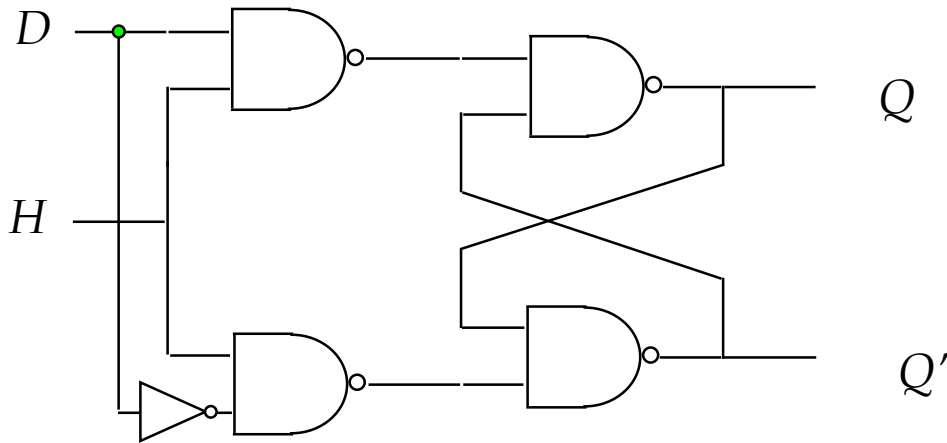
---

# **Bascules**

## **D JK**

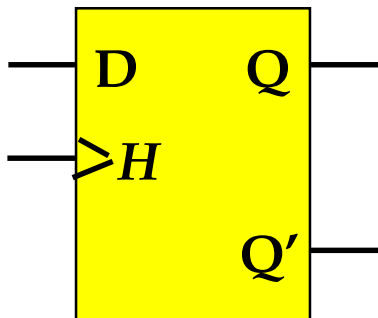
# Bascule D

- Diagramme, symbole et table de transition :



D	$Q_{t+1}$
0	0
1	1

**Table de vérité**

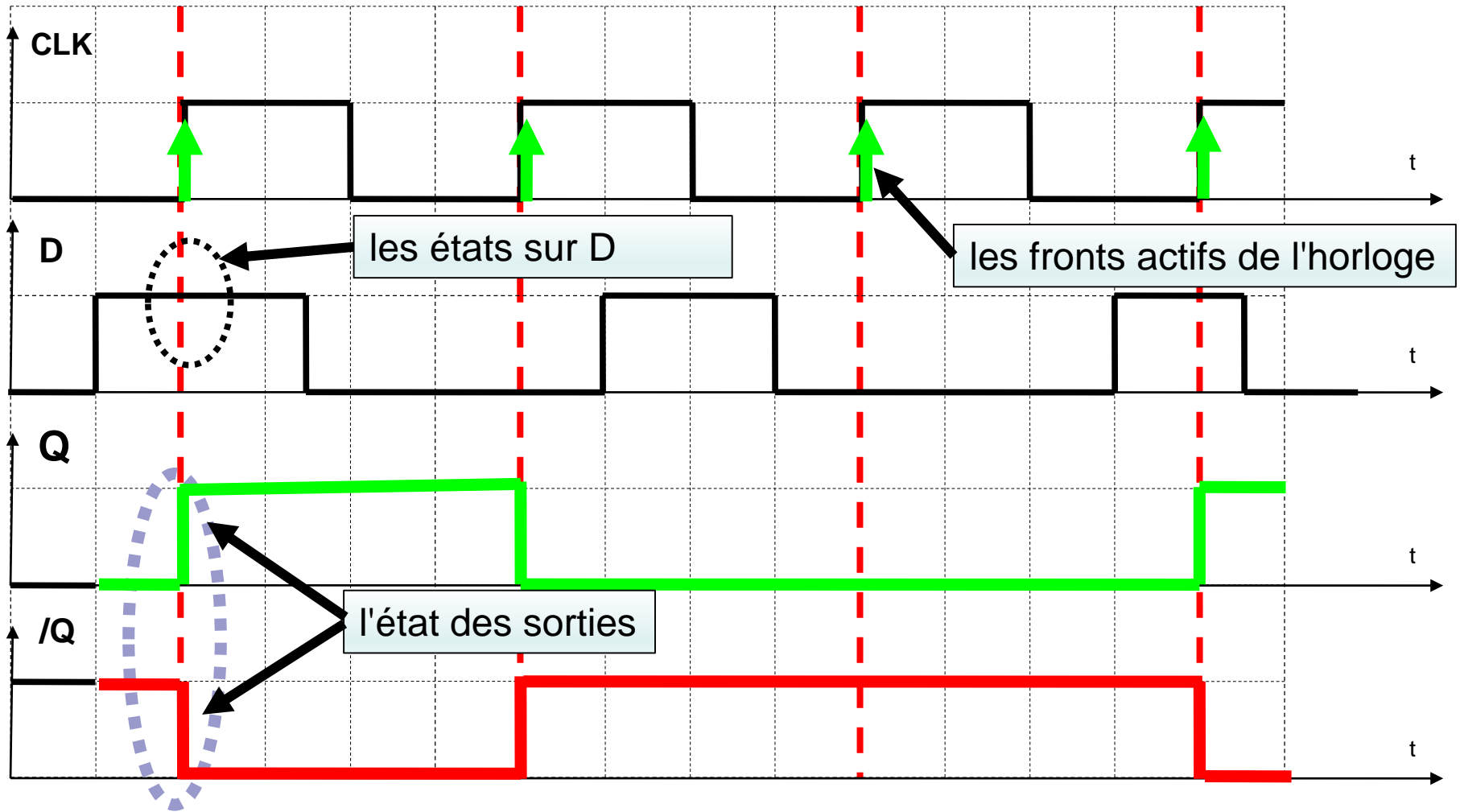


$Q_t$	$Q(t+1)$	D	C (exemple Front montant)
0	0	0	X
0	1	1	Front montant
1	0	0	Front montant
1	1	1	X

**Table de transition**

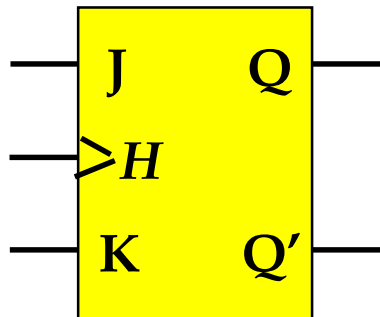
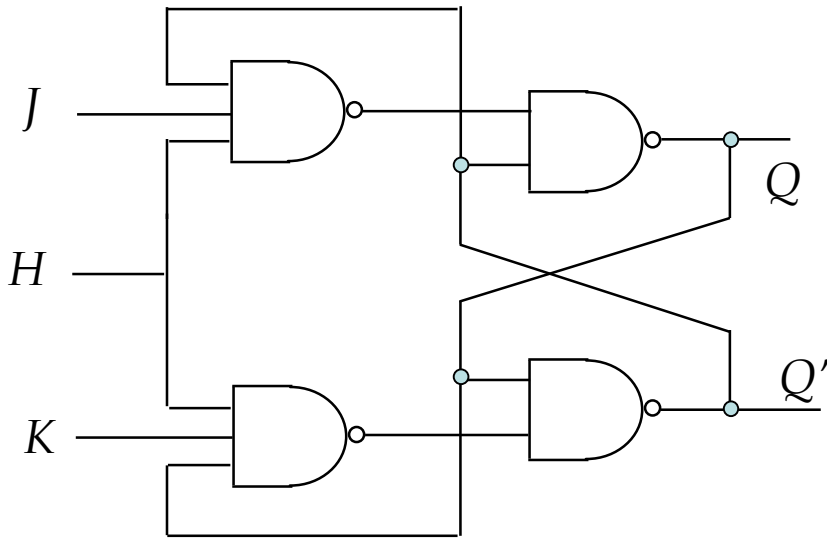


# Bascule D



# Bascule JK

- Diagramme, symbole et table de transition :



**Table de vérité**

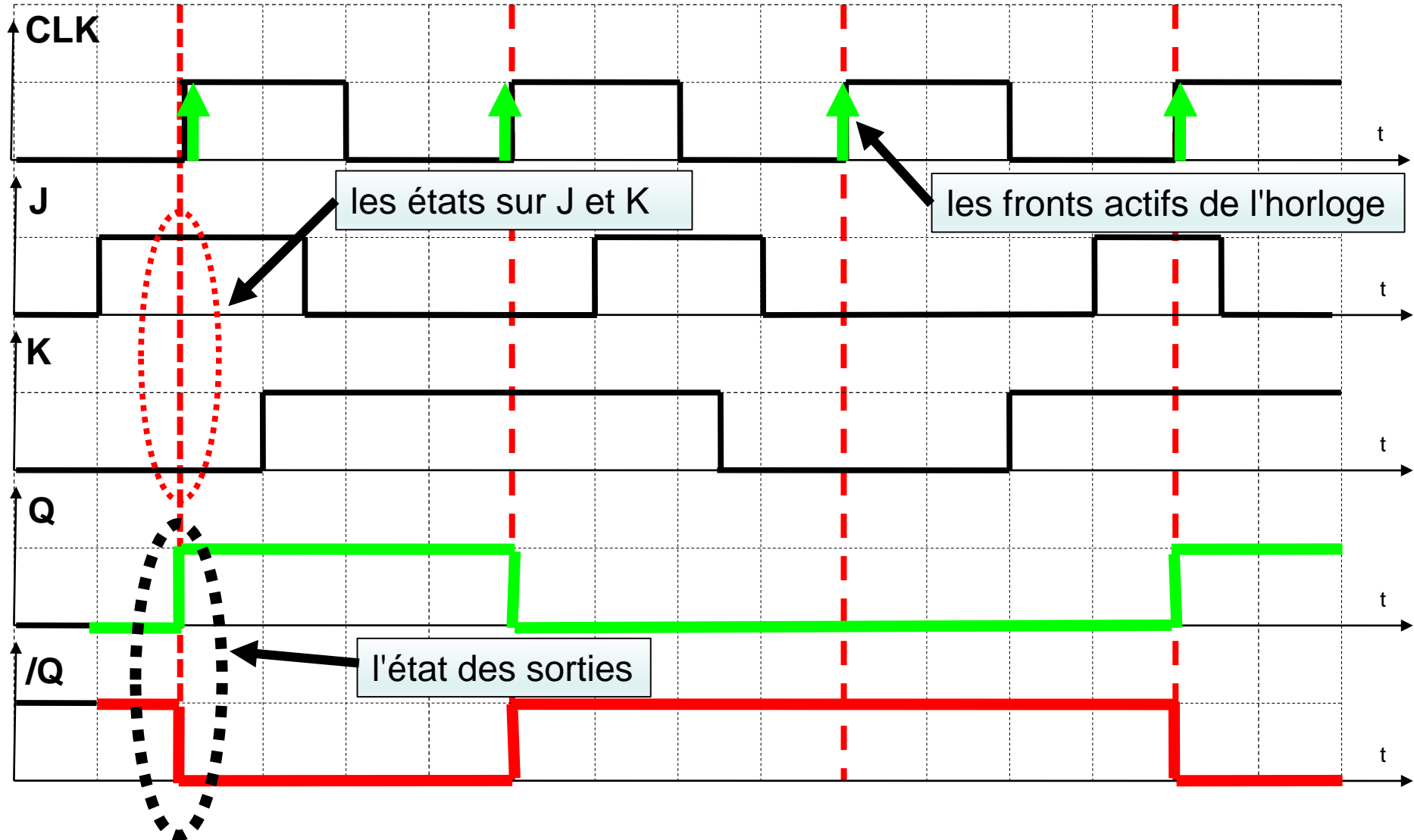
J	K	$Q_{t+1}$	
0	0	$Q_t$	Ne change pas d'état
0	1	0	Mise à 0
1	0	1	Mise à 1
1	1	$\bar{Q}_t$	Change d'état



$Q_t$	$Q(t+1)$	J	K
0	0	0	X
0	1	1	X
1	0	X	1
1	1	X	0

**Table de transition**

# Bascule JK



# **Applications des circuits séquentiels**

- Les registres**
- Les compteurs**

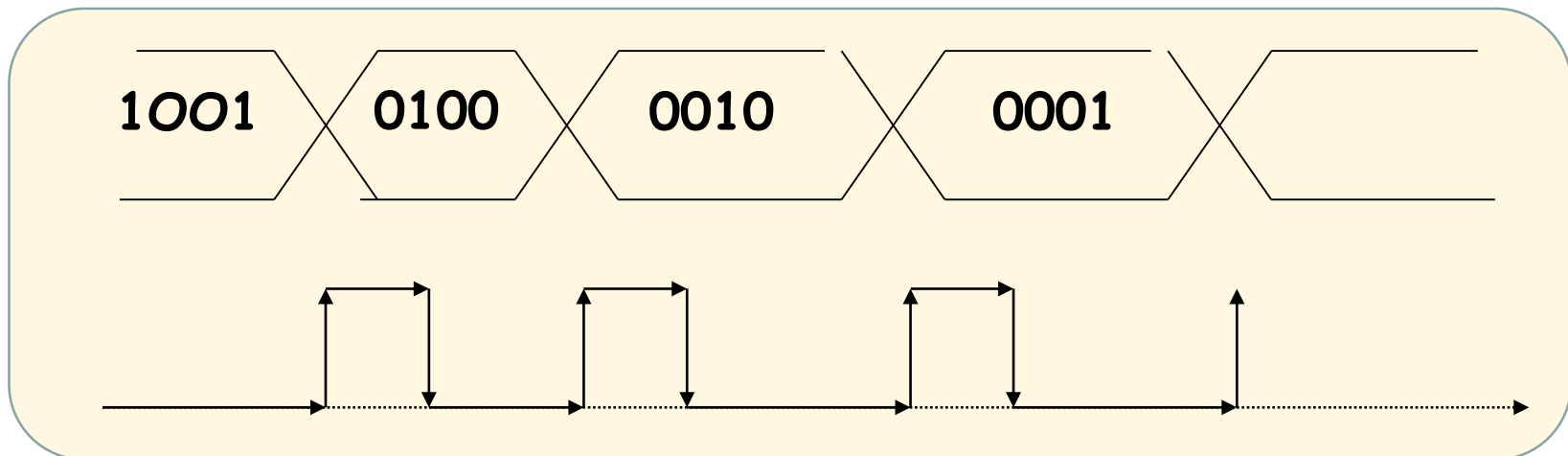
# Applications des circuits séquentiels

- **Les registres à décalage :**

Dans un registre à décalage droite (resp. gauche) :

$\langle n-1, \dots, i+1, i, i-1, \dots, 1, 0 \rangle$

La sortie de la bascule  $i$  à l'instant  **$t$**  correspond à la sortie de la bascule  **$i+1$**  (resp.  $i-1$ ) à l'instant  **$t-1$** .

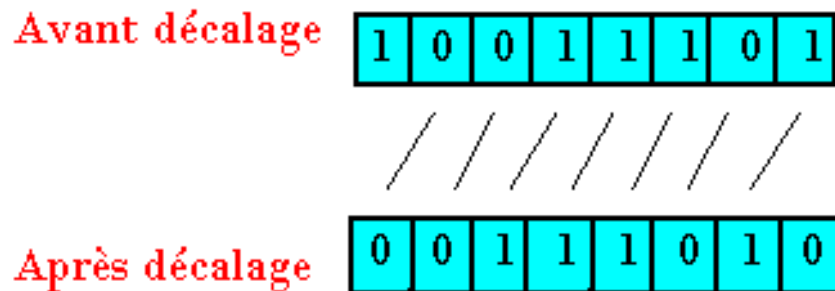


# Applications des circuits séquentiels

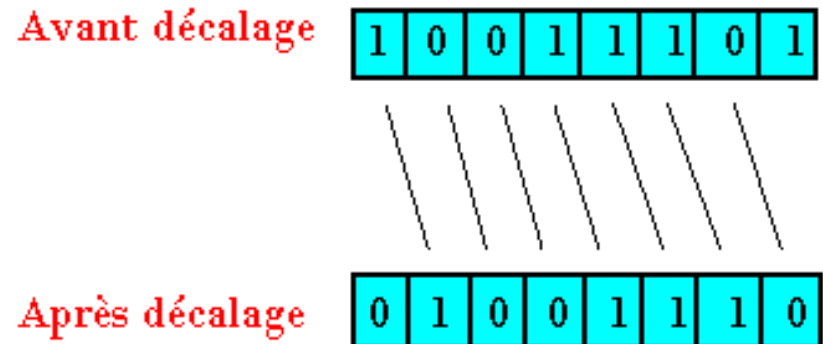
## Les registres à décalage :

Le décalage à droite consiste à faire avancer l'information vers la droite:

### Exemples:



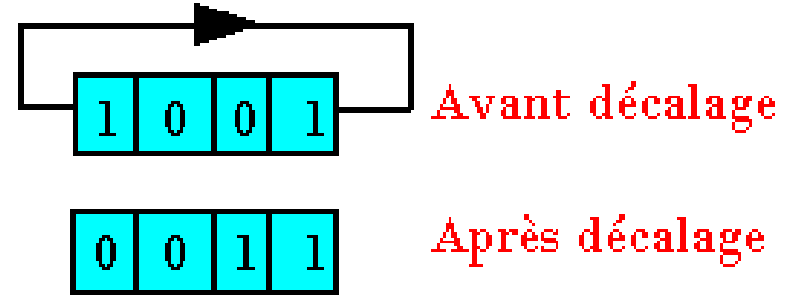
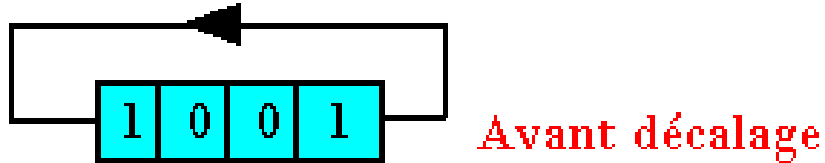
décalage à gauche



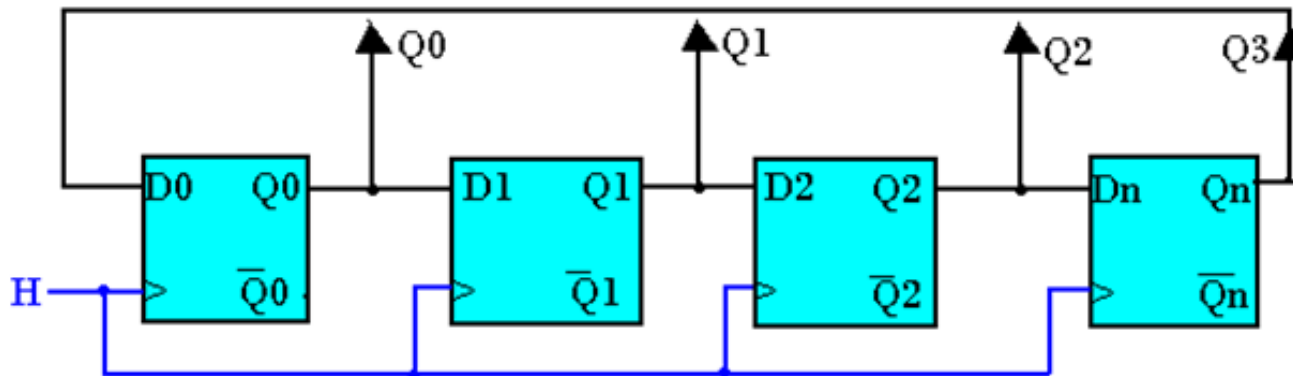
décalage à droite

# Applications des circuits séquentiels

## Les registres à décalage :



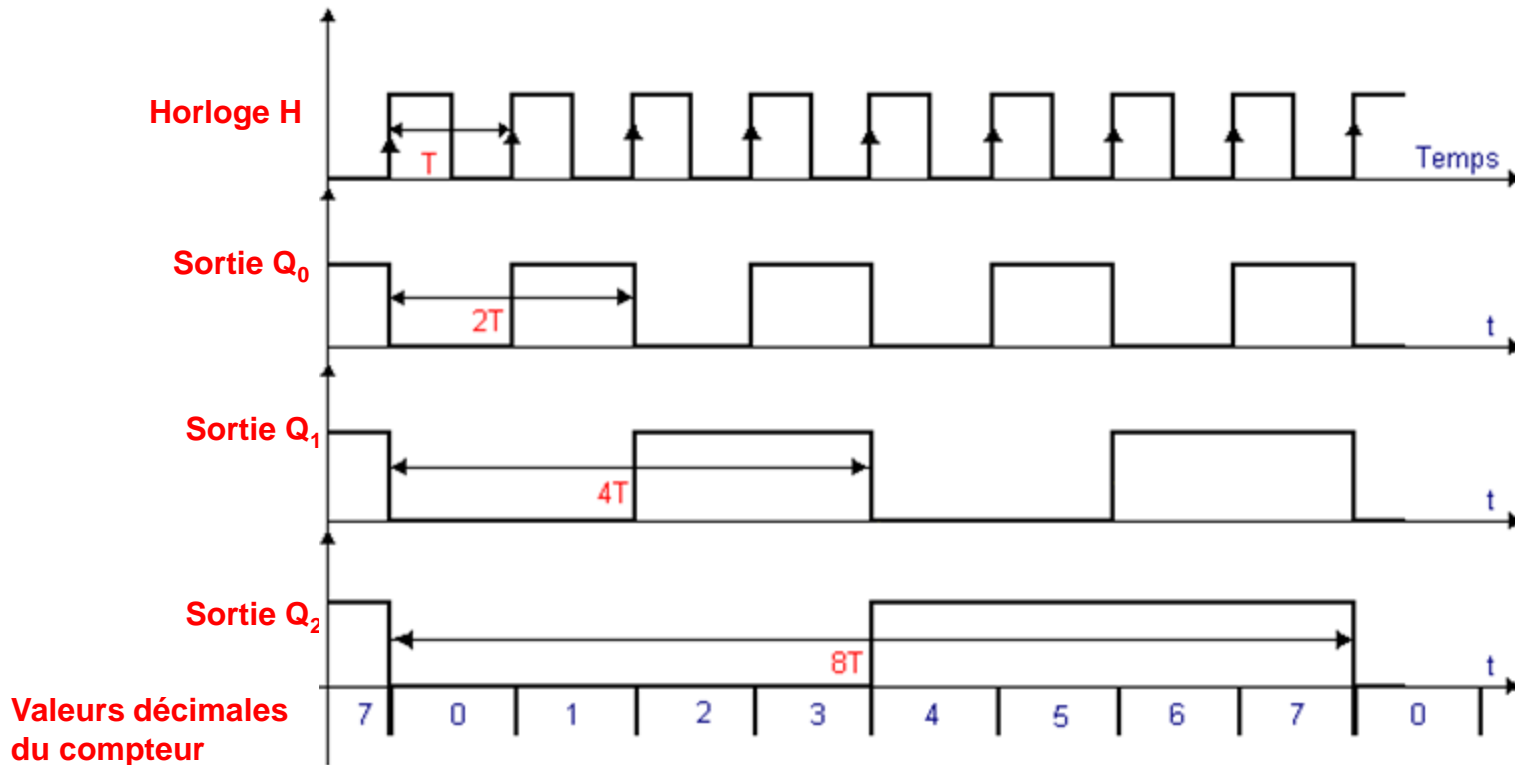
**Exemple:** registre à décalage circulaire 4 bits à bascule D



# Applications des circuits séquentiels

## Les compteurs :

Exercice: on désire réaliser un compteur modulo 8 : 0, 1, 2, ...7, 0, 1....  
En utilisant les bascules JK



Nous avons trois bits : donc trois bascules 0,1, 2



# Exercice : réaliser ce compteur avec des bascules JK.

Etat Actuel Avant			Etat Suivant après			Ce qu'il faut appliquer aux entrées		
Q2	Q1	Q0	Q2	Q1	Q0	J2/K2	J1/K1	J0/K0
0	0	0	0	0	1	?	?	?
0	0	1	0	1	0	?	?	?
0	1	0	0	1	1	?	?	?
0	1	1	1	0	0	?	?	?
1	0	0	1	0	1	?	?	?
1	0	1	1	1	0	?	?	?
1	1	0	1	1	1	?	?	?
1	1	1	0	0	0	?	?	?
						?	?	?

Trouvez les équations de J2, K2, J1, K1, J0, K0 en fonction des Qi avant (à l'instant t)

# Table de transition de la bascule JK

J	K	$Q_{t+1}$
0	0	$Q_t$
0	1	0
1	0	1
1	1	$\overline{Q_t}$

**Table de vérité**



$Q_{\text{avant}}$	$Q_{\text{après}}$	J	K
0	0	0	X
0	1	1	X
1	0	X	1
1	1	X	0

**Table de transition**

# Tables de transition

Q <sub>avant</sub>	Q <sub>après</sub>	J	K
0	0	0	X
0	1	1	X
1	0	X	1
1	1	X	0

Etat Actuel  
Avant

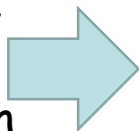
Etat Suivant  
après

Ce qu'il faut  
appliquer aux entrées

Table de transition JK

Q2	Q1	Q0	Q2	Q1	Q0	J2/K2	J1/K1	J0/K0
0	0	0	0	0	1	0 X	0 X	1 X
0	0	1	0	1	0	0 X	....	
0	1	0	0	1	1			
0	1	1	1	0	0			
1	0	0	1	0	1			
1	0	1	1	1	0			
1	1	0	1	1	1			
1	1	1	0	0	0			
								127

Trouvez les équations de J2, K2, J1, K1, J0, K0 en fonction des Qi avant



# Applications des circuits séquentiels

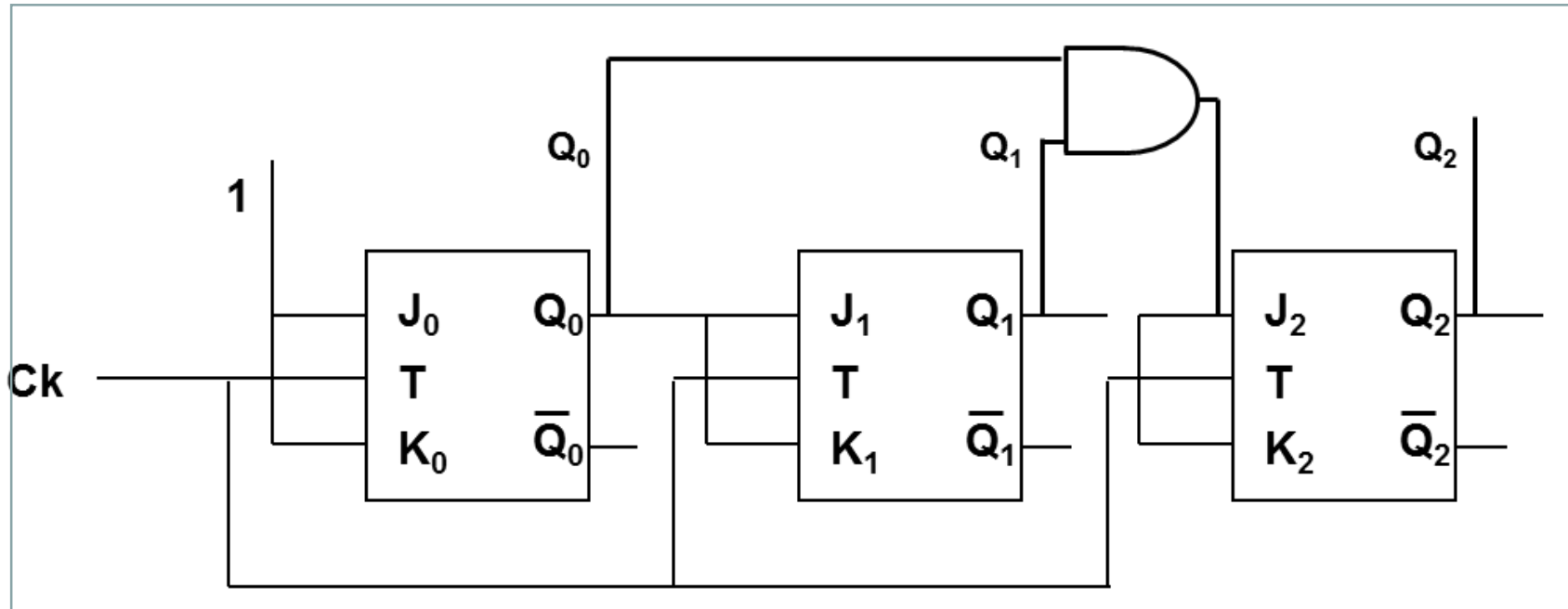
- Resultats

$$J_0=K_0=1$$

$$J_1=K_1=Q_0$$

$$J_2=K_2=Q_0 \cdot Q_1$$

**ATTENTION :** Poids fort  $Q_2$ , Poids Faible  $Q_0$



**Compteur synchrone modulo 8 à l'aide des bascules JK**

---

---

**Merci pour votre attention**

---

---