



# Circuits logiques

## 1 Définitions

### Définition 1

Toutes les **expressions booléennes** peuvent être représentées par des **circuits logiques**, aussi appelés circuits combinatoires. Les opérations élémentaires sur les booléens sont représentées par des portes logiques.

### 1.1 Porte NON notée : NON, not, $\neg$ , $\bar{V} = F, \neg$

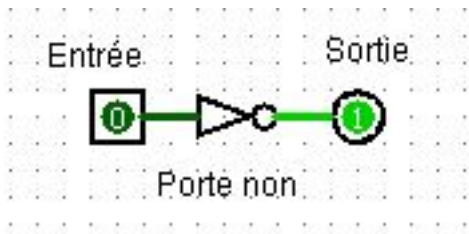


Table de vérité : loi NOT

Entrée	Sortie
$a$	$\bar{a} = non(a) = \neg(a)$
0	1
1	0

Autres notations :  $not(a), \neg a$

### 1.2 La porte ET notée : ET, and, &, $\wedge$ , conjonction logique ( $\times$ )

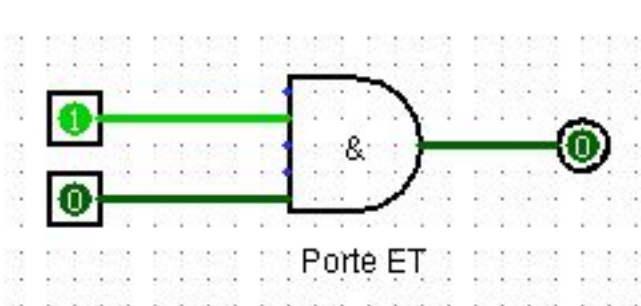


Table de vérité : loi AND

Entrées		Sortie
$a$	$b$	$a \text{ and } b = a \wedge b$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Autres notations :  $a \& b$

### 1.3 La porte OU notée : OU, or, |, $\vee$ , disjonction (+)

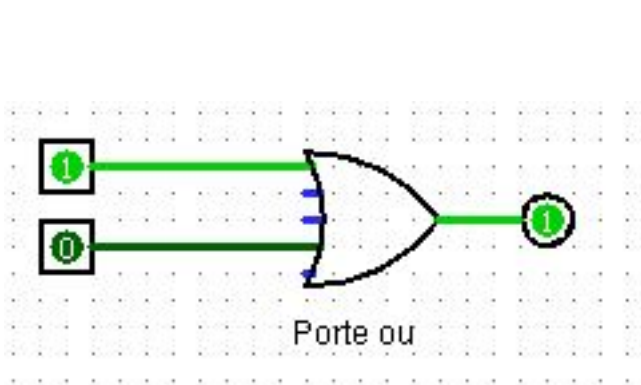


Table de vérité : loi OU

Entrées		Sortie
$a$	$b$	$a \text{ or } b = a \vee b$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Autres notations :  $a | b, a \text{ or } b, a \text{ OR } b$

## 2 Les circuits logiques sur le logiciel Logisim : un exemple

Téléchargement sur : <http://www.cburch.com/logisim/>

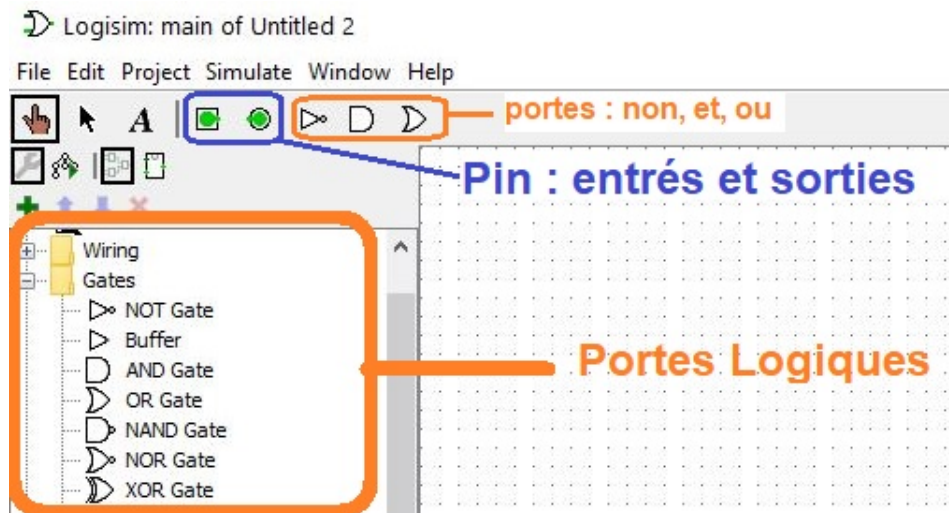
### — Étape 1

Ouvrir le logiciel Logisim. C'est un simulateur booléen. Il ne cherche pas à faire intervenir des valeurs autres que 0 ou 1. Il s'agit d'un logiciel libre et gratuit.

### — Étape 2

On découvre une feuille blanche sur laquelle on peut réaliser des circuits logiques ainsi qu'un menu qui propose plusieurs composants.

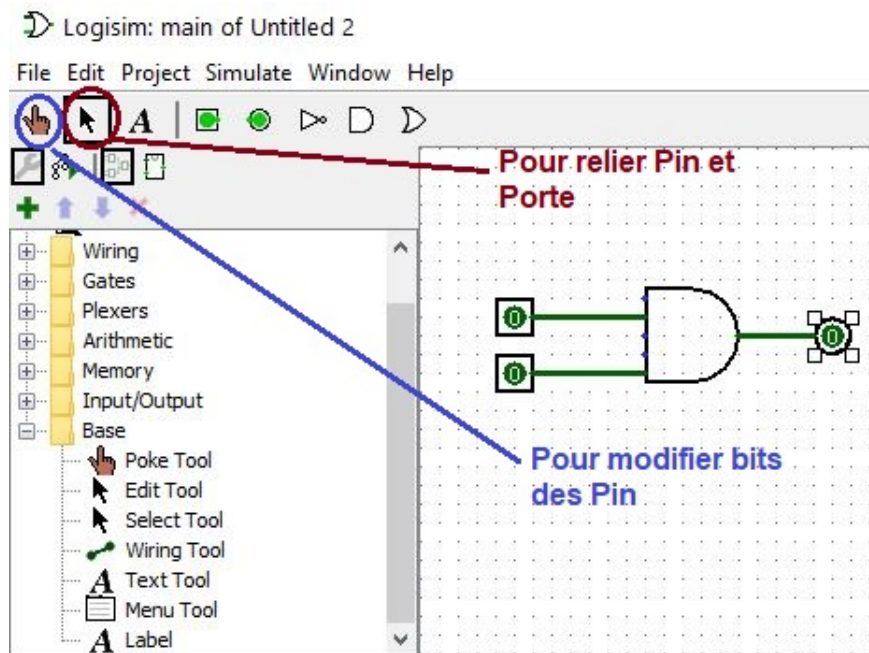
Dans le dossier *Gates*, trouvez une porte logique AND. Sélectionnez-la et dessinez-la sur la feuille blanche par simple clic.



### — Étape 3

On utilise les "Pin" carrés verts pour les entrées et le "Pin" disque vert pour la sortie.

Relier les entrées et la sortie à la porte en cliquant sur la flèche.



### — Étape 4

On peut modifier les valeurs d'entrée en cliquant sur les "Pin" avec la "Main" du menu.

Sélectionner le mode Simulation (la main en haut à gauche). En cliquant sur les entrées, relever la valeur de sortie et vérifier que la table de vérité est correcte.

**Aide :** Menu *Projet / Analyser circuit / Table ...*

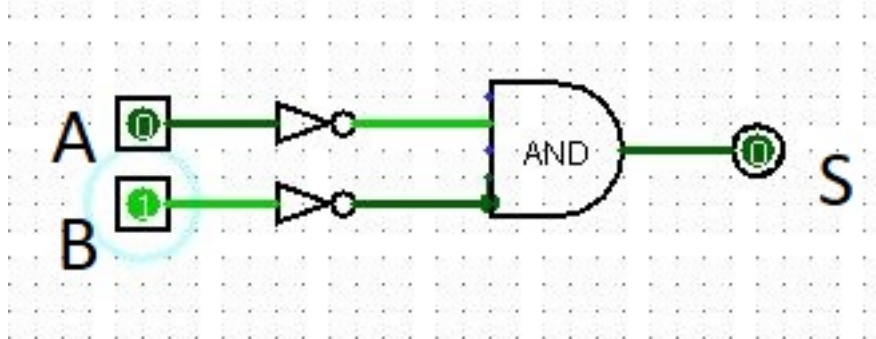
### 3 Les circuits logiques sur le logiciel Logisim : exercices

#### 3.1 Pour bien débiter



##### Exercice 3.1 - Porte NOR

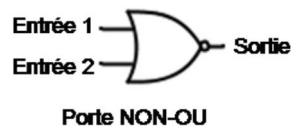
- Réaliser le circuit suivant à l'aide du logiciel Logisim.



- Donner l'expression booléenne de  $S$  en fonction des variables  $A$  et  $B$ .
- Compléter la table de vérité ci-dessous.

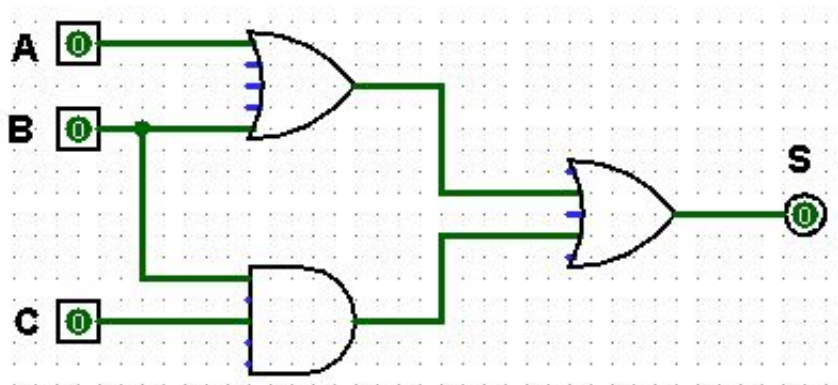
$A$	$B$	$S$
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

- Par quel circuit comprenant seulement deux portes peut-on remplacer le circuit étudié?
- Ce circuit est en fait celui de la porte NOR. Vérifier cela en utilisant la porte NOR de logisim.



##### Exercice 3.2

On considère le circuit logique ci-dessous.



- Donner l'expression booléenne de  $S$  en fonction des variables  $A$ ,  $B$  et  $C$ .
- Compléter la table de vérité ci-dessous.

A	B	C	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	

3. En déduire une formule pour S qui ne dépend que des variables A et B.

### 3.2 Porte XOR



#### Exercice 3.3 - Porte XOR : disjonction (OU) exclusive $\oplus$

La fonction logique OU eXclusif (XOR) est définie de la manière suivante :

A xor B est Vrai

si et seulement si

A Vrai or B Vrai mais pas les deux.

La fonction booléenne de passage s'écrit :

$$f(A, B) = A \oplus B = A \text{ xor } B$$



1. Écrire la table de vérité de la loi XOR.

Table de vérité : loi XOR

Entrées		Sortie
a	b	$a \oplus b = a \text{ xor } b$
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

2. Écrire la table de vérité de la loi définie par :

$$f(A, B) = (\text{not } A \text{ and } B) \text{ or } (A \text{ and not } B) = (\bar{A} \text{ and } B) \text{ or } (A \text{ and } \bar{B})$$

Table de vérité

Entrées		Sortie
A	B	$(\bar{A} \text{ and } B) \text{ or } (A \text{ and } \bar{B})$
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

3. Concevoir un circuit qui, étant données deux entrées A et B, donne en sortie la valeur  $A \text{ xor } B$ , en utilisant seulement des portes Non, Et, Ou.



#### Aide

La question précédente a montré que :

$$A \text{ xor } B = (\text{not } A \text{ and } B) \text{ or } (A \text{ and not } B) = A \oplus B = (\bar{A} \text{ and } B) \text{ or } (A \text{ and } \bar{B})$$

4. Réaliser le circuit proposé à l'aide du logiciel Logisim puis directement avec la porte XOR.



### Remarque

#### Application en électricité domestique.

Une application utilisée de l'opérateur logique XOR en électricité domestique est dans les salles où une ampoule peut être allumée ou éteinte par deux interrupteurs placés près de deux entrées. Chacun des deux interrupteurs peut soit allumer ou éteindre l'ampoule quelle que soit la position de l'autre interrupteur. Pour obtenir une telle fonctionnalité, on doit brancher les deux interrupteurs afin de former un opérateur XOR. C'est le montage dit « va-et-vient ».

## 3.3 Circuit Multiplexeur

### Définition 2

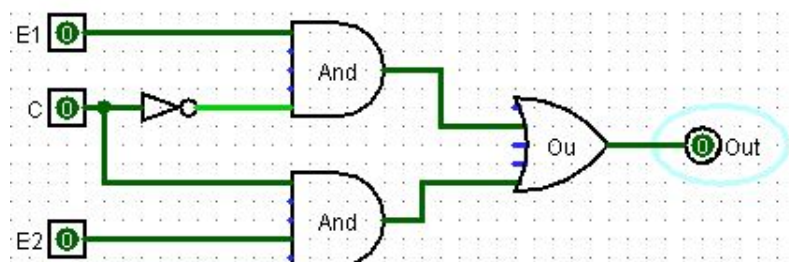
Un **multiplexeur** (abréviation : MUX) est un circuit permettant de concentrer sur une même voie de transmission différents types de liaisons (informatique, télécopie, téléphonie, télétexte) en sélectionnant une entrée parmi  $N$ . Il possédera donc une sortie et  $N$  entrées, ainsi qu'une entrée de commande de plusieurs bits permettant de choisir quelle entrée sera sélectionnée.

Il sert d'accès aux réseaux de transmission de données numériques ou analogiques.



### Exercice 3.4 - Circuit MUX-2

On considère le circuit logique suivant.



1. Donner l'expression de Out en fonction de  $E_1$ ,  $E_2$  et  $C$ .
2. Compléter le tableau de vérité de ce circuit.

$C$	$E_1$	$E_2$	Out
0	0	0	
0	0	1	
0	1	0	
0	1	1	
1	0	0	
1	0	1	
1	1	0	
1	1	1	



### Remarque

Le circuit étudié est appelé **multiplexeur à 2 entrées**.

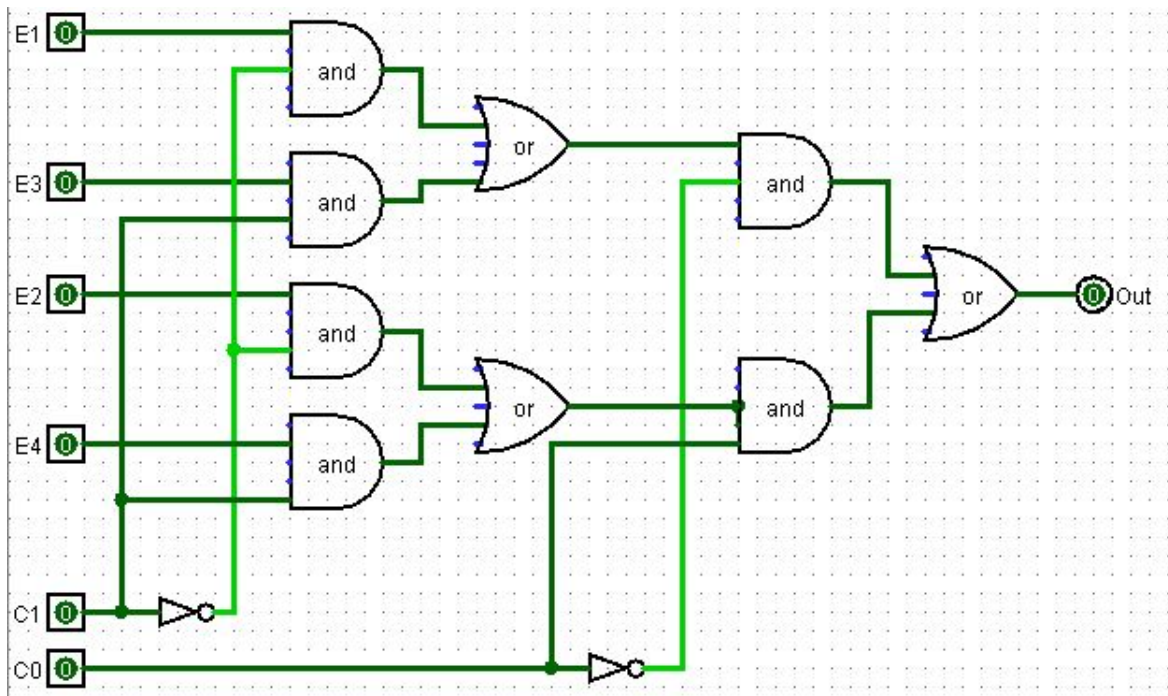
Selon la valeur de la commande ( $C$ ), il permet de reproduire en sortie (Out) :

- le signal  $E_1$  si  $C$  est à 0.
- le signal  $E_2$  si  $C$  est à 1.



### Exercice 3.5 - Circuit MUX-4 (difficile \*)

On considère un multiplexeur à 4 entrées, dont le circuit est représenté ci-dessous.



#### Aide



Pour cet exercice, vous pourrez vous aider du logiciel logisim qui vous fournit directement la table de vérité du circuit.

Menu Project / Analyse Circuit / Table (et input pour régler l'ordre des variables).

- Par analyse du circuit, déterminer l'expression booléenne de Out en fonction des entrées  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$ ,  $E_4$  et des commandes  $C_0$  et  $C_1$ .  
On peut par exemple sur logisim vérifier quelle est la l'entrée reproduite en sortie selon les valeurs de  $C_0$  et  $C_1$ .
- Quelles sont les valeurs des commandes  $C_0$  et  $C_1$  qui permettent de sélectionner en sortie (Out) :
  - l'entrée  $E_1$  ?
  - l'entrée  $E_2$  ?
  - l'entrée  $E_3$  ?
  - l'entrée  $E_4$  ?



#### Remarque

Le circuit étudié est appelé **multiplexeur à 4 entrées**.

Selon la valeur des commandes  $C_0$  et  $C_1$ , il permet de reproduire en sortie (Out) le signal  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$  ou  $E_4$ . Voir la dernière question de l'exercice.

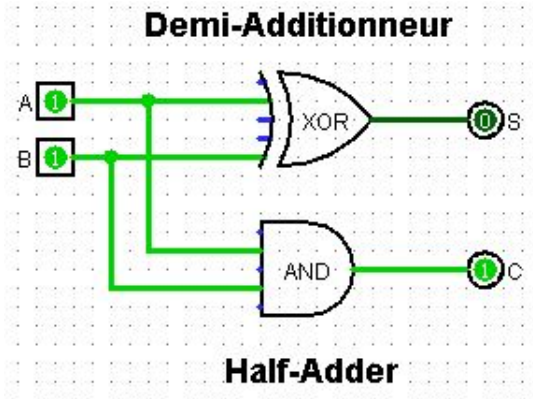
### 3.4 Les additionneurs ("adders")

#### 3.4.1 Le demi-additionneur (*half adder*)

Le circuit étudié, appelé **demi-additionneur**, permet d'additionner deux bits  $A$  et  $B$ . Il comporte deux sorties  $C$  et  $S$  qui représentent deux expressions booléennes.



#### Exercice 3.6



1. Donner les expressions booléennes de  $C$  et  $S$  en fonction de  $A$  et  $B$ .
2. Compléter la table de vérité de  $C$  et  $S$ .

Table de vérité :  $S$

Entrées		Sortie
$a$	$b$	$S$
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

Table de vérité de  $C$

Entrées		Sortie
$a$	$b$	$C$
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

3. Quel est le rôle des sorties  $C$  et  $S$  dans la fonction du circuit?



#### Remarque

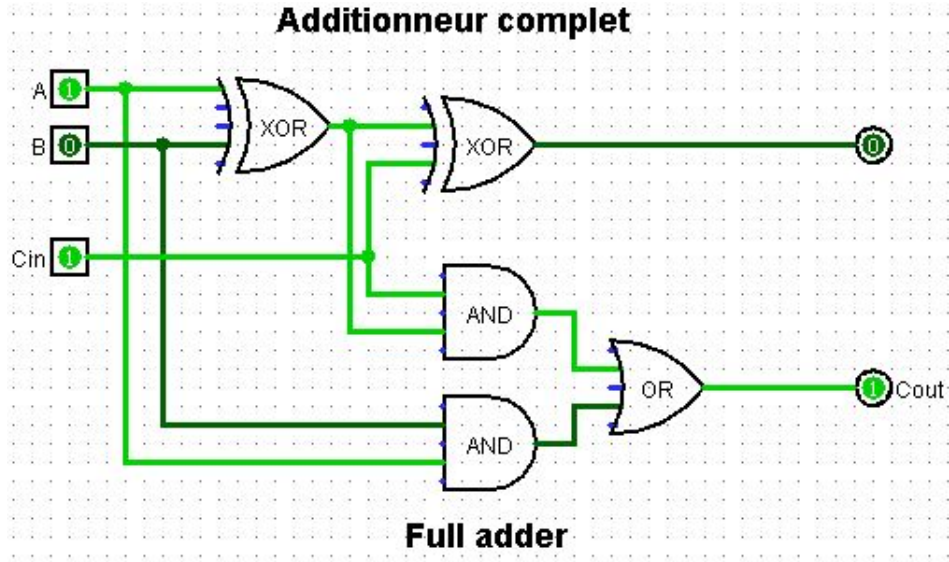
Le choix de la lettre  $C$  vient du fait qu'en anglais, "retenue" se dit "carry".

### 3.4.2 L'additionneur complet (*full adder*)

En pratique, une addition binaire est une suite d'additions sur 1 bit. Néanmoins, il faut connaître la retenue pour enchaîner ces additions. On réalise alors le circuit ci-dessous, appelé additionneur complet. Il comporte deux sorties  $C_{out}$ ,  $S$  et trois entrées, le bit  $A$ , le bit  $B$  et la retenue précédente  $C_{in}$ .



#### Exercice 3.7



1. Réaliser ce circuit à l'aide du logiciel Logisim.
2. Compléter la table de vérité ci-dessous.

$C_{in}$	$A$	$B$	$C_{out}$	$S$
0	0	0		
0	0	1		
0	1	0		
0	1	1		
1	0	0		
1	0	1		
1	1	0		
1	1	1		



## 3.5 De la fonction au circuit

**Exercice 3.8**

On donne ci-dessous la table de vérité d'une expression booléenne  $f(A, B)$ .

$A$	$B$	$S = f(A, B)$
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Retrouver l'expression de  $f(A, B)$  en fonction de  $A$  et  $B$  puis construire le circuit associé.

**Exercice 3.9**

On reprend l'exercice 3.8 du TD sur les variables booléennes.

On donne ci-dessous les tables de vérité de différentes expressions booléennes  $U$ ,  $V$  et  $W$ .

Retrouver les expressions de  $U$ ,  $V$  et  $W$  en fonction de  $A$  et  $B$  et  $C$  puis construire les circuits associés.

$A$	$B$	$C$	$U$
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1

$A$	$B$	$C$	$V$
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

$A$	$B$	$C$	$W$
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	0