



## Électronique logique

Portes  
logiques

Stabilité d'un  
circuit

Bascules RS

# Électronique logique



## Électronique logique

Portes  
logiques

Stabilité d'un  
circuit

Bascules RS

Dans les chapitres de première année, l'information à transmettre est représentée par une tension variable au cours du temps, qui peut prendre toute valeur dans une plage considérée.

C'est le domaine de l'électronique analogique.

L'électronique logique fait appel à un codage de l'information et n'utilise que deux états électriques nettement séparables : Haut et Bas, qui représenteront les chiffres 1 et 0 (en logique binaire).

L'élément d'information est appelé "bit" (binary unit)

On prend généralement une tension de 5V pour coder l'état haut et 0V pour coder l'état bas.

Avantage : Faible sensibilité au bruit.



- Électronique logique
- Portes logiques
- Stabilité d'un circuit
- Bascules RS

1

# Portes logiques



## Électronique logique

### Portes logiques

### Stabilité d'un circuit

### Bascules RS

Les portes logiques sont réalisées à partir blocs semi-conducteurs ou d'éléments tels que des diodes ou des transistors qui fonctionnent comme des commutateurs MARCHE/ARRÊT. On parle d'interrupteurs "commandés en tension".

Il existe plusieurs types de portes logiques que l'on peut combiner entre-elles pour former des systèmes électroniques complexes.



## Porte NOT (ou porte NON)

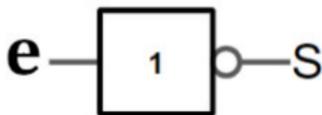
Électronique  
logique

Portes  
logiques

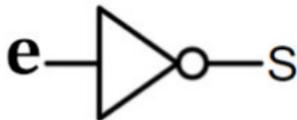
Stabilité d'un  
circuit

Bascules RS

L'opérateur NOT agit sur une seule variable d'entrée  $e$ . La porte renvoie en sortie l'opposé de celui-ci, noté usuellement  $s = \neg e$ .



$e$	$s$
0	1
1	0



Une table de vérité est un tableau comportant plusieurs colonnes. Les valeurs des cellules de ce tableau sont appelées « valeurs de vérité » ou « états logiques ».

La table de vérité de la porte NOT est représentée ci-dessus.



## Porte AND (ou porte ET)

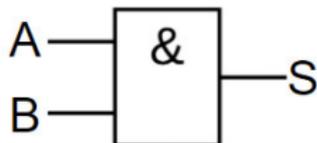
L'opérateur AND agit sur deux variables d'entrées  $a$  et  $b$ . La porte renvoie 1 uniquement si les deux entrées valent 1. On note sa sortie  $s = a \wedge b$ . Sa table de vérité est représentée ci-dessous.

Électronique  
logique

Portes  
logiques

Stabilité d'un  
circuit

Bascules RS



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

Certaines portes électroniques permettent d'utiliser la fonction AND sur plus de deux entrées. Dans ce cas, elle ne renvoie 1 que si toutes les entrées sont à 1.



## La porte OR (ou porte OU)

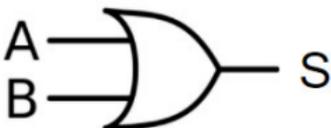
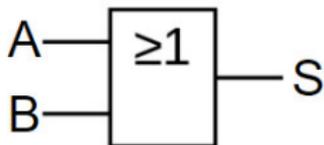
Électronique  
logique

Portes  
logiques

Stabilité d'un  
circuit

Bascules RS

L'opérateur OR agit sur deux variables d'entrées  $a$  et  $b$ . La porte renvoie 1 si l'une **ou** l'autre ou les deux entrées valent 1. On note sa sortie  $s = a \vee b$ .



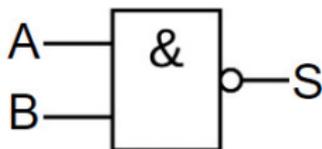
A	B	S
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Certaines portes électroniques permettent d'utiliser la fonction OR sur plus de deux entrées. Dans ce cas, elle ne renvoie 1 que si au moins une des entrées est à 1.



## Porte NAND (ou porte NON ET)

L'opérateur NAND permet de combiner directement une porte AND avec la fonction NOT. La représentation est celle de la porte AND à laquelle on rajoute le symbole du NOT. En sortie

$$s = \neg(a \wedge b)$$


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

Certaines portes électroniques permettent d'utiliser la fonction NAND sur plus de deux entrées. Dans ce cas, elle ne renvoie 0 que si toutes les entrées sont à 1.



## Porte NOR (ou porte NON OU)

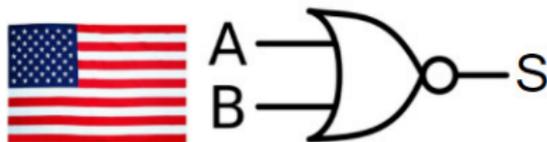
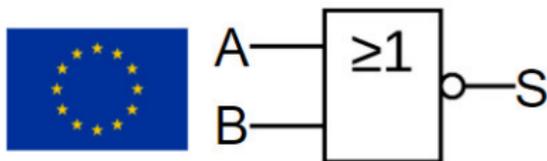
Électronique  
logique

Portes  
logiques

Stabilité d'un  
circuit

Bascules RS

L'opérateur NOR permet de combiner directement une porte AND avec la fonction NOT. La représentation est celle de la porte OR à laquelle on rajoute le symbole du NOT. En sortie  $s = \neg(a \vee b)$



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

Certaines portes électroniques permettent d'utiliser la fonction NAND sur plus de deux entrées. Dans ce cas, elle ne renvoie 1 que si toutes les entrées sont à 0.



## Porte XOR (ou porte OU EXCLUSIF)

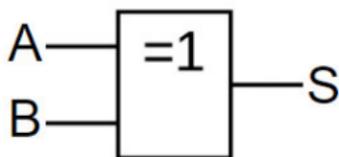
Électronique  
logique

Portes  
logiques

Stabilité d'un  
circuit

Bascules RS

L'opérateur XOR agit sur deux variables d'entrées  $a$  et  $b$ . La porte renvoie 1 si l'une ou l'autre (mais pas les deux) valent 1. On note sa sortie  $s = a \vee b$  (on utilise aussi  $s = a \oplus b$ ).



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

Le XOR n'est pas une opération fondamentale. Ainsi, il est possible de le construire comme une combinaison des autres opérations.



Montrer que  $a \underline{\vee} b = \neg b \wedge a \vee b \wedge \neg a$ .

$a$	$b$	$\neg a$	$\neg b$	$\neg b \wedge a$	$b \wedge \neg a$	$\neg b \wedge a \vee b \wedge \neg a$	$a \underline{\vee} b$
0	0						
0	1						
1	0						
1	1						

L'algèbre de Boole est constitué des deux éléments : 1 et 0. On peut utiliser trois opérations : la négation, l'addition et la multiplication tels que définis par les opérateurs NOT, OR et AND.

Pour montrer une égalité dans l'algèbre de Boole, il suffit de tracer les tables de vérités des deux termes et de constater l'égalité.



## Application :

Montrer les égalités suivantes :  $a \vee 0 = a$ ,  $a \vee 1 = 1$ ,  $a \wedge 0 = 0$   
et  $a \cdot 1 = a$

Électronique  
logique

Portes  
logiques

Stabilité d'un  
circuit

Bascules RS



## Lois de Morgan

Électronique  
logique

Portes  
logiques

Stabilité d'un  
circuit

Bascules RS

Montrer les égalités suivantes :

$$\neg(a \vee b) = \neg a \wedge \neg b$$

$$\neg(a \wedge b) = \neg a \vee \neg b$$



À partir de ces deux relations, on montre qu'on peut n'utiliser que la porte NAND pour réaliser toutes les opérations.

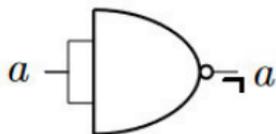
En effet, la sortie d'une porte NAND est  $\neg(a \wedge b)$ .

La porte NOT se construit avec  $\neg a = \neg(a \wedge a)$

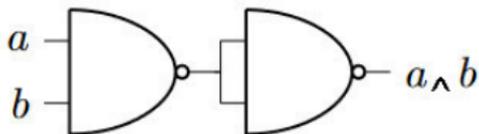
La porte AND s'obtient par négation de la porte NAND  
 $a \wedge b = \neg\neg(a \wedge b)$ .

Et pour OR, on réalise l'opération cette fois avec 3 portes NAND via la relation  $a \vee b = \neg(\neg a \wedge \neg b)$

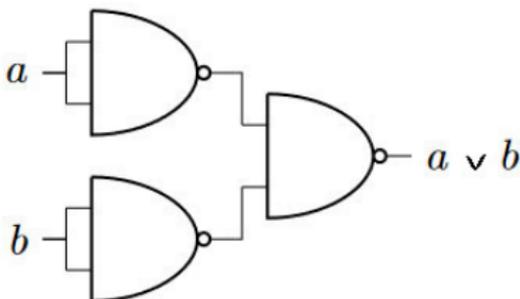
Tous les circuits peuvent être exclusivement réalisés avec des portes NAND. On dit que ces opérateurs forment chacun un groupe logique complet. (vrai aussi pour les portes NOR).



(a) L'opérateur NOT



(b) L'opérateur AND



(c) L'opérateur OR



## Application

Proposer des montages uniquement constitués de portes NOR réalisant les fonction NOT, OR et AND.

Électronique  
logique

Portes  
logiques

Stabilité d'un  
circuit

Bascules RS



## Électronique logique

Portes  
logiques

Stabilité d'un  
circuit

Bascules RS



Électronique  
logique

Portes  
logiques

Stabilité d'un  
circuit

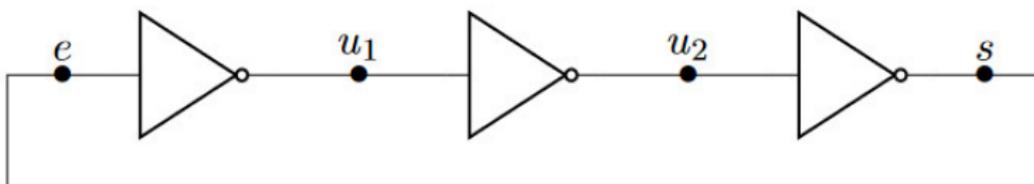
Bascules RS

2

Stabilité d'un circuit



## Circuit astable



Quel problème peut-on constater dans ce circuit ?

.....

.....

.....



En réalité, la commutation est non instantanée, celle-ci prend un certain temps, noté  $\tau$ , pour apparaître.

Ainsi, quand la troisième bascule a lieu, la valeur d'entrée  $e(3\tau)$  est différente de la valeur initiale  $e(0)$ . Pour revenir à la valeur initiale pour la valeur d'entrée, il faut donc attendre le temps  $6\tau$ , qui correspond à deux fois le temps nécessaire à la commutation des 3 portes.

Cette oscillation est permanente car le système est toujours en état instable.

Ce n'est pas le cas si on utilise un nombre pair de portes NOT.

## Définition

Un système bouclé est dit astable s'il n'y a pas d'état stable du système.

Le système précédent réalise un "oscillateur astable"



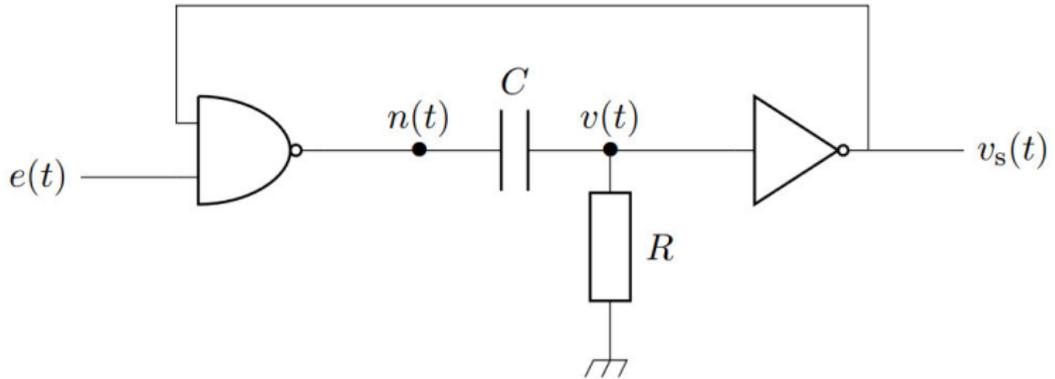
# Circuit monostable, exemple du convertisseur fréquence-tension

Électronique  
logique

Portes  
logiques

Stabilité d'un  
circuit

Bascules RS



## Propriété

Pour les portes idéales, les courants d'entrée sont supposés nuls.

Déterminer la relation entre  $n(t)$ ,  $v(t)$  et leur dérivées.

.....

.....



La tension  $n(t)$  est de dérivée nulle car, en sortie d'une porte logique, elle vaut soit l'état 0, soit l'état haut sans varier en dehors des bascules.

## Étude temporelle de la tension de sortie

Conditions initiales ( $t = 0$ ) :

- ▶ Condensateur déchargé
- ▶  $e(t = 0) = e_0$  état haut

Vérifier que l'état initial est un état stable.

.....

.....

.....



À  $t = t_1$ , l'entrée  $e$  est basculée à 0 pendant le temps  $T$ . On néglige les temps de commutation.

Que vaut  $n(t_1)$ ? .....

Que vaut  $v(t_1)$ ? .....

Que vaut  $v_s(t_1)$ ? .....

Dans quel état se trouvent alors les deux entrées de la porte NAND?

.....



À ce moment le condensateur est soumis à une tension  $n(t_1) - v(t_1) = \dots\dots\dots$ , il commence donc à se charger.

Exprimer  $v(t)$  durant la charge du condensateur.

.....

On suppose que le niveau de bascule de la porte NOT est  $v = \frac{e_0}{2}$ .

Étudier l'évolution du système en fonction des valeurs de  $T$  et de  $\tau = RC$  choisies. Représenter cette évolution sur le chronogramme ci-après. On fait l'hypothèse que la bascule de l'entrée est toujours suffisamment lente pour permettre la décharge complète du condensateur.



Électronique  
logique

Portes  
logiques

Stabilité d'un  
circuit

Bascules RS





Quelle est la durée de l'état bas de  $v_s(t)$  ?

.....

Quelle est la durée de l'état haut de  $v_s(t)$  ?

.....

## Définition

Un système séquentiel voit sa sortie évoluer non seulement en fonction des entrées, mais également en fonction de la valeur de sortie de celui-ci. Il s'agit d'un système bouclé pour lequel la sortie est réinjectée dans le système.



## Définition

Un système séquentiel monostable est un système présentant un état stable dans lequel il peut rester indéfiniment et un état instable de durée déterminée.

Conclusion :

.....

.....



La valeur moyenne du signal de sortie est proportionnelle au nombre d'impulsions par unité de temps, donc à la fréquence.

Ce montage peut donc servir à construire un convertisseur fréquence-tension.

Il suffit pour cela de le faire suivre d'un filtre passe-bas qui permet de mesurer la valeur moyenne du signal. En effet, si on note  $T$  la période du signal d'entrée et que celui ne provoque qu'une bascule par période, le signal de sortie sera en état 0 pendant  $T_B$  et en état haut pendant  $T - T_B$ .

Sa valeur moyenne est donc  $\frac{T - T_B}{T} e_0$ . En connaissant  $T_B$  et  $e_0$ , on a accès à  $T$ .



Électronique  
logique

Portes  
logiques

Stabilité d'un  
circuit

Bascules RS

3

Bascules RS



## Principe

Électronique  
logique

Portes  
logiques

Stabilité d'un  
circuit

Bascules RS

Ce montage n'est plus utilisé en pratique mais a eu une grande importance historique et est accessible avec les éléments de ce cours.

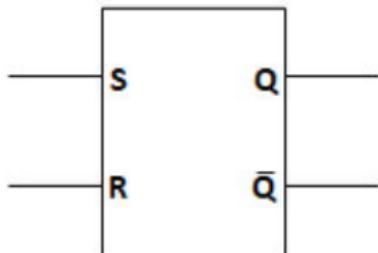
Il s'agit du circuit séquentiel le plus simple et le plus fondamental.

Une bascule RS a deux entrées : l'entrée « Set » notée (S) et l'entrée « Reset » notée (R). La sortie du circuit est notée Q. En pratique il y a aussi une sortie  $\overline{Q} = \neg Q$

Fonctionnement :

- ▶ lorsque l'entrée S passe à 1, la sortie Q passe à 1 ;
- ▶ cette sortie reste à 1 quelle que soit la valeur de S ;
- ▶ lorsque l'entrée R passe à 1, la sortie Q passe à 0.

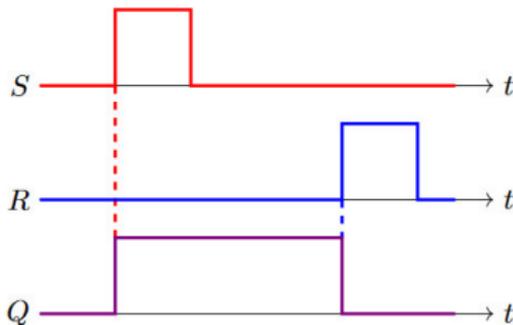
Le cas  $R = S = 1$  n'est normalement pas possible dans les utilisations normales de la bascule RS.



Symbole de la bascule RS

Entrées			Sorties	
R	S	$Q_n$	$Q_{n+1}$	$\overline{Q_{n+1}}$
0	0	0	0	1
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	1	0
1	0	0	0	1
1	0	1	0	1
1	1	0	-	-
1	1	1	-	-

Table de vérité de la bascule RS





Pour  $S = R = 0$ , la sortie  $Q$  peut prendre la valeur 0 ou 1 selon l'histoire du circuit. C'est ce qui constitue « l'effet mémoire ». Pour écrire une équation combinatoire de la sortie, on doit différencier les deux états :

- ▶  $S = R = 0$  ayant la valeur  $Q = 0$
- ▶  $S = R = 0$  ayant la valeur  $Q = 1$

L'équation du Set-Reset est donc une relation combinatoire de la forme

$$Q_{n+1} = f(R, S, Q_n)$$

où  $Q_{n+1}$  est la valeur de  $Q$  juste après la modification de d'une entrée et  $Q_n$  la valeur de  $Q$  avant la modification de l'entrée.

La table de vérité de la bascule RS ne permet pas de décrire entièrement un circuit logique. Le cas  $R = S = 1$  est laissé libre donc plusieurs possibilités de circuits logiques sont possibles.



## Mémoire à inscription prioritaire

Électronique  
logique

Portes  
logiques

Stabilité d'un  
circuit

Bascules RS

Elle favorise l'inscription  $S$  sur l'effacement  $R$ . Dans ce cas,  $S = R = 1$  implique  $Q_{n+1} = 1$ . Dans ce cas  $Q_{n+1} = 1$  dès que  $S = 1$ .

Table de Karnaugh d'une bascule RS à inscription prioritaire :

$Q_n \backslash RS$	00	01	10	11
0	0	1	0	1
1	1	1	0	1

Ce qui peut être traduit pas l'équation :

$$Q_{n+1} = (\neg R \wedge Q_n) \vee S$$

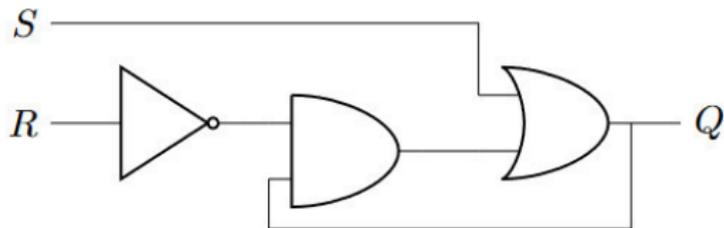


## Électronique logique

Portes logiques

Stabilité d'un circuit

Bascules RS



(a) Circuit directement issu de la fonction logique

Proposer un circuit équivalent uniquement constitué de portes NAND



## Électronique logique

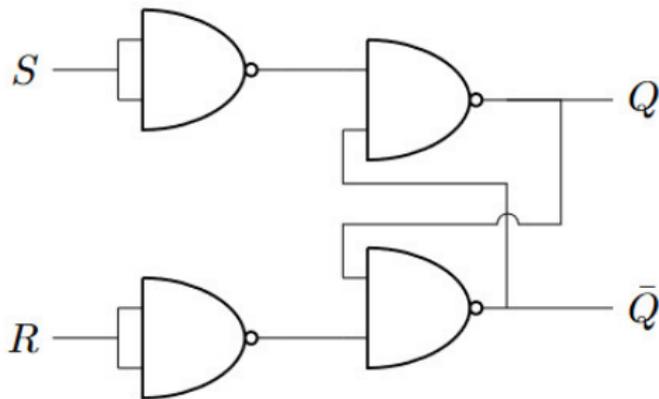
Portes  
logiques

Stabilité d'un  
circuit

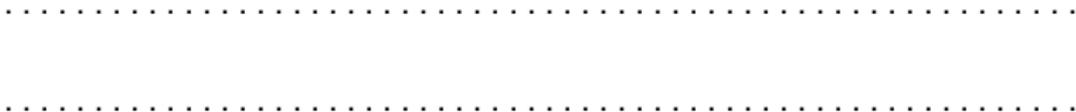
Bascules RS



Montrer que le circuit ci-dessous réalise également une bascule RS à inscription prioritaire.



(b) Circuit équivalent à portes NAND.





## Mémoire à effacement prioritaire

Électronique  
logique

Portes  
logiques

Stabilité d'un  
circuit

Bascules RS

Elle favorise l'effacement  $R$  sur l'inscription  $S$ . Dans ce cas,  $S = R = 1$  implique  $Q_{n+1} = 0$ . Dans ce cas  $Q_{n+1} = 1$  dès que  $R = 1$ .

Table de Karnaugh d'une bascule RS à inscription prioritaire :

$Q_n \backslash RS$	00	01	10	11
0	0	1	0	0
1	1	1	0	0

Ce qui peut être traduit pas l'équation :

$$Q_{n+1} = \neg R \wedge (Q_n \vee S)$$

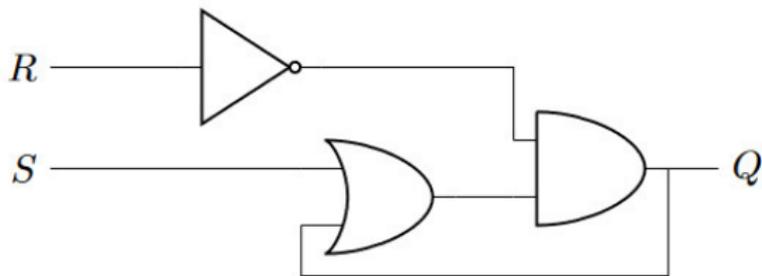


Électronique  
logique

Portes  
logiques

Stabilité d'un  
circuit

Bascules RS



(a) Circuit directement issu de la fonction logique

Proposer un circuit équivalent uniquement constitué de portes NOR.



## Électronique logique

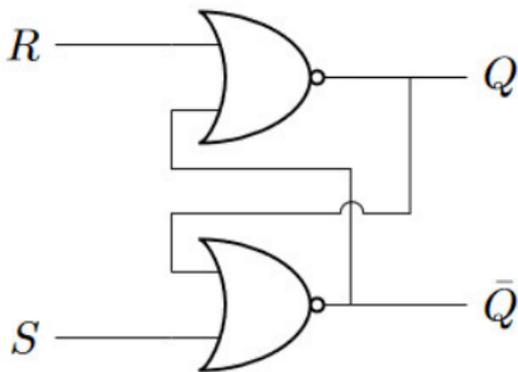
Portes  
logiques

Stabilité d'un  
circuit

Bascules RS



Montrer que le circuit ci-dessous réalise également une bascule RS à effacement prioritaire.



(b) Circuit équivalent à portes NOR.





# Bistabilité

Électronique  
logique

Portes  
logiques

Stabilité d'un  
circuit

Bascules RS

## Définition

Un système séquentiel bistable est un système présentant deux états stables. Ils peuvent passer d'un état à l'autre par une impulsion extérieure de commande.

On constate que la bascule RS est un système bistable. Le changement de valeur de Q étant lié à une combinaison particulière des valeurs d'entrées