

# Systemes Digitaux

Cours 6

# Rappel

- On a examiné plusieurs types de mémoires:
  - Bascules SR (NON-ET et NON-OU)
  - Bascules SR avec autorisation
  - Bascules D
  - Flip flops
- Les éléments importants sont les flip flops
  - Au front d'horloge, sortie=entrée.
  - Sinon, ça conserve sa valeur.

Les flaps flops sont les éléments de base dans les circuits séquentiels

# Aujourd'hui

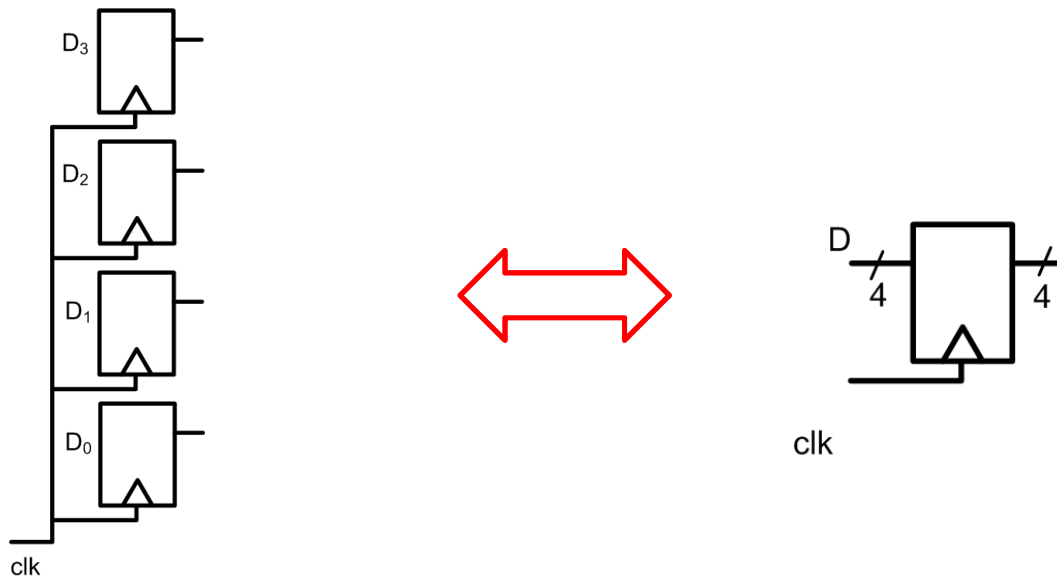
- On va voir les blocs séquentiels classiques :
  - Registres
  - Registres à décalage
  - Compteurs
- On parlera aussi de l'analyse des circuits séquentiels

# Registres et compteurs

- Définitions:
  - **Bus**: plusieurs fils qui forment un groupe logique
  - **Registres**: plusieurs flip flops qui forment un groupe. Ça peut aussi inclure des portes pour contrôler l'opération
  - **Compteurs**: Circuit séquentiel qui passe par un nombre bien déterminé d'états (ex: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 0, 1, 2...)

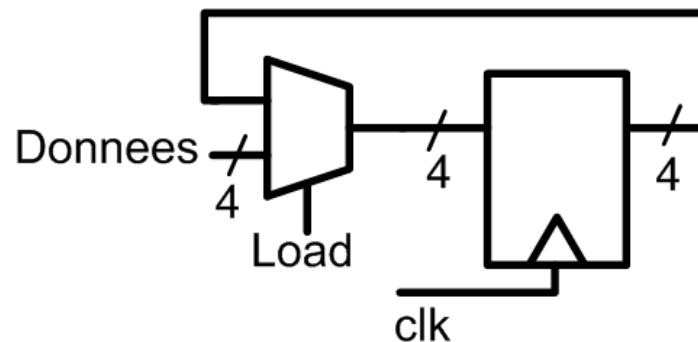
# Registre

- Dans sa forme la plus simple, un registre est composé de flip flops...
- Les 4 fils en entrée et sortie deviennent des bus:



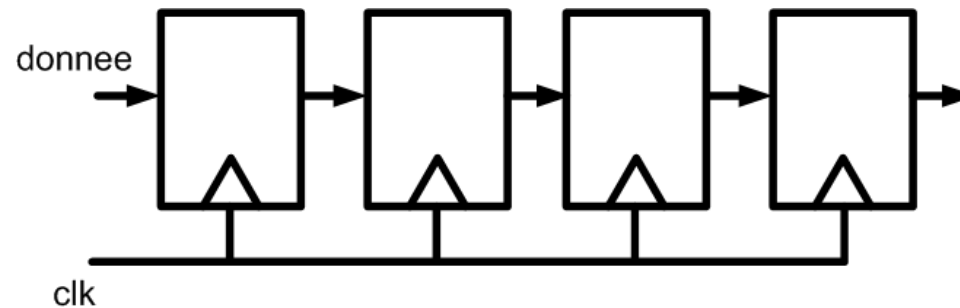
# Registre avec chargement parallèle

- Il existe aussi des registres à chargement parallèle
  - Si on l'autorise, la donnée sera stockée
  - Sinon, la donnée précédente est préservée (même s'il y a front d'horloge)



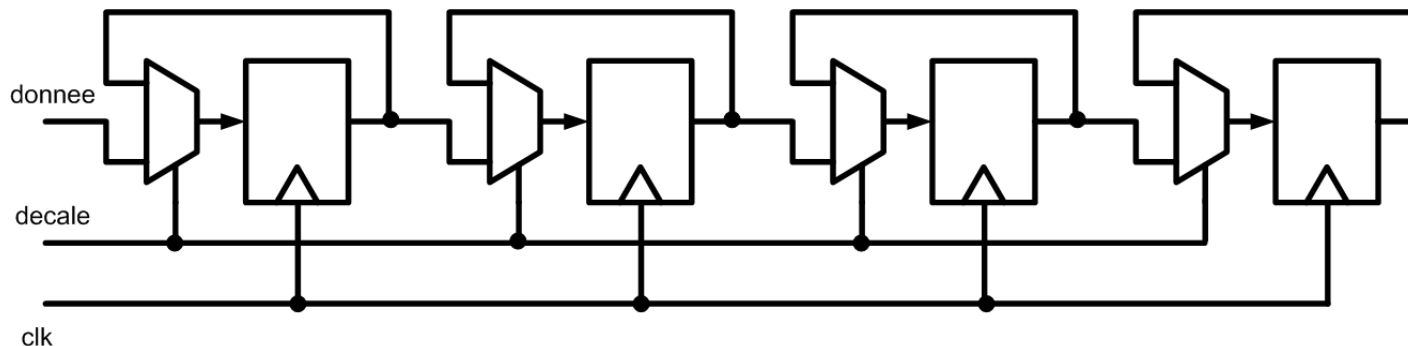
# Registres à décalage

- Un registre à décalage est une série de flip flops connectés en série
  - À chaque cycle d'horloge, les données passent d'une flip flop à l'autre



# Registres à décalage

- Il existe plusieurs genres de registres à décalage:
  - Certains vont toujours décaler les données
  - D'autres vont décaler les données une fois de temps en temps (si on mettait des multiplexeurs)
  - D'autres vont aller dans les 2 sens...



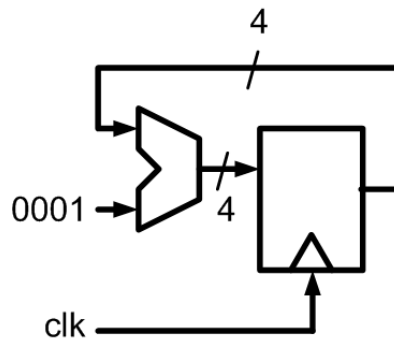


# Registre à décalage universel

- Les registres à décalage universels ont plusieurs fonctions:
  - Remise à zero du contenu
  - Une horloge
  - Décalage à droite
  - Décalage à gauche
  - Chargement en parallèle
  - Un contrôle pour conserver les données
- Présenté ici pour des raisons historiques...

# Compteurs

- Les compteurs sont des registres qui passent par une séquence bien définie d'états
  - Un compteur ne passe pas nécessairement par les séquences typiques (0,1,2,3,..)
  - Une bonne séquence pourrait être 1,3,2,5,6,4,7,1,3,2...
- On sait qu'un compteur peut être fait avec un additionneur et un registre...

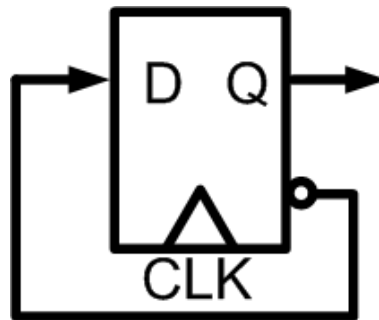


# Compteurs

- Puisque c'est un bloc populaire, certains l'ont optimisé
  - Certaines implantations veulent être petites
  - D'autres veulent être rapides
- On va présenter quelques implantations possibles
- Il existe 2 grandes classes de compteurs:
  - Les compteurs à propagation
  - Les compteurs synchrones

# Compteurs

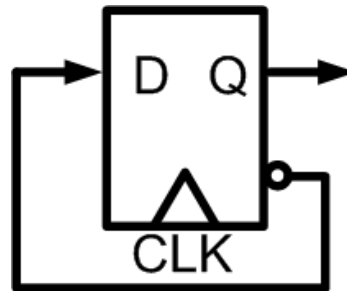
- Les compteurs à propagation utilisent la transition d'un étage pour stimuler l'autre
- L'exemple classique d'un compteur à propagation est basé sur ce circuit:



Que fait ce circuit?

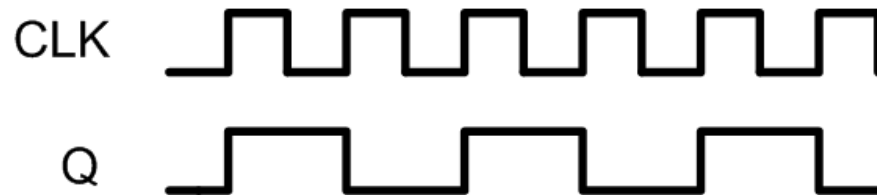
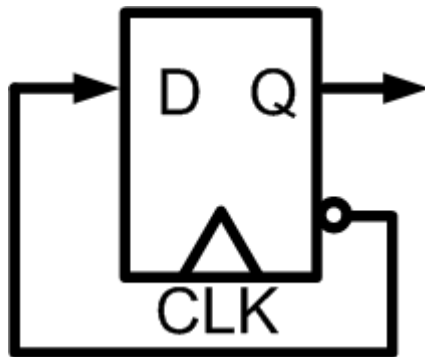
# Exemple (seul)

- Tracez la sortie Q si sa valeur initiale est 0...



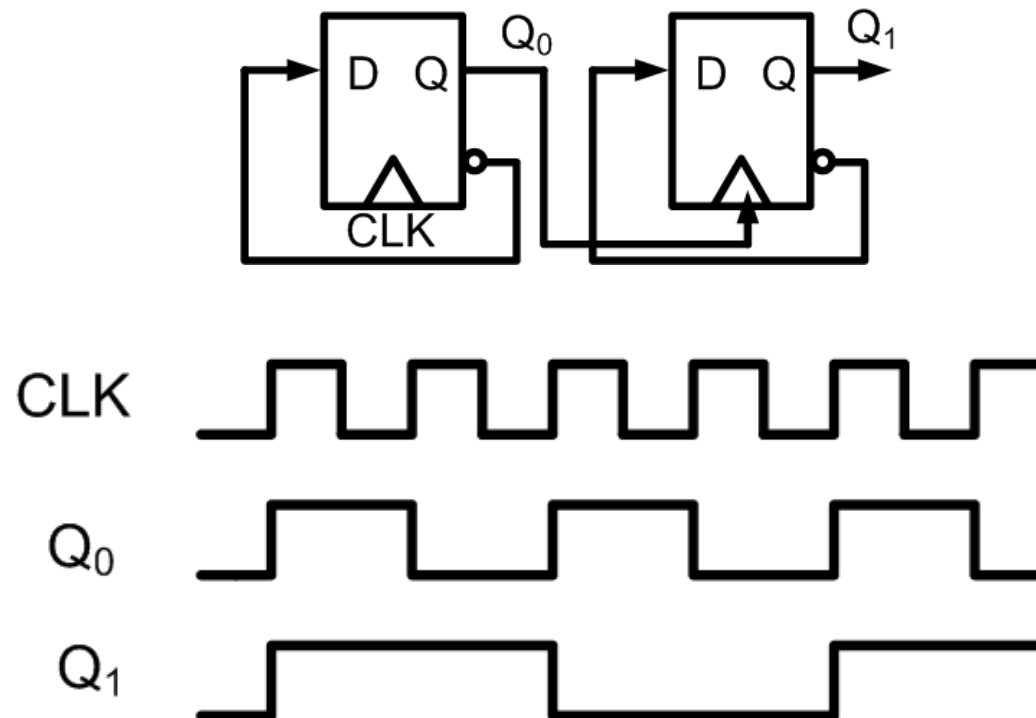
# Exemple (seul)

- À chaque front d'horloge, la sortie est inversée
  - La sortie est un signal qui est 2 fois plus lent que l'horloge en entrée
  - C'est un diviseur d'horloge par 2



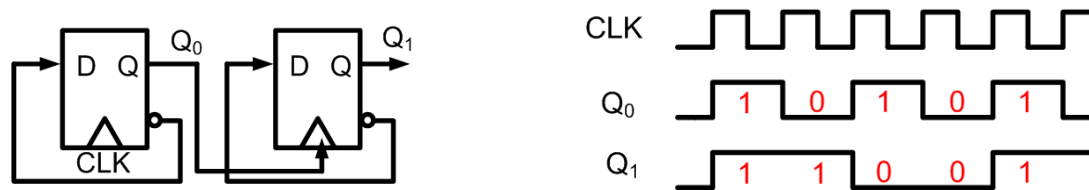
# Compteurs

- En connectant la sortie au CLK d'un autre étage, on divise la fréquence en 2 encore
  - Division par 4 au total par rapport à clk

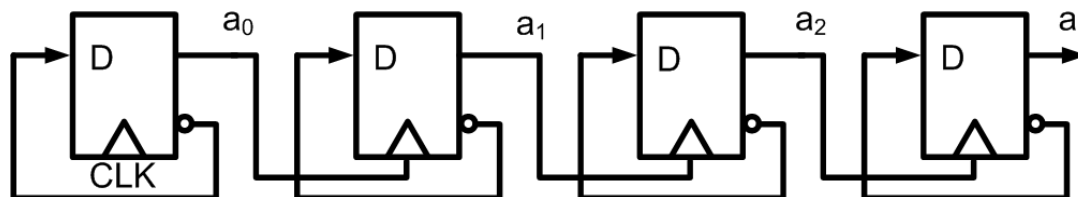


# Compteurs

- Mais en plus de s'intéresser à la fréquence de sortie, examinons les valeurs des 2 flip flops
  - Ça passe par toutes les séquences 00, 01, 10 et 11
  - En fait, c'est un compteur



- Si, par exemple, on avait 4 flip flops, ça irait jusqu'à 15.





# Application

- Pourquoi voudrait-on diviser une horloge?
- Une des sources d'oscillations les plus précises, c'est le quartz
  - On peut faire un circuit qui utilise le quartz pour générer une horloge
- Sur notre plaquette DE10, on a un cristal (de quartz) de 50MHz...
  - Pour certaines applications, 50MHz, c'est trop rapide
  - On va vouloir le ralentir pour pouvoir s'en servir

# Exemple (seul)

- Combien d'étages de flip flop ai-je besoin pour avoir une fréquence de MOINS de 10Hz?
  - On cherche la valeur minimale...
- Proposez une autre façon de sortir une horloge de moins de 10Hz...

# Exemple (seul)

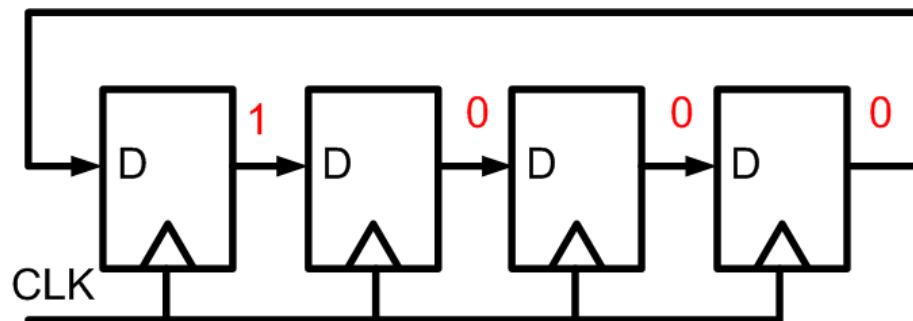
- Chaque flip flop me donne un facteur de 2
- La façon naive:
  - Je divise 50M par 2 jusqu'à ce que j'aie moins de 10
  - Le nombre de fois que je divise c'est le nombre de flip flops
- Sinon...
  - Combien de fois est-ce que 50M est plus grand que 10?
  - $2^N = 5\,000\,000$ ... Trouvez N...
  - Ça me dit que 23 devrait faire l'affaire...

# Exemple (seul)

- Sans le compteur à propagation, on pourrait utiliser un compteur normal...
  - On veut 10Hz
  - On a présentement 50 000 000Hz
  - On est 5 000 000 fois trop vite
- On pourrait compter jusqu'à 5 000 000
  - De 0 à 2 500 000 on génère '0'
  - De 2 500 000 à 5 000 000 on génère '1'
  - On aurait notre horloge de 10Hz exactement...

# Compteurs cycliques

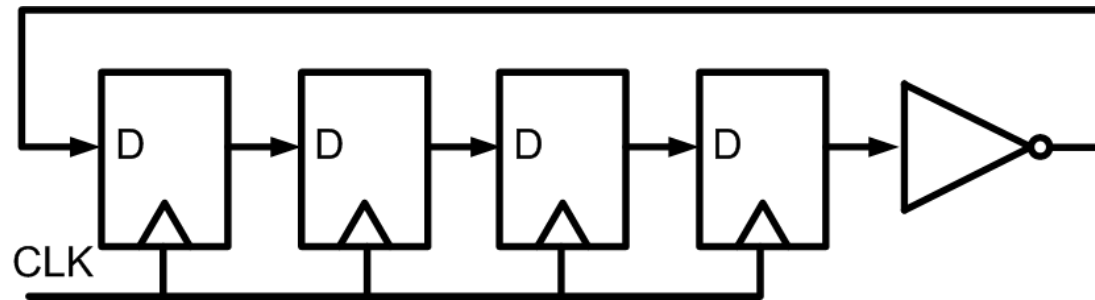
- Les compteurs cycliques sont des compteurs synchrones
  - Ils sont de très petites tailles et fonctionnent vite
  - Le désavantage c'est que leur compte est souvent pas aussi efficace (n bits donne moins que  $2^n$  comptes)
- Un premier exemple c'est un registre à décalage en one-hot:



Avec 4 flip flops  
il va compter jusqu'à 4

# Compteurs cycliques

- Il existe aussi le compteur Johnson qui est plus efficace:
  - Il peut avoir 8 états avec 4 flip flops...



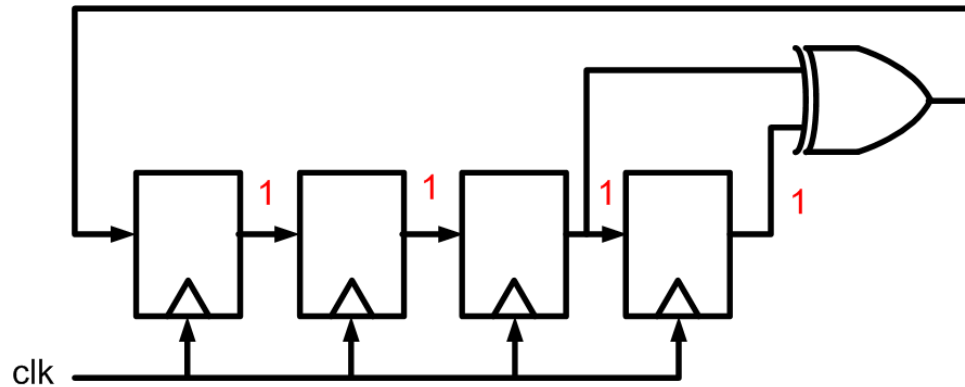
- Trouvez l'ordre dans lequel le compte va défiler...

# Compteurs cycliques

- Il existe un autre genre de compteur populaire en télécommunications:
  - Le générateur de PRBS (Sequences pseudo-aleatoires)
- Avec N flip flops, il est capable de générer  $2^N - 1$  comptes (4 FF donnent 15 comptes)
- **MAIS!**
  - Il ne suit pas un compte normal
  - Et on doit l'initialiser à une valeur AUTRE que 0000

# Compteurs cycliques

- Le circuit du générateur PRBS ressemble à ceci:



- Trouvez l'ordre dans lequel le compte va défiler...



# Définitions

- **État**: Valeur dans les flip flops. On associe parfois une signification à ces valeurs.
- **Sortie**: Valeur calculée à partir de l'état et l'entrée. Parfois, c'est égal à l'état.
- **Horloge en entrée**: La « clock », est un signal qui dicte la fréquence des opérations

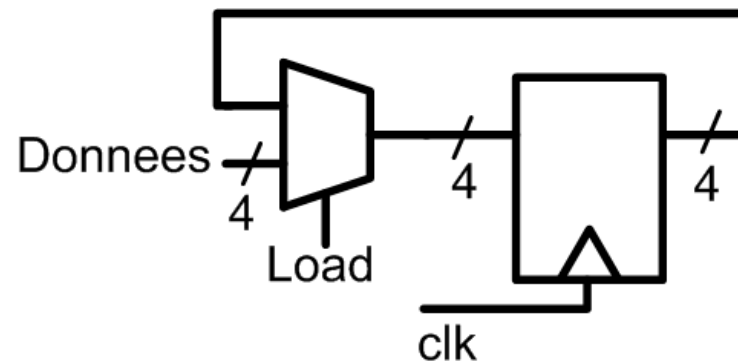
L'état peut donc changer à chaque front d'horloge en entrée

# Définitions

- Pour les diviseurs d'horloge, on a quelques définitions:
  - **Compte**: Le compte, qui est la valeur d'un compteur, est essentiellement l'état du compteur (plusieurs bits).
  - **Horloge en sortie**: Signal oscillatoire de 1 bit dont la fréquence est souvent inférieur au « clock » en entrée.

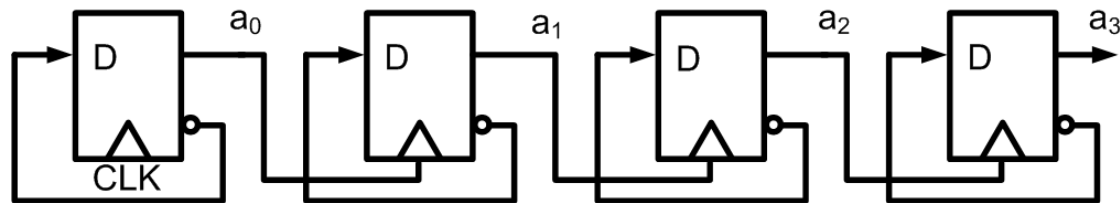
# Explications

- Cas 1:
  - Il y a 2 entrées en plus d'une entrée clk
  - Le compte est l'état
  - La sortie est l'état (pas explicite, mais bon)



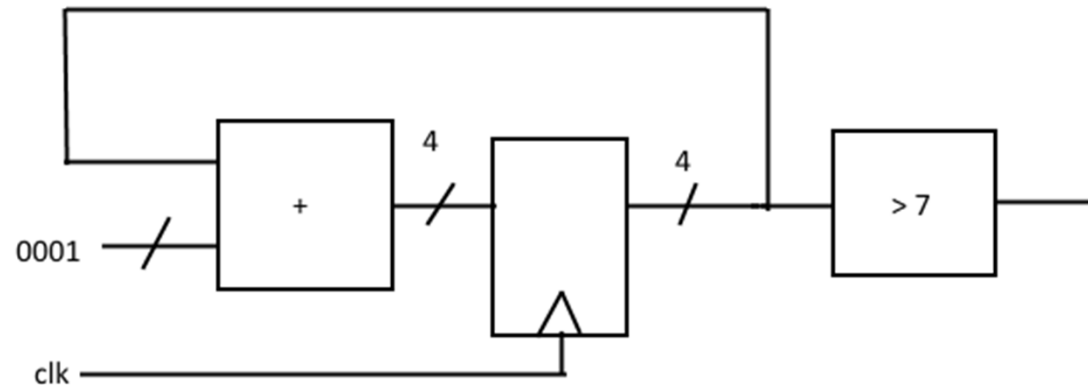
# Explications

- Cas 2:
  - Il n'y a pas d'entrées AUTRE que la clock (c'est un minimum)
  - L'état est donné par  $a_0$  jusqu'à  $a_3$
  - La sortie, si c'est un compteur, c'est l'état
  - Si c'est un diviseur d'horloge, la sortie est  $a_3$



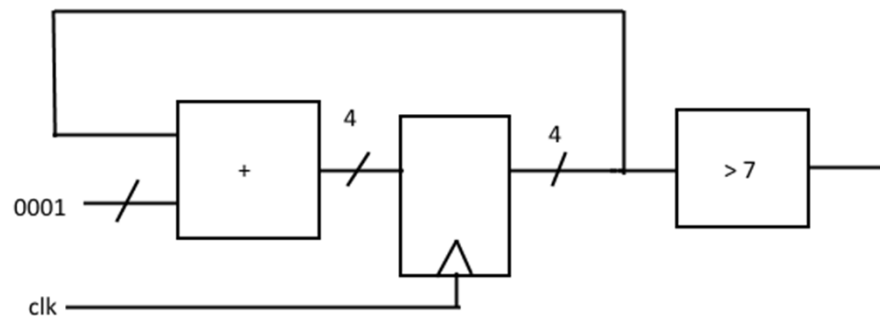
# Explications

- Cas 3:
  - Il n'y a pas d'entrées AUTRE que la clock (c'est un minimum)
  - L'état c'est la valeur des flip flops
  - La sortie, c'est la sortie du comparateur



# Mealy et Moore

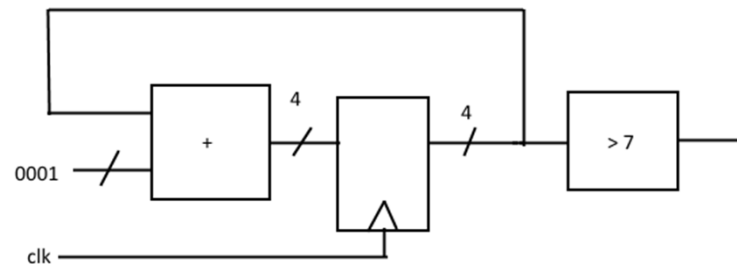
- Restons avec ce circuit:



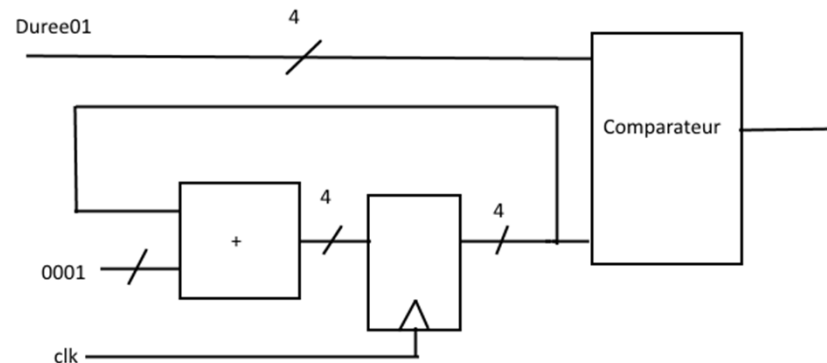
- Quelle serait sa fonction si l'horloge en entrée était d'une fréquence de 160Hz?

# Mealy et Moore

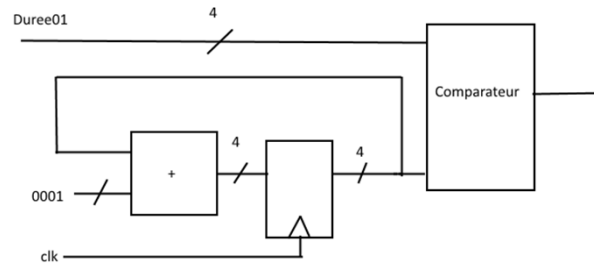
- Ce circuit passe la moitié de son temps à 0 et l'autre moitié à 1



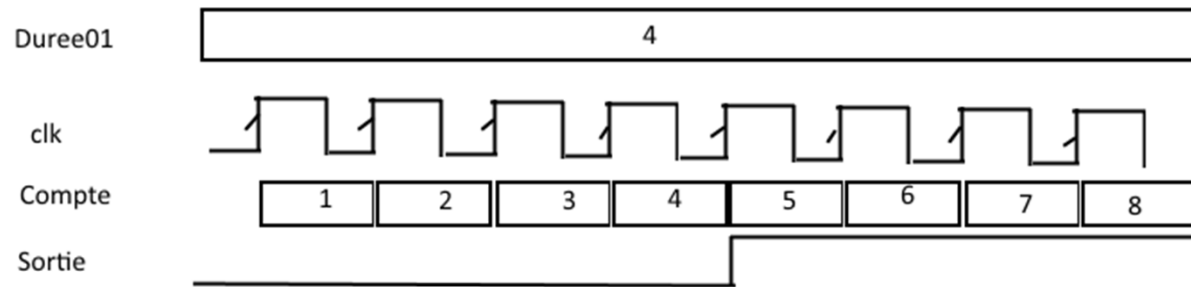
- Pour changer ce ratio, il serait possible de faire ceci:



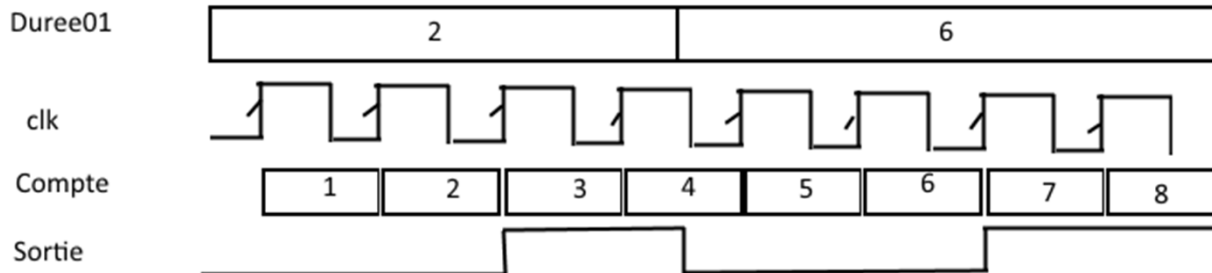
# Mealy et Moore



Cas idéal

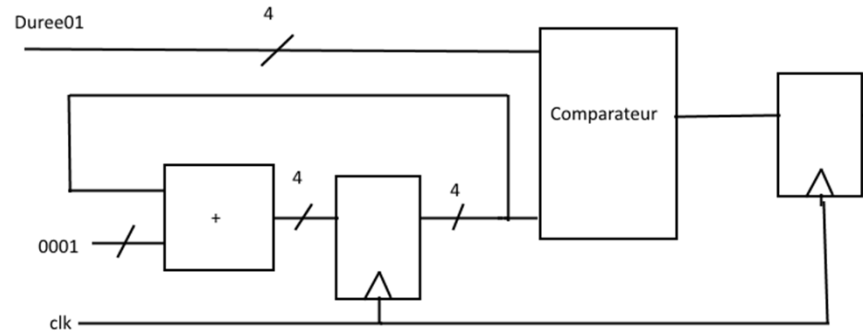


Cas moins idéal

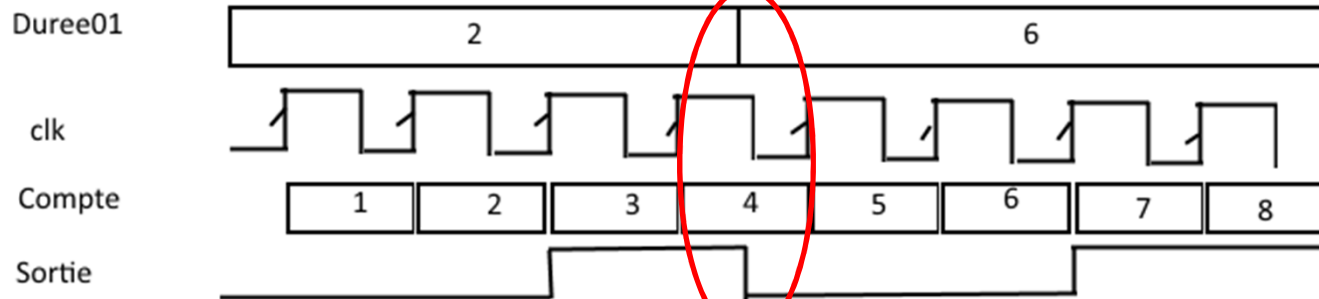




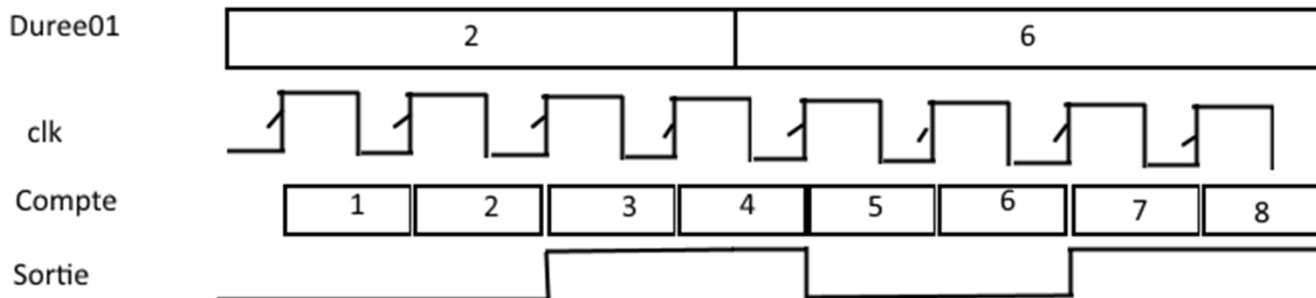
# Mealy et Moore



Circuit précédent



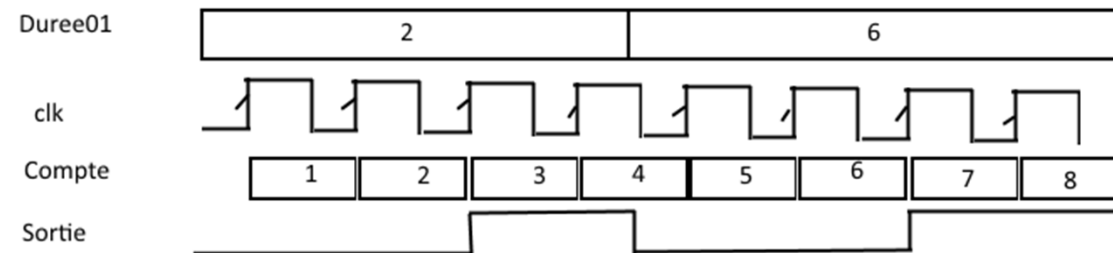
Nouveau circuit



# Mealy et Moore

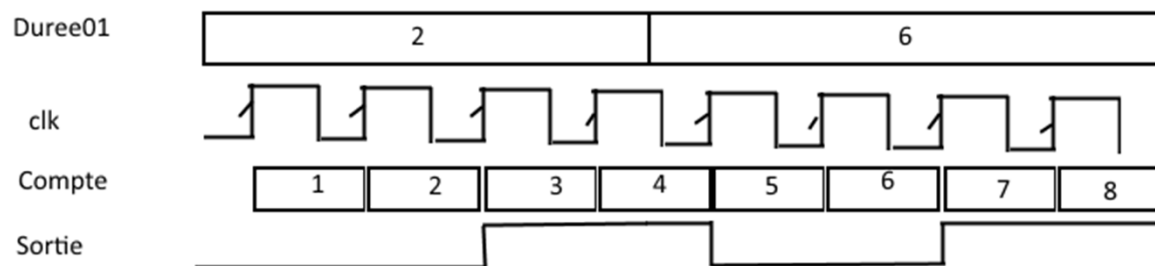
- Quand la sortie dépend de l'état (compte) et de l'entrée: machine de Mealy

Mealy



- Quand la sortie dépend seulement de l'état: machine de Moore

Moore

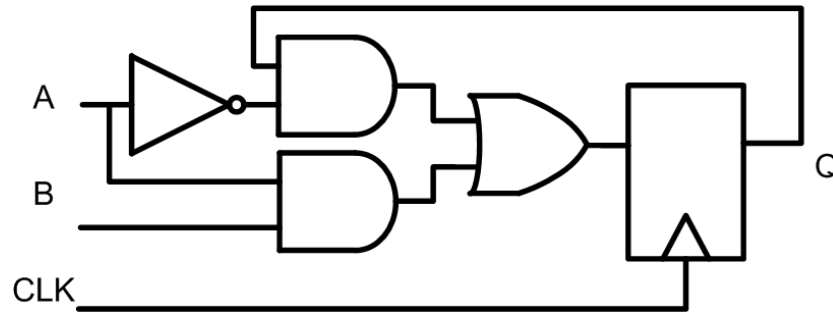


# Analyse

- Dans la prochaine partie du cours, on va apprendre à analyser des circuits séquentiels
- À partir d'un circuit, peut-on extraire son comportement?
  - L'extraction de fonction logique est simple
  - La compréhension de ces fonctions logiques l'est moins
  - On ne sera pas toujours capables de le faire...

# Analyse

- Considérons un circuit comme celui-ci

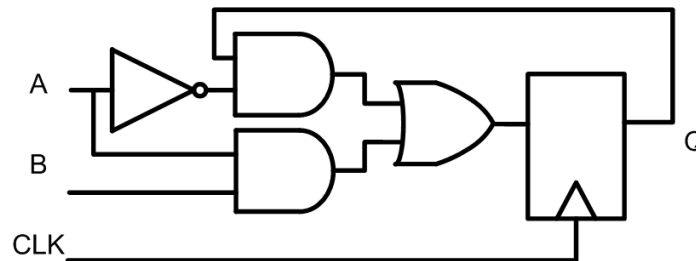


- Comment se comporte-t-il?
  - On a toutes les connaissances pour le faire
  - Il nous faut juste une approche systématique...

# Analyse

- Avec une flip flop D, la sortie égale l'entrée
  - Pour connaître la sortie, il faut connaître l'entrée
  - Il faudrait donc écrire l'équation logique à l'entrée de toutes les flip flops
- Dans une analyse combinatoire, on aurait seulement besoin de A, B et Q
  - Avec les circuits séquentiels, il faut distinguer  $Q(t)$  et  $Q(t+1)$

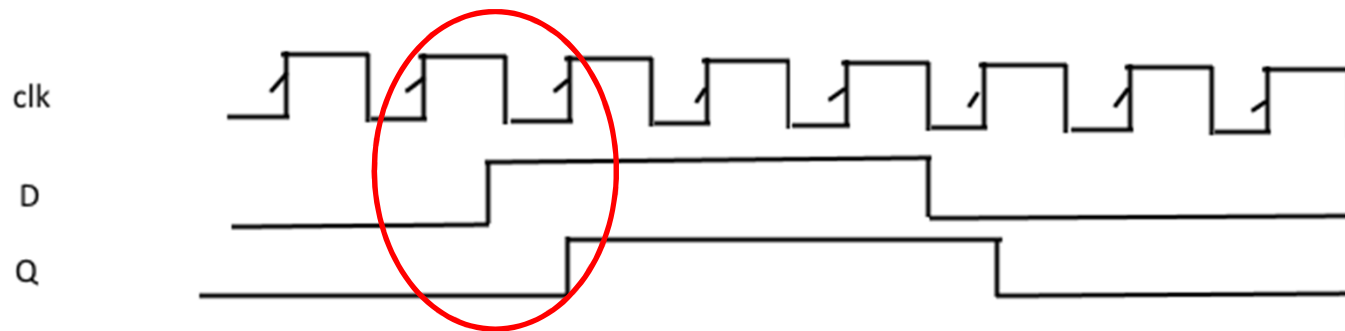
Les entrées sont A, B,  $Q(t)$   
La sortie est  $Q(t+1)$



C'est quoi la différence entre  $Q(t)$  et  $Q(t+1)$ ?

# Parenthèse: $Q(t)$ et $Q(t+1)$

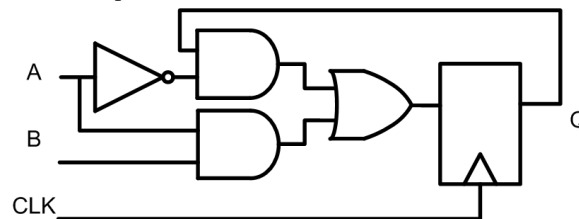
- Considérons ce diagramme temporel fictif:



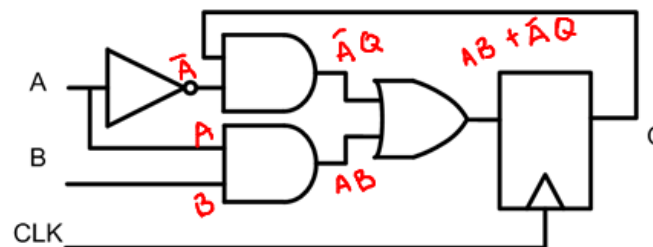
- Dans la zone choisie:
  - $Q(t) = 0$  (l'état actuel est 0)
  - $Q(t+1) = D = 1$  (Quand l'horloge arrivera, sa nouvelle valeur sera 1)

# Analyse

- On retourne au problème:



- On propage les signaux jusqu'à l'entrée des flip flops...



- On retrouve l'équation suivante:

$$Q(t+1) = \bar{A}Q(t) + AB$$

# Analyse

- Pour analyser, on fait un tableau

$$Q(t+1) = \bar{A}Q(t) + AB$$

A	B	Q(t)	Q(t+1)
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	1



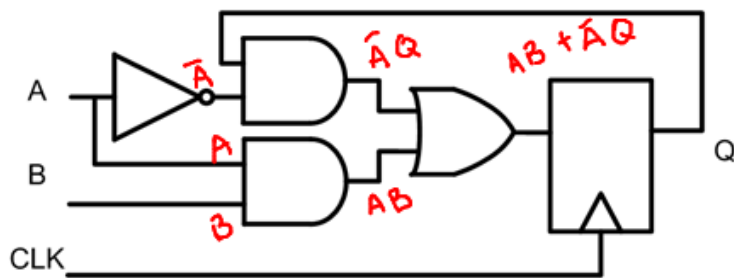
Entrées

Sortie

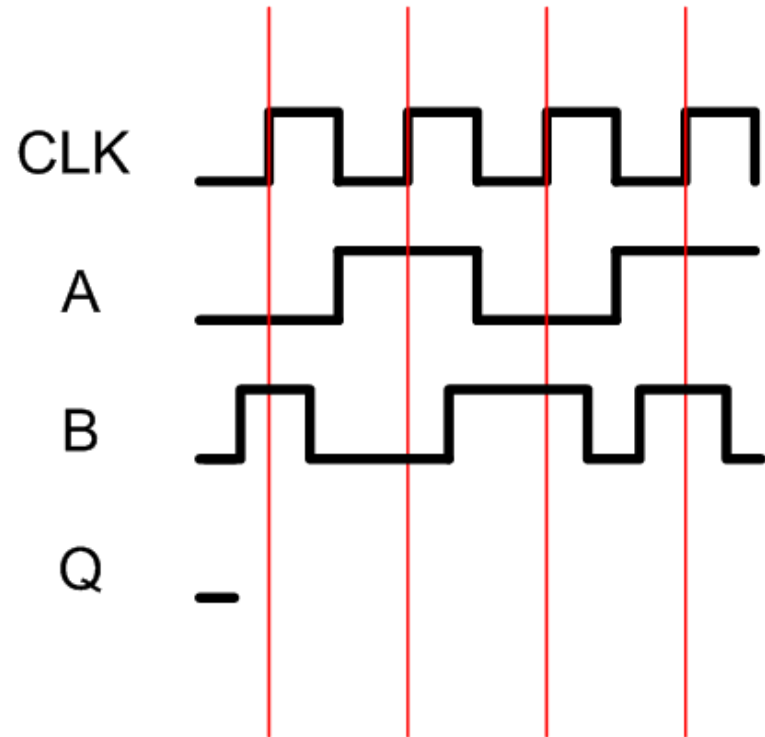


# Exemple (seul)

- Dessinez le signal de sortie Q:



$$Q(t+1) = \overline{A}Q(t) + AB$$

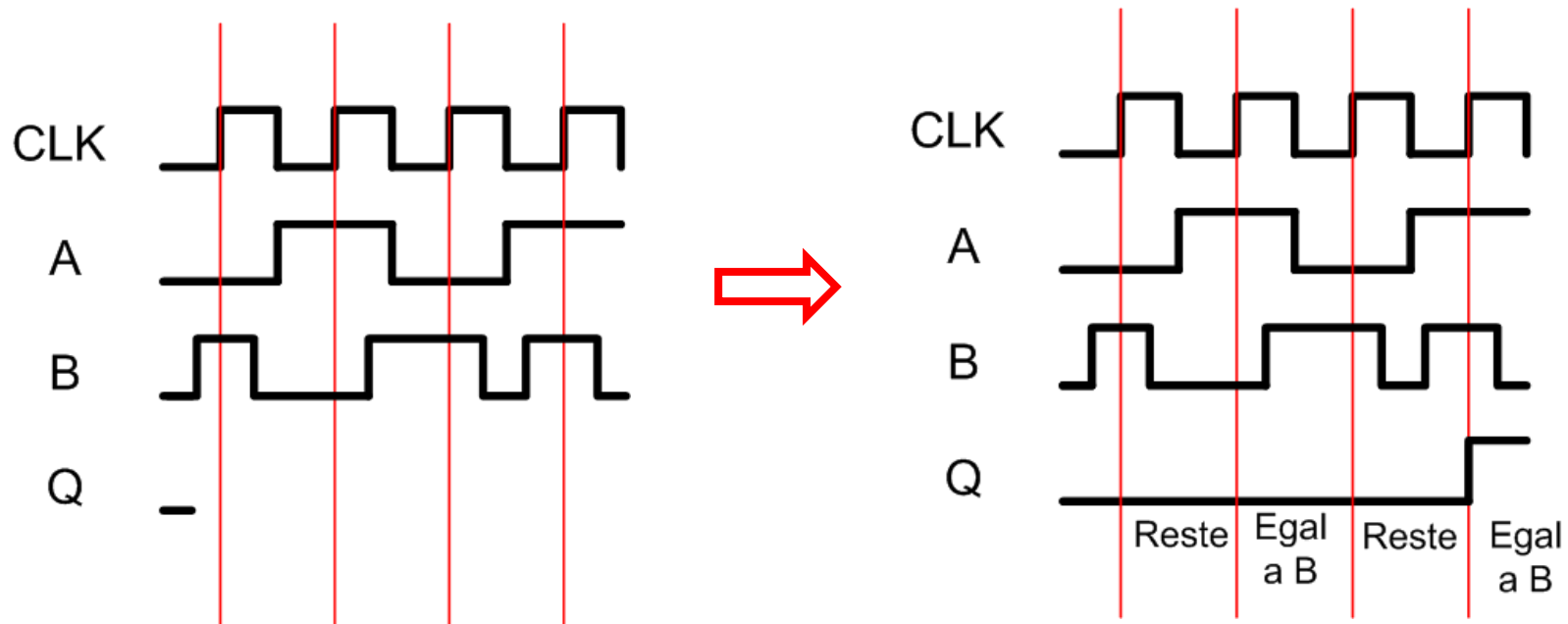


# Exemple (seul)

- Les sorties changent SEULEMENT au front montant

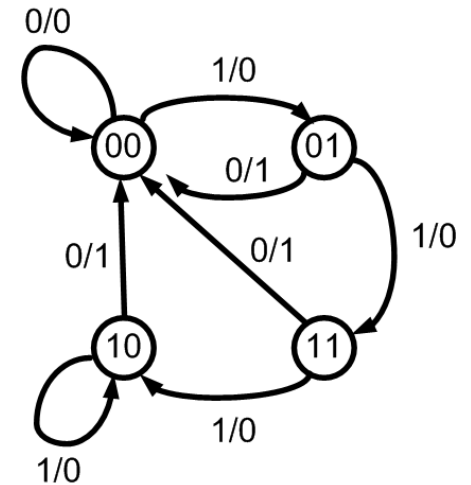
$$Q(t+1) = \overline{A}Q(t) + AB$$

- Si A=0, Q conserve sa valeur.. Sinon, Q = B



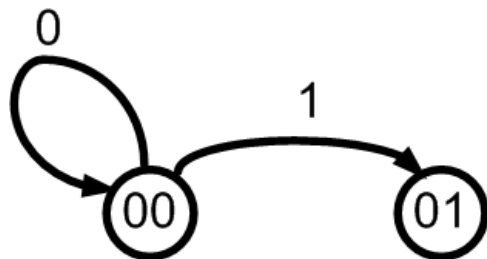
# Diagrammes d'états

- Les diagrammes d'états nous donnent une autre façon de s'exprimer
  - Cette forme nous parlera un peu plus
- Contiennent les éléments suivants:
  - Des cercles avec des chiffres dedans
  - Des flèches qui vont d'un cercle à l'autre
  - Des chiffres sur les flèches
  - Des chiffres dans les cercles
  - Et des barres obliques sur les flèches



# Diagrammes d'états

- Les cercles représentent des états:
  - Chaque état est une valeur possible des flip flops
  - Dans un circuit avec 3 flip flops, il y aura  $2^3=8$  états possibles... donc 8 cercles
- Les flèches indiquent QUAND on passe d'un état à l'autre:
  - Le numero sur la flèche donne la condition sur l'input sous laquelle l'état change

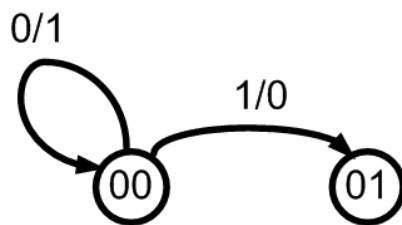


Je passerai de l'état 00 à l'état 01 quand mon input est 1

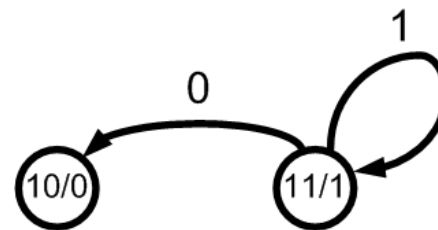
Si l'input était 0, je resterais à 00

# Diagrammes d'états

- Plusieurs inputs peuvent donner la même transition: on les sépare avec une virgule
- On représente aussi les sorties dans le diagramme
  - On représente les sorties avec une barre oblique
  - Elles se trouvent soit sur la flèche ou dans le cercle selon ce qui détermine sa valeur



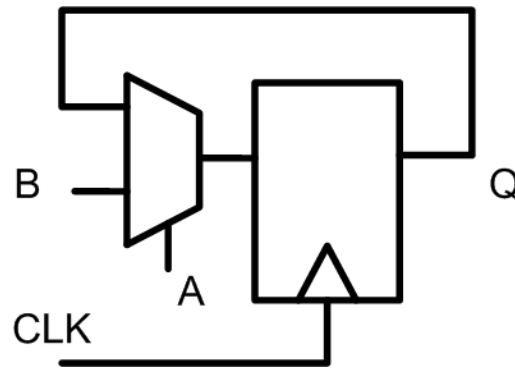
De 00, la sortie sera 1 si l'input est 0  
Avec input de 1, on aura 0 en sortie



Dans l'état 11, la sortie sera 1  
Dans l'état 10, la sortie sera 0

# Exemple

- Dessinez le diagramme d'états du circuit suivant:



# Exemple

- On commence par dessiner les états:

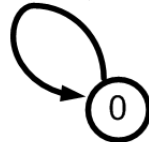
①

②

- Avec le tableau, on peut dessiner les flèches

- On trace une flèche qui va de  $Q(t)$  à  $Q(t+1)$
- On écrit les inputs qui font cette transition

00, 01, 10



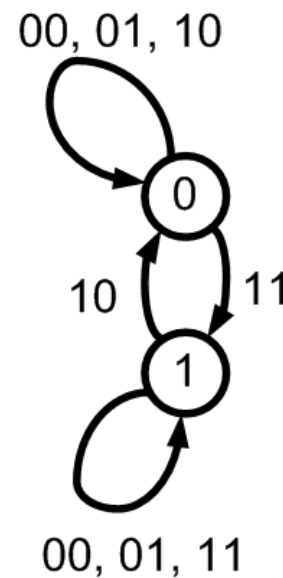
③

A	B	Q(t)	Q(t+1)
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	1

# Exemple

- On trace le reste des flèches et on obtient ceci...
  - Dans ce systeme, il n'y a pas de sortie et donc, on ne voit pas de barre oblique...

A	B	Q(t)	Q(t+1)
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	1





# Analyse

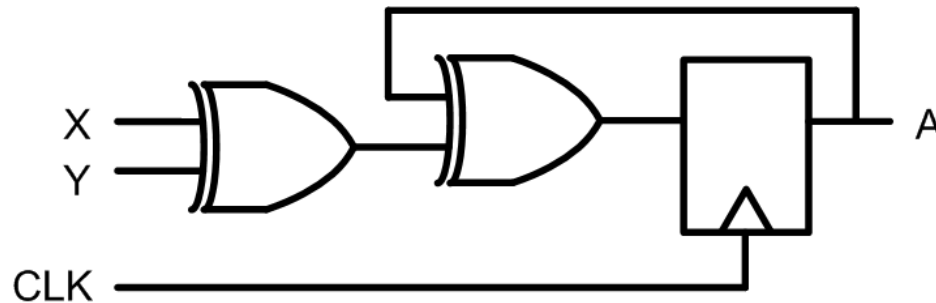
- On est maintenant prêt à analyser les circuits
- Lors d'une analyse, on veut normalement les choses suivantes:
  - Un tableau d'état
  - Un diagramme d'état
  - Si possible, une compréhension du système grâce aux 2 éléments précédents
- Comment fait-on pour analyser un système?

# Analyse

- Approche proposée:
  - 1) On identifie les flip flops
  - 2) Pour chacune, on trouve l'équation d'état:  
On trouve l'équation logique à l'entrée de chaque flip flop
  - 3) On transforme ces équations d'état en tableau d'état
  - 4) On dessine le diagramme d'état
  - 5) Et on essaie de comprendre...

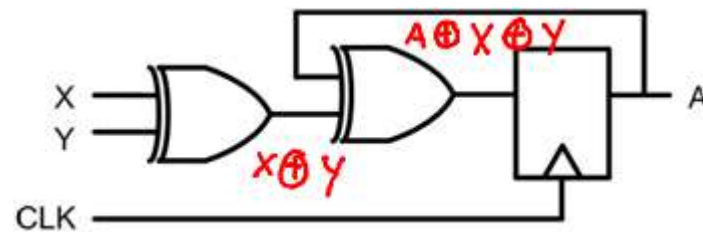
# Exemple

- Trouvez le tableau d'états et le diagramme d'états de ce circuit...



# Exemple

- On identifie les flip flop...
  - Il y a la flip flop A...
  - On a 2 etats possibles 0 ou 1
- On trouve l'équation logique à l'entrée de la flip flop:



$$A(t+1) = A(t) \oplus X \oplus Y$$

# Exemple

- Avec l'équation d'état, je peux déterminer le tableau d'état:
  - On enumère toutes les possibilités
  - Et on remplit...

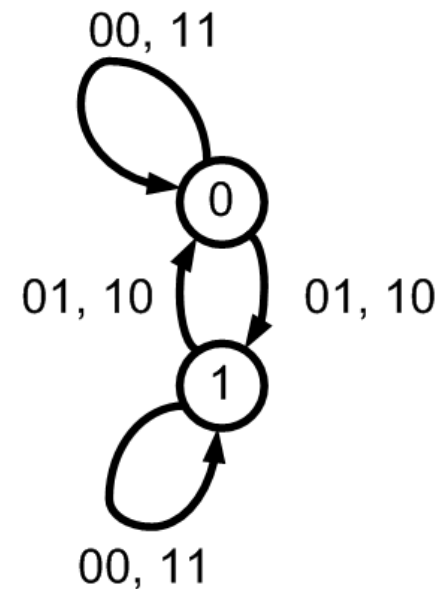
$$A(t+1) = A(t) \oplus X \oplus Y$$

A(t)	X	Y	A(t+1)
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

# Exemple

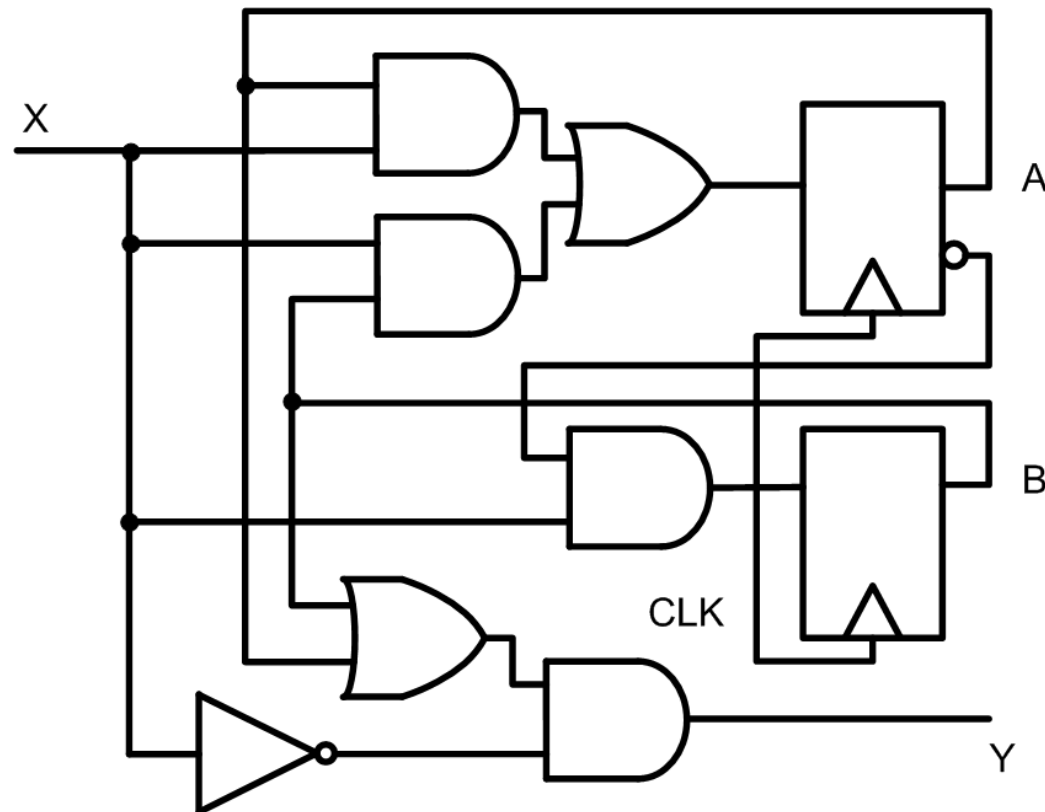
- Pour le diagramme d'états on regarde chaque état  $A(t)$  et  $A(t+1)$ :
  - On trace une flèche allant de  $A(t)$  à  $A(t+1)$
  - On met la combinaison d'input qui le fait...

A(t)	X	Y	A(t+1)
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1



# Exemple (seul)

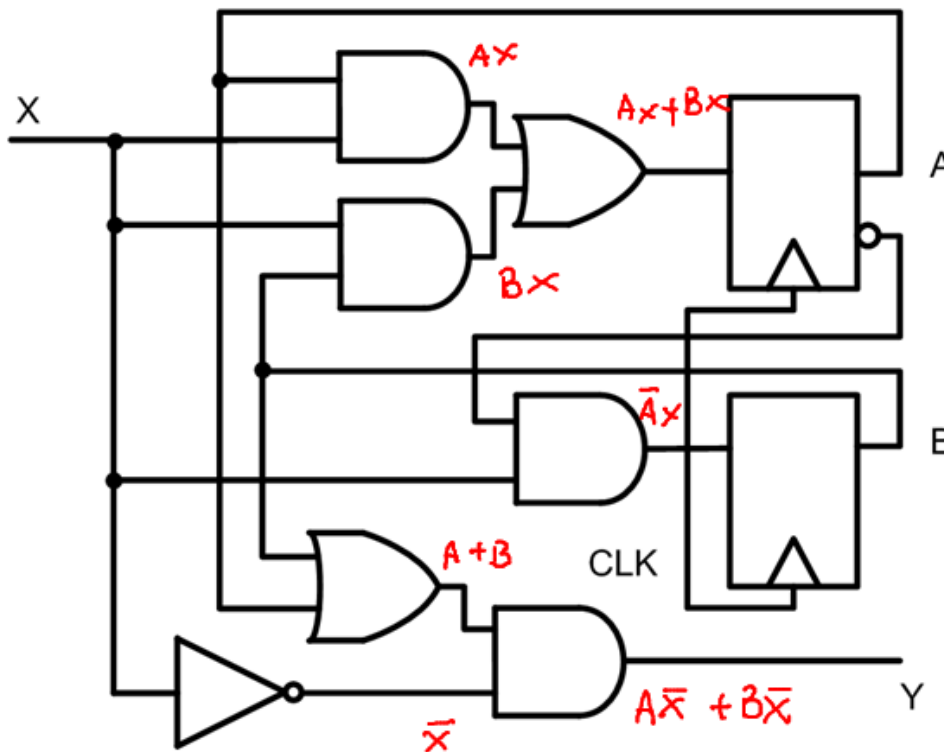
- Trouvez le tableau d'états et le diagramme d'états de ce circuit...



(Fig. 5.15, p.196), M. Mano

# Exemple (seul)

- On propage les signaux jusqu'aux entrees des flip flops



$$A \quad A(t+1) = A(t)X(t) + B(t)X(t)$$

$$B \quad B(t+1) = \overline{A(t)}X(t)$$

$$Y(t) = A(t)\overline{X(t)} + B(t)\overline{X(t)}$$



# Exemple (seul)

- Les équations d'états sont:

$$A(t+1) = A(t)X + B(t)X$$

$$B(t+1) = \overline{A(t)}X$$

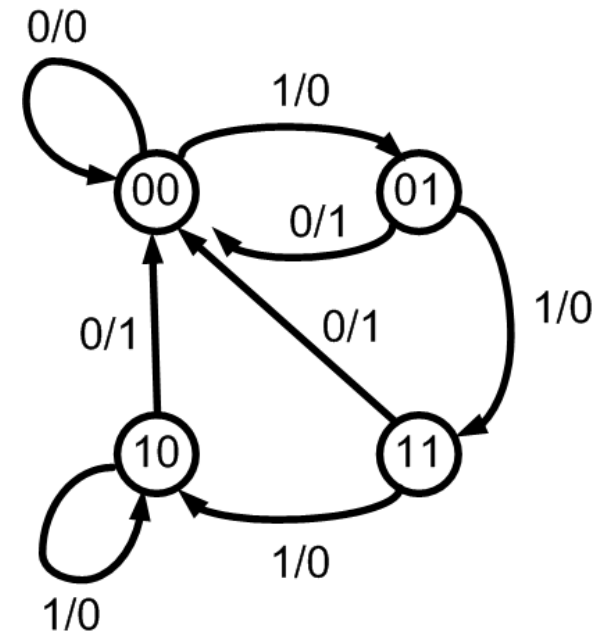
- Ça nous aide à trouver le tableau d'états:

A(t)	B(t)	X	A(t+1)	B(t+1)	Y
0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0
0	1	0	0	0	1
0	1	1	1	1	0
1	0	0	0	0	1
1	0	1	1	0	0
1	1	0	0	0	1
1	1	1	1	0	0

# Exemple (seul)

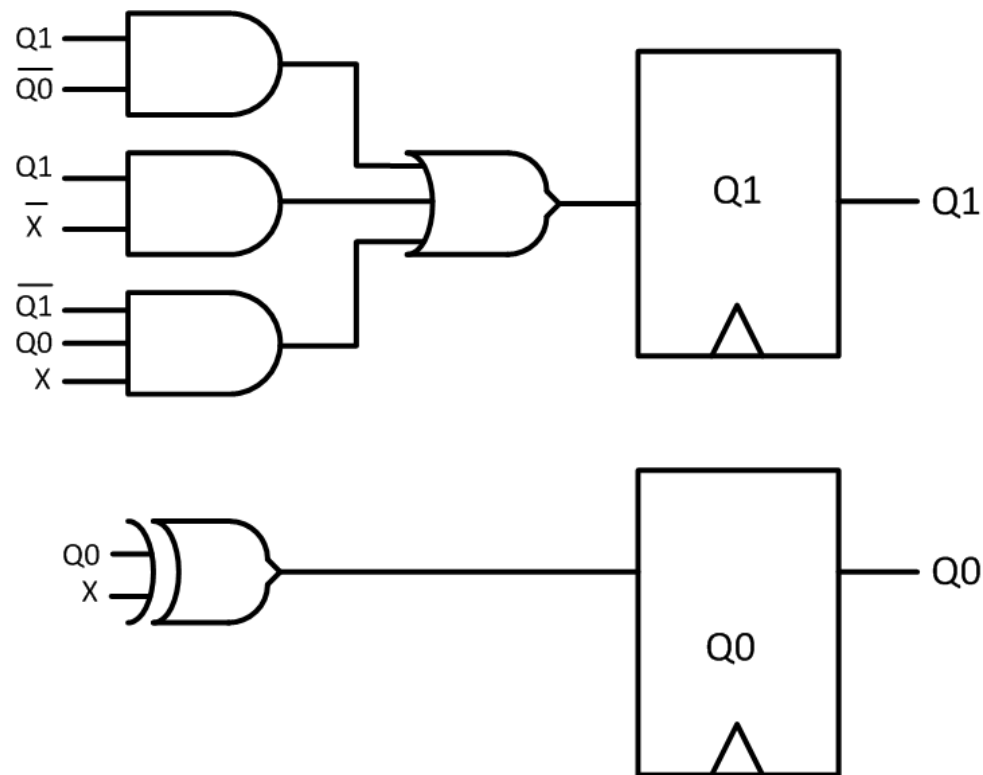
- À l'aide du tableau, on trace le diagramme d'états
  - De l'état 00, si  $X=0$ , on va à 00 avec sortie 0...

A(t)	B(t)	X	A(t+1)	B(t+1)	Y
0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0
0	1	0	0	0	1
0	1	1	1	1	0
1	0	0	0	0	1
1	0	1	1	0	0
1	1	0	0	0	1
1	1	1	1	0	0

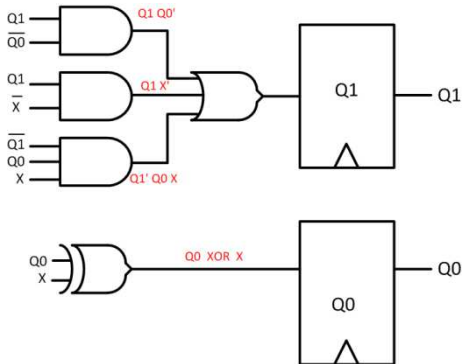


# Exemple (seul)

- Que fait ce circuit?



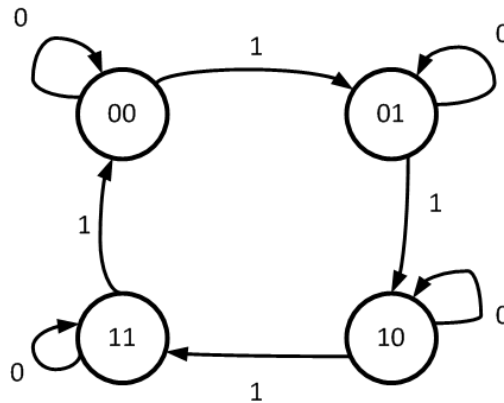
# Exemple (seul)



Q1(t)	Q0(t)	X	Q0 XOR X	Q1Q0'	Q1X'	Q1'Q0X	Q1(t+1)	Q0(t+1)
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	0	0	0	0	1
0	1	0	1	0	0	0	0	1
0	1	1	0	0	0	1	1	0
1	0	0	0	1	1	0	1	0
1	0	1	1	1	0	0	1	1
1	1	0	1	0	1	0	1	1
1	1	1	0	0	0	0	0	0

# Exemple (seul)

- Le diagramme d'état devient:



- Que fait le circuit?