



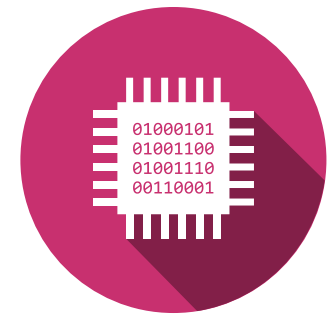
Conception numérique (DiD)

Machine d'état

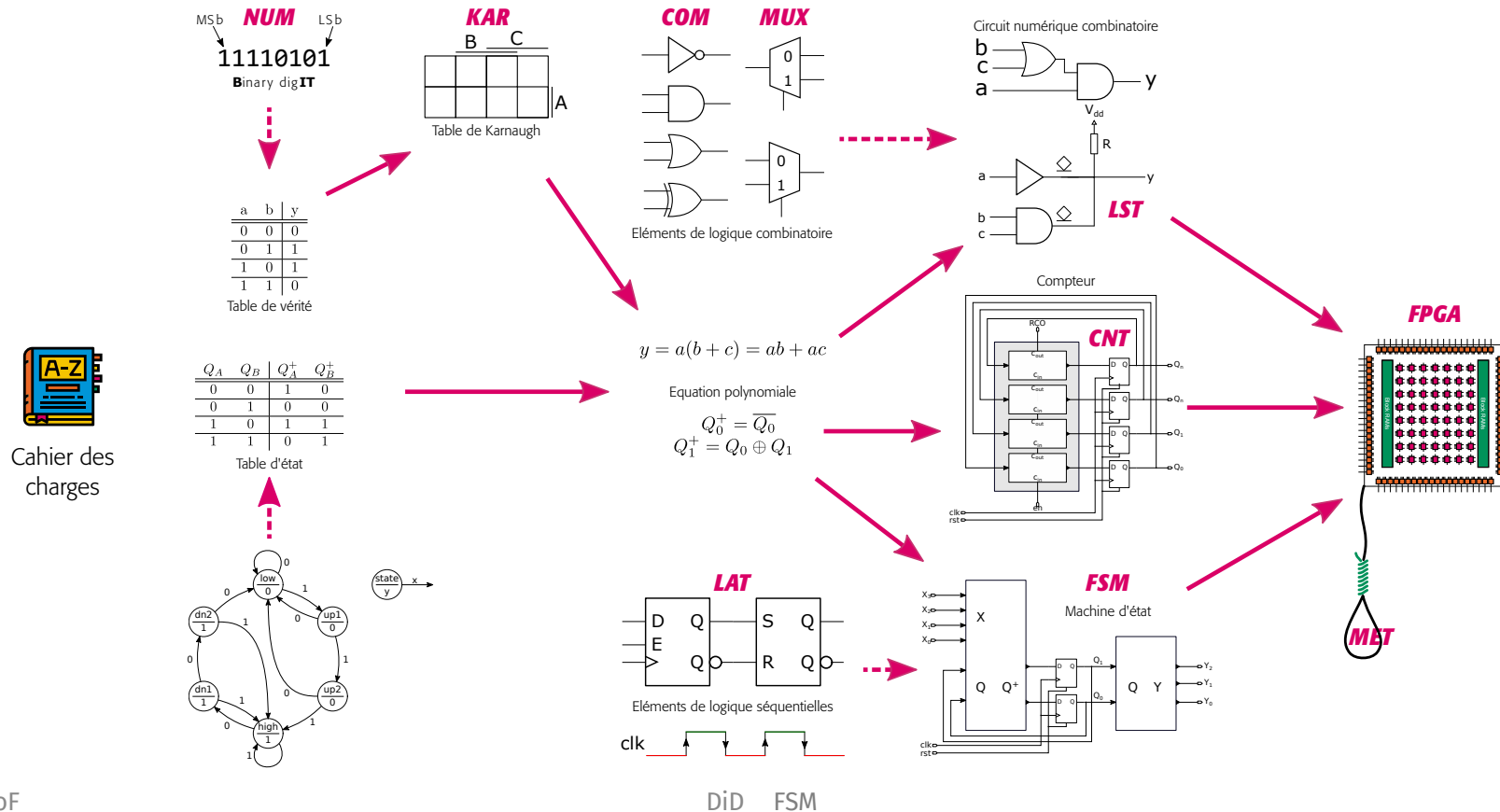
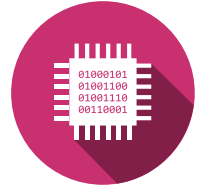
FSM

Filière Systèmes industriels
Filière Energie et techniques environnementales
Filière Informatique et systèmes de communications

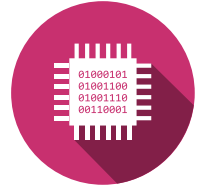
Silvan Zahno silvan.zahno@hevs.ch
Christophe Bianchi christophe.bianchi@hevs.ch
François Corthay francois.corthay@hevs.ch



Situation du thème dans le cours

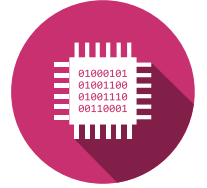


Contenu



- **Systèmes logiques synchrones**
 - Signal d'horloge
 - Remise à zéro à la mise sous tension (Power-on Reset)
- Machines de Moore
- Machines de Mealy
- Etablissement du graphe des états
- Réduction de graphes
- Codage des états

Système logique synchrone



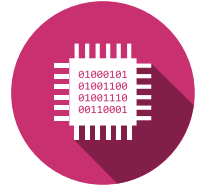
Dans un système logique synchrone toutes les FlipFlop ont:

Le même signal d'horloge: ck, clk, clock, ...

Le même signal d'initialisation asynchrone: rst, nrst, reset, ...

Ce n'est qu'ainsi que nous préservons nos chances de réussite d'un design fonctionnel!

Système logique synchrone



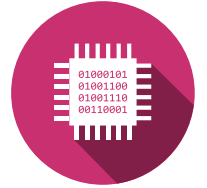
Clock signal

- Le signal d'horloge provient directement d'un oscillateur
 - Ne pas le bloquer avec des portes logiques, même pour arrêter le circuit (utiliser des E-FlipFlop)
 - A généralement une fréquence bien plus grande que celle des entrées du circuit

Reset signal

- Le signal de remise à zéro asynchrone provient directement d'un circuit dédié (Power-On-Reset)
 - A la forme d'une impulsion au moment de la mise sous tension du circuit
 - Puis plus jamais
 - Pas à utiliser pour remettre à zéro une partie d'un circuit

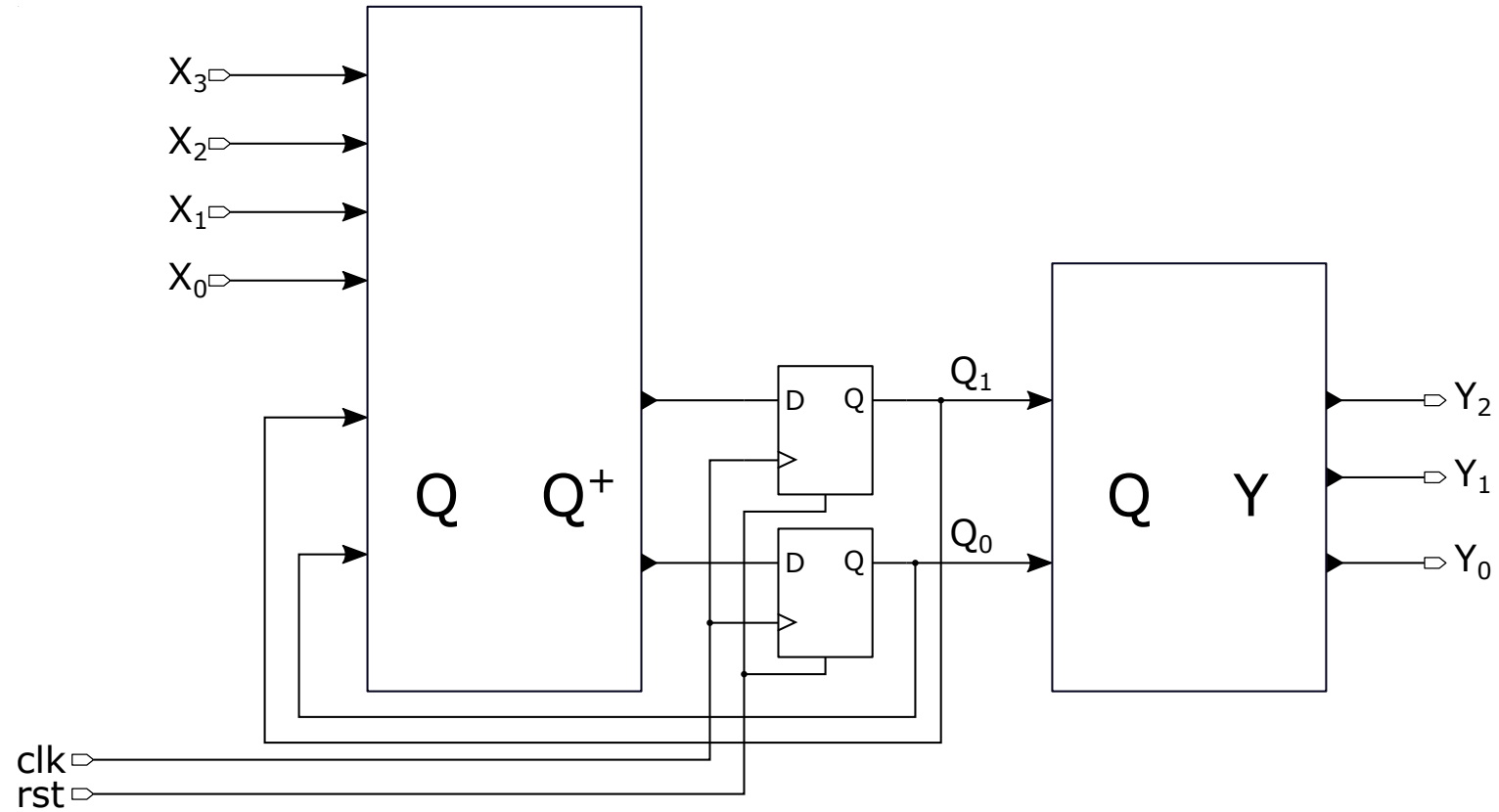
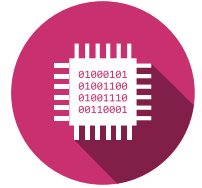
Contenu



- Systèmes logiques synchrones
- **Machines de Moore**
 - Architecture
 - Graphe des états
- Machines de Mealy
- Etablissement du graphe des états
- Réduction de graphes
- Codage des états

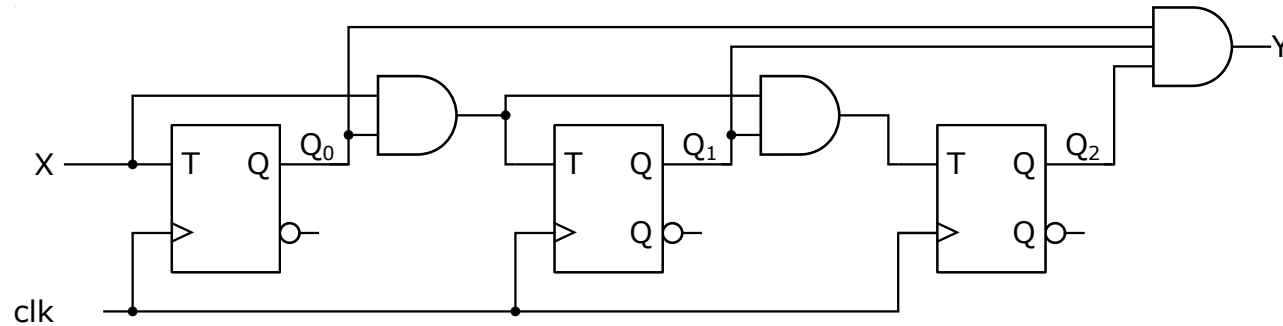
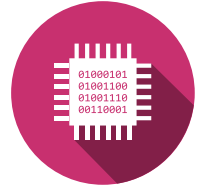
Machine d'état

Maschine de Moore



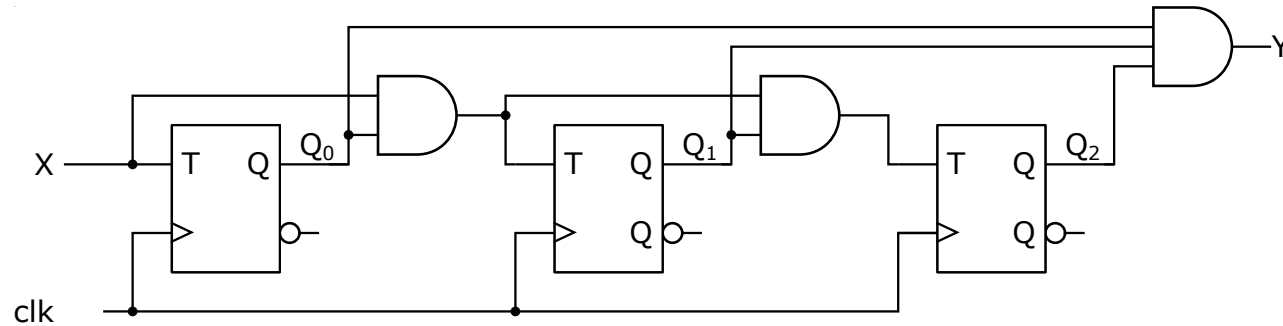
Machine d'état

Maschine de Moore – Graphe des états



Machine d'état

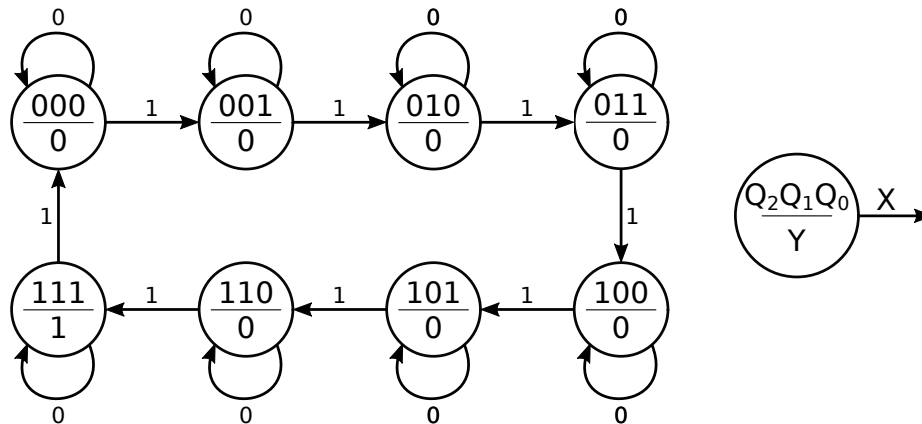
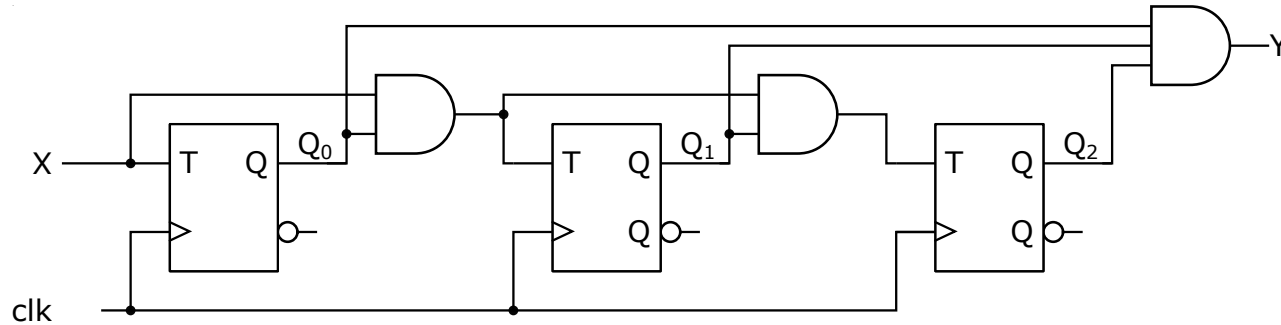
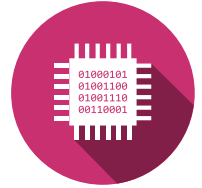
Maschine de Moore – Graphe des états



X	Q	T	Q*	Y
0	000	000	000	0
0	001	000	001	0
0	010	000	010	0
0	011	000	011	0
0	100	000	100	0
0	101	000	101	0
0	110	000	110	0
0	111	000	111	1
1	000	001	001	0
1	001	011	010	0
1	010	001	011	0
1	011	111	100	0
1	100	001	101	0
1	101	011	110	0
1	110	001	111	0
1	111	111	000	1

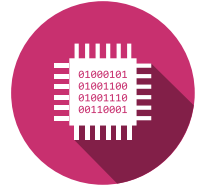
Machine d'état

Maschine de Moore – Graphe des états

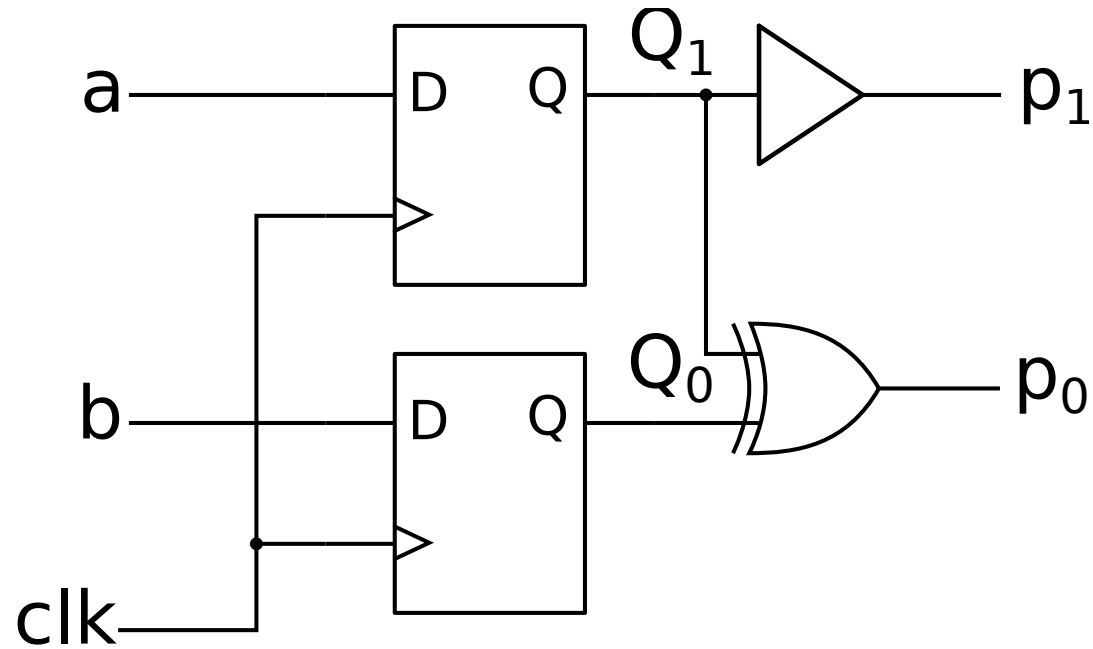


X	Q	T	Q*	Y
0	000	000	000	0
0	001	000	001	0
0	010	000	010	0
0	011	000	011	0
0	100	000	100	0
0	101	000	101	0
0	110	000	110	0
0	111	000	111	1
1	000	001	001	0
1	001	011	010	0
1	010	001	011	0
1	011	111	100	0
1	100	001	101	0
1	101	011	110	0
1	110	001	111	0
1	111	111	000	1

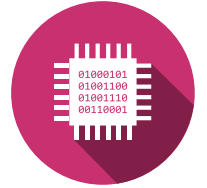
Exercice 3.2



Dessiner le graphe des états du circuit de la figure suivant



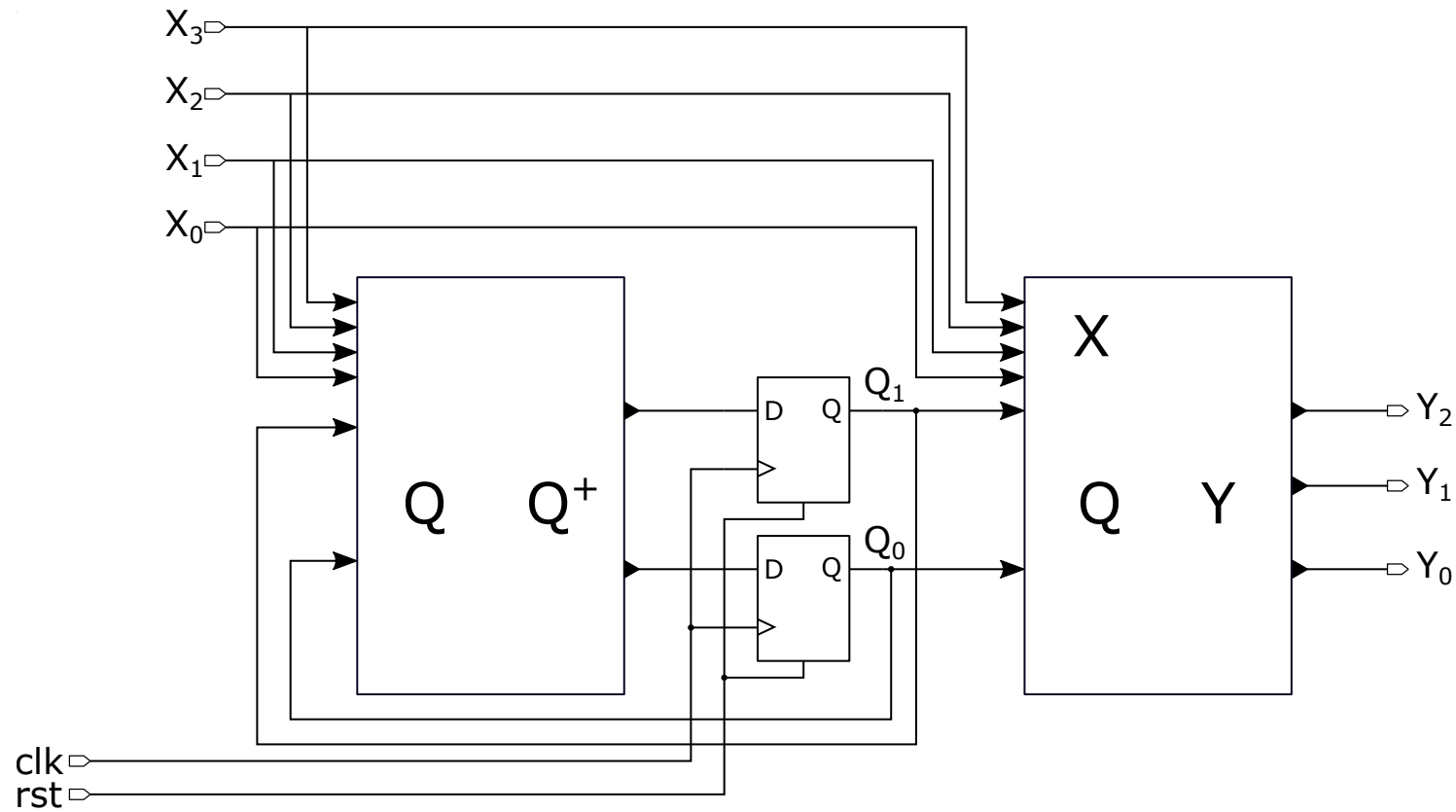
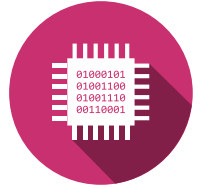
Contenu



- Systèmes logiques synchrones
- Machines de Moore
- **Machines de Mealy**
 - Architecture
 - Comportement temporel
 - Graphe des états
- Etablissement du graphe des états
- Réduction de graphes
- Codage des états

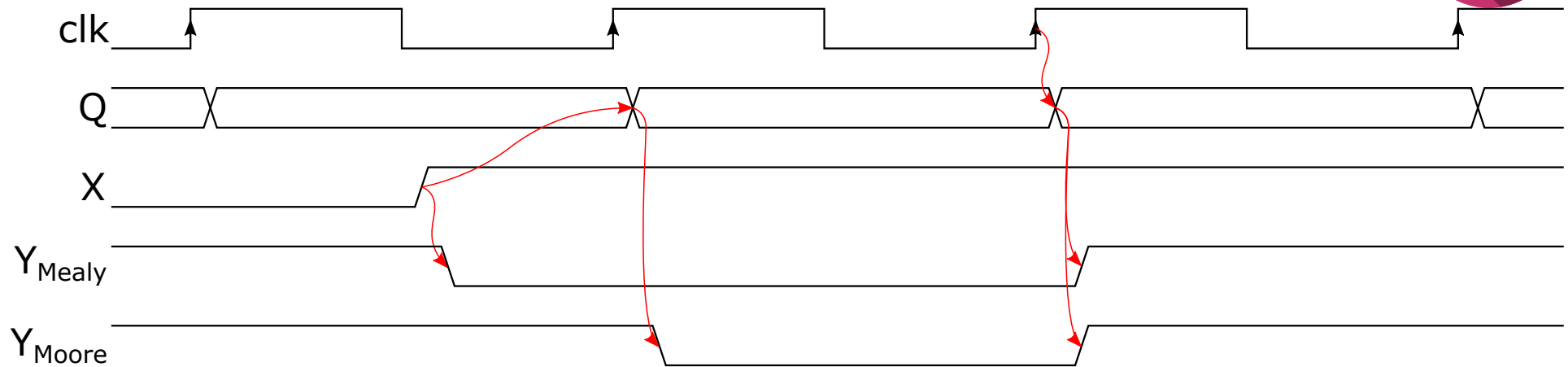
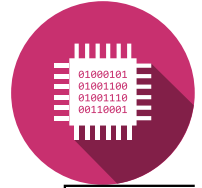
Machine d'état

Machine de Mealy



Machine d'état

Comportement temporel: Mealy vs. Moore

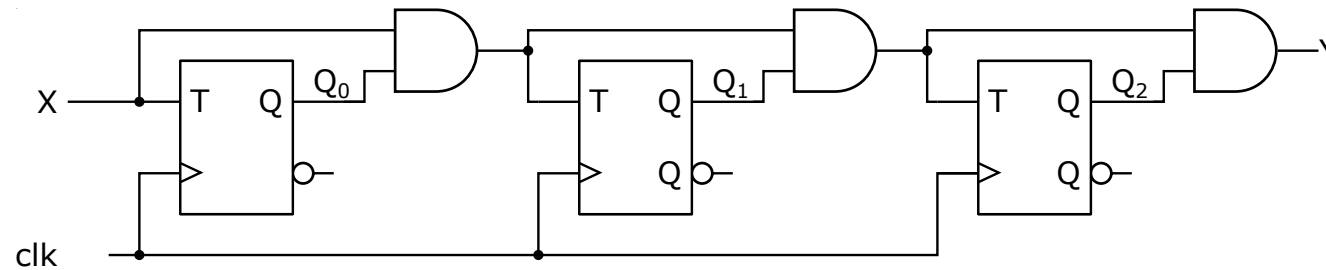


Comportement temporel:

- La sortie d'une machine de Mealy peut réagir directement au changement d'une entrée (ne doit pas nécessairement)
- Une machine de Moore doit attendre le flanc d'horloge suivant pour faire changer ses sorties

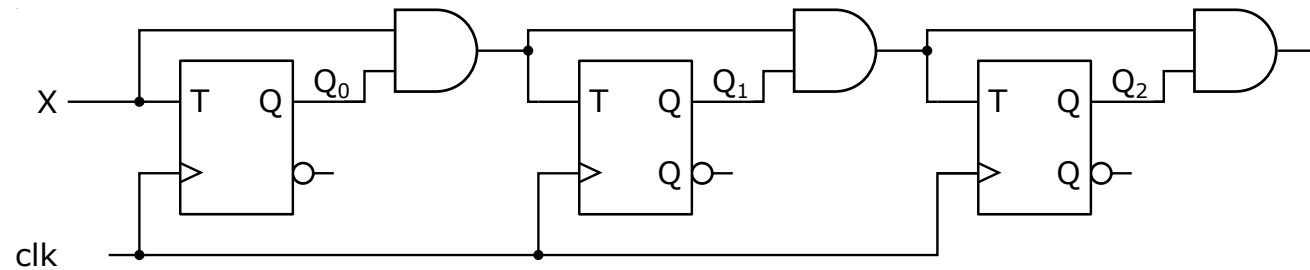
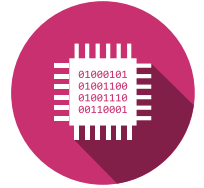
Machine d'état

Machine de Mealy – Graphe des états



Machine d'état

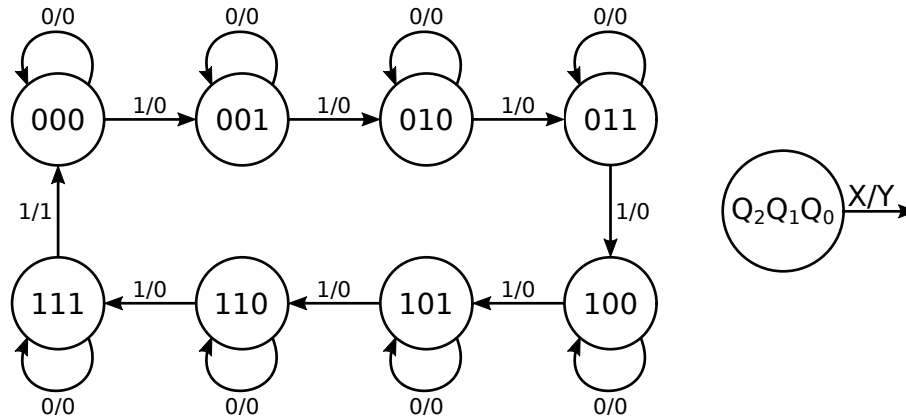
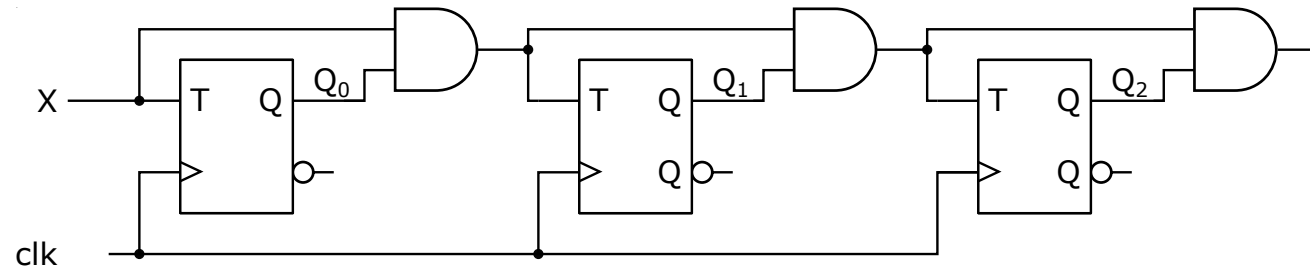
Machine de Mealy – Graphe des états



X	Q	T	Q*	Y
0	000	000	000	0
0	001	000	001	0
0	010	000	010	0
0	011	000	011	0
0	100	000	100	0
0	101	000	101	0
0	110	000	110	0
0	111	000	111	0
1	000	001	001	0
1	001	011	010	0
1	010	001	011	0
1	011	111	100	0
1	100	001	101	0
1	101	011	110	0
1	110	001	111	0
1	111	111	000	1

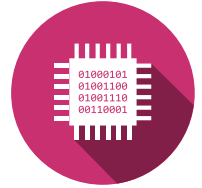
Machine d'état

Machine de Mealy – Graphe des états

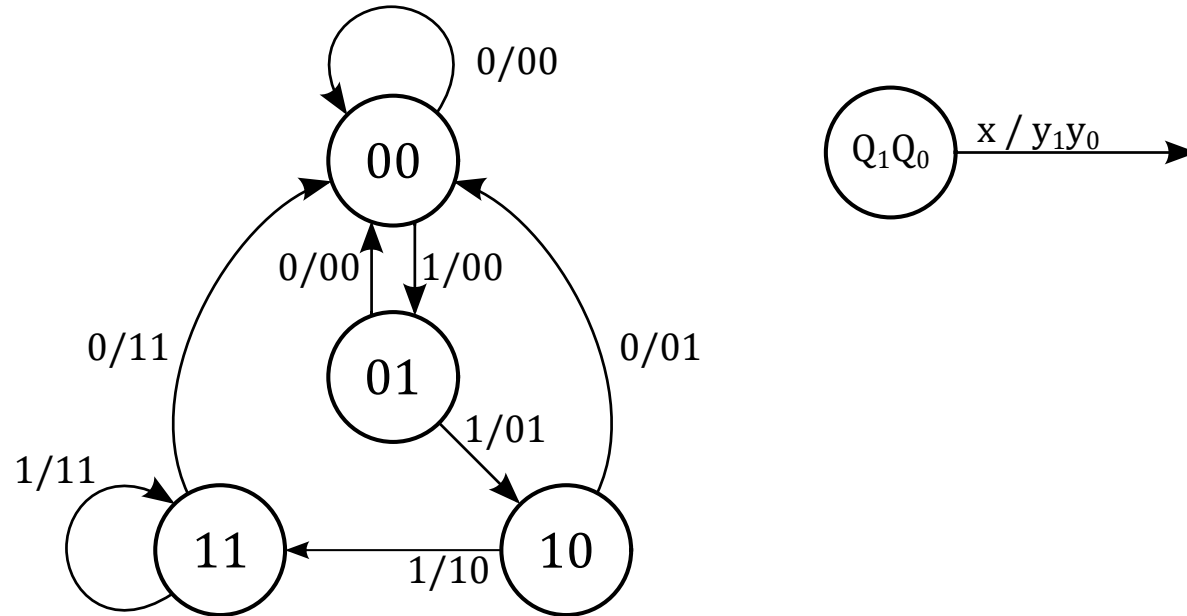


X	Q	T	Q*	Y
0	000	000	000	0
0	001	000	001	0
0	010	000	010	0
0	011	000	011	0
0	100	000	100	0
0	101	000	101	0
0	110	000	110	0
0	111	000	111	0
1	000	001	001	0
1	001	011	010	0
1	010	001	011	0
1	011	111	100	0
1	100	001	101	0
1	101	011	110	0
1	110	001	111	0
1	111	111	000	1

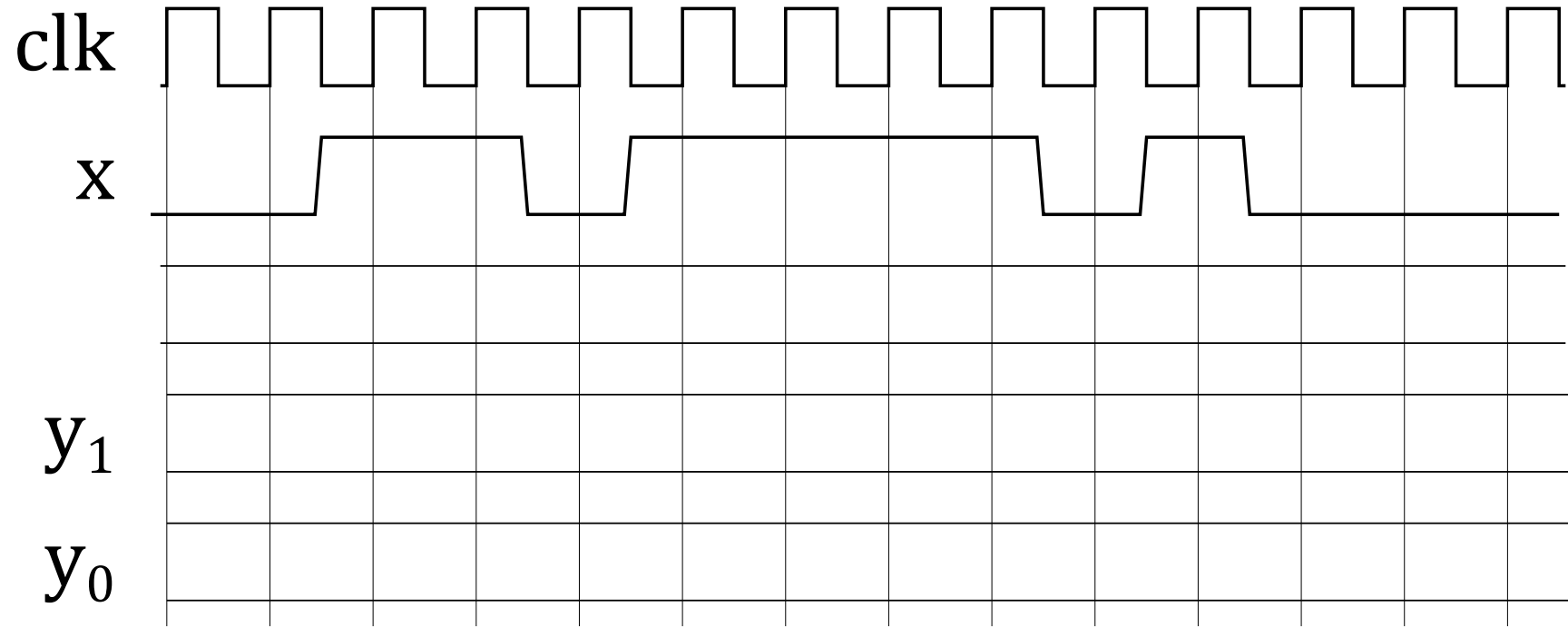
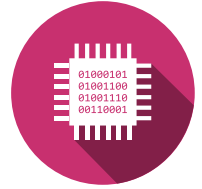
Exercice 4.3



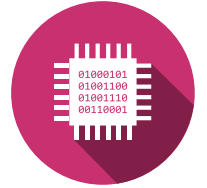
Pour le système déterminé par le graphe de la figure suivante, donner le comportement temporel des signaux de sortie.



Exercise 4.3



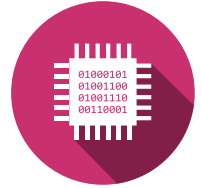
Contenu



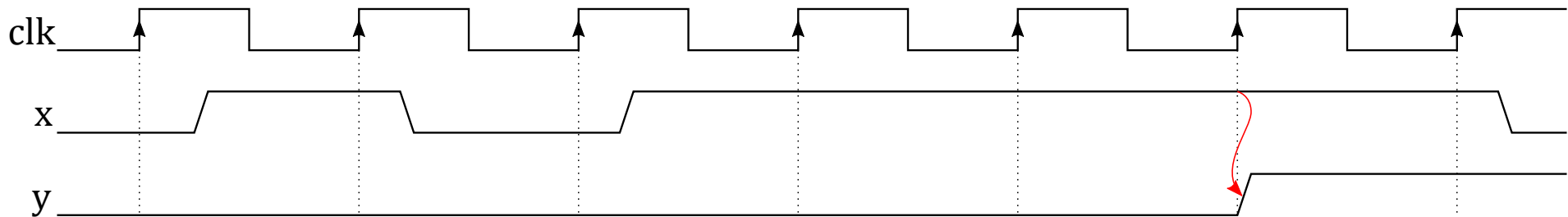
- Systèmes logiques synchrones
- Machines de Moore
- Machines de Mealy
- **Etablissement du graphe des états**
 - Développement à partir d'un état quelconque
 - Développement à partir d'un scénario
 - Développement à partir de la liste des états
- Réduction de graphes
- Codage des états

Machine d'état

Développement d'un graphe d'états - Exercice

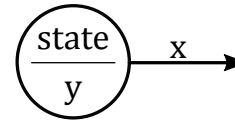
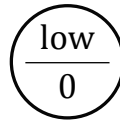
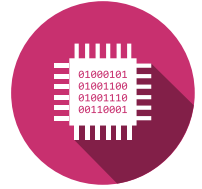


Créer une machine d'état dans laquelle un signal de sortie ne prend la valeur du signal d'entrée que si le signal d'entrée est stable pendant 3 périodes d'horloge consécutives.



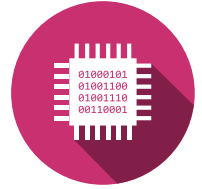
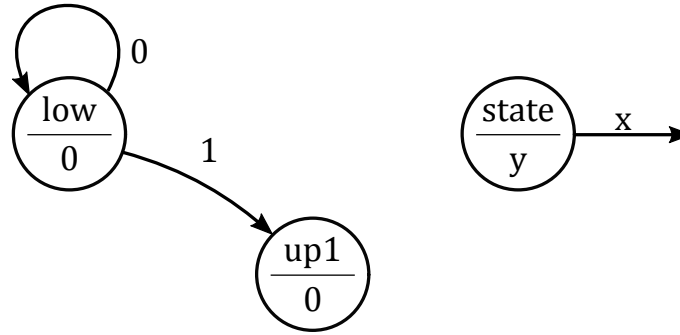
Machine d'état

Développement à partir d'un état



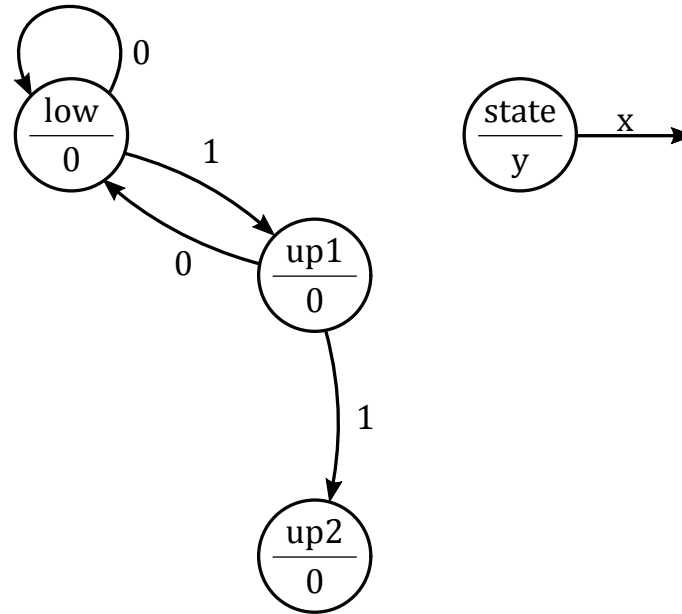
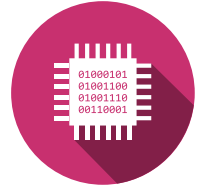
Machine d'état

Développement à partir d'un état



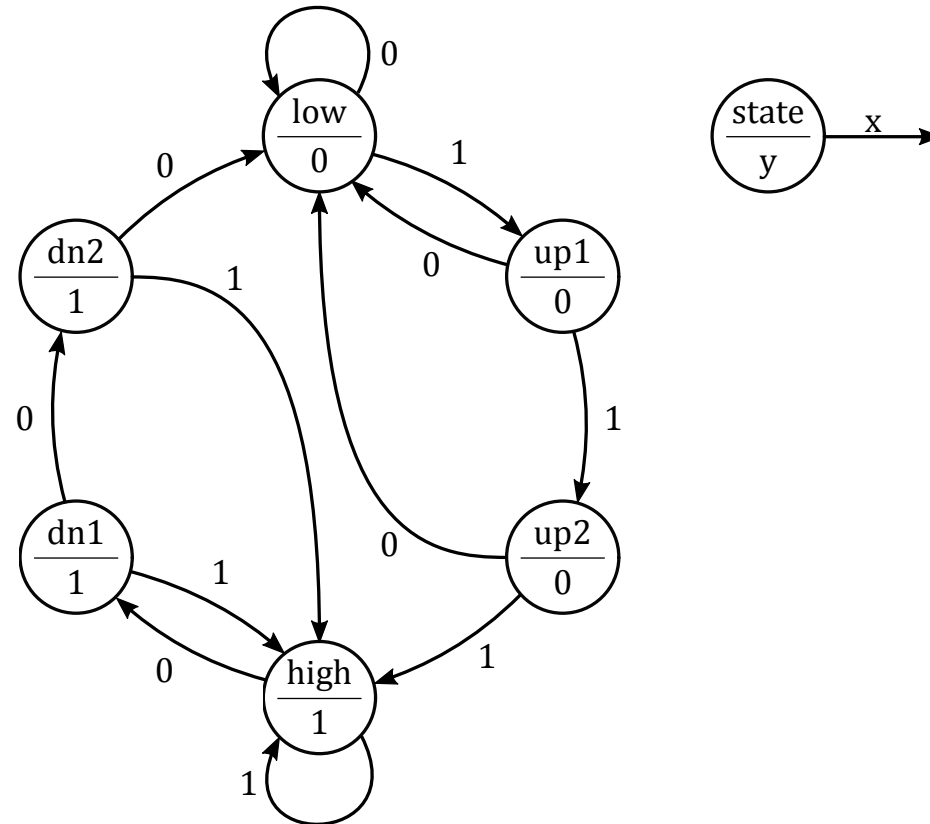
Machine d'état

Développement à partir d'un état



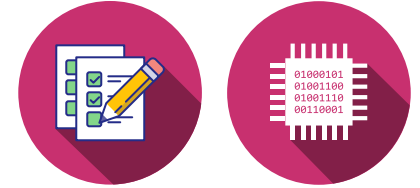
Machine d'état

Développement à partir d'un état



Exercice 5.4

Contrôle de l'éclairage

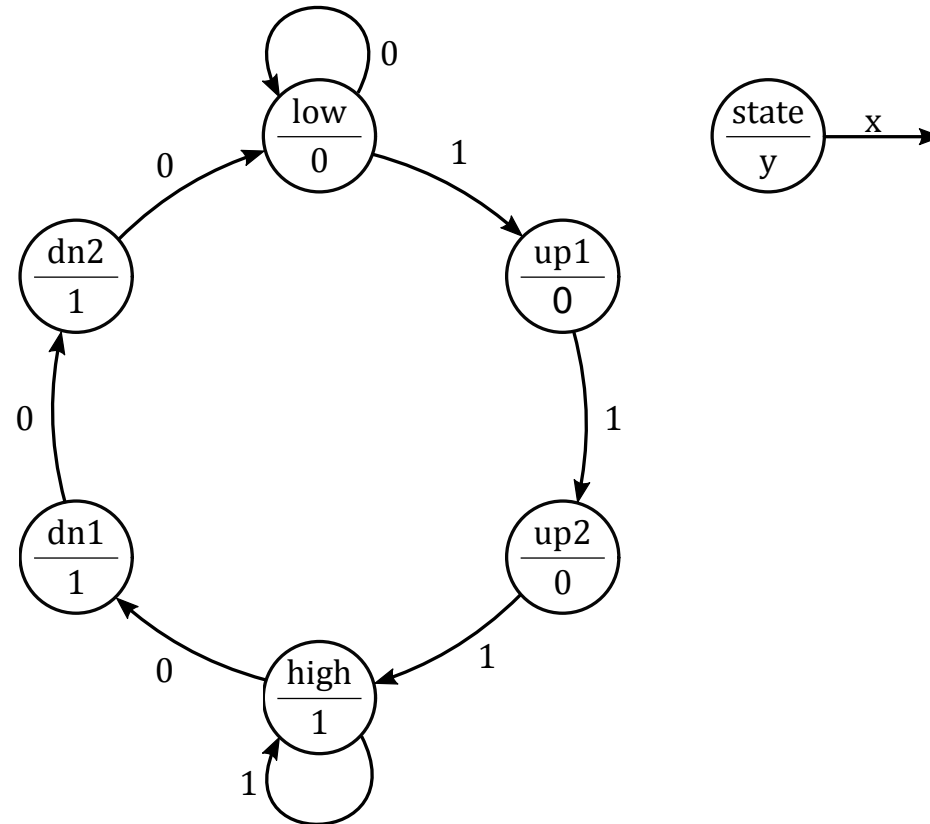
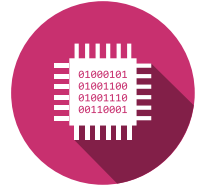


Un bouton-poussoir commande l'éclairage d'une salle. Lorsqu'on appuie une fois sur le bouton, on allume les lumières. Lorsqu'on appuie une deuxième fois, on éteint les lumières.

Dessiner le graphe des états du système.

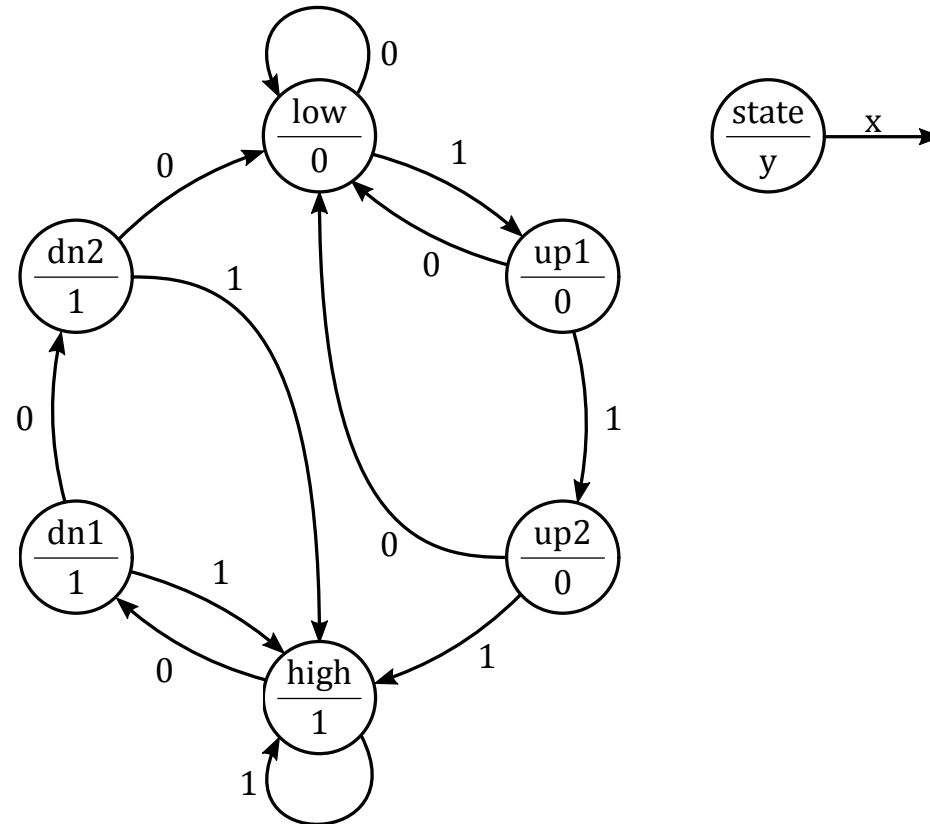
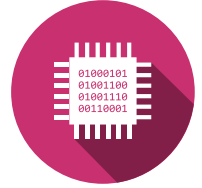
Machine d'état

Développement à partir d'un scénario



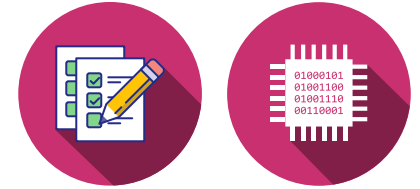
Machine d'état

Développement à partir d'un scénario



Exercice 5.6

Reconnaissance des chaînes de caractères



Un circuit doit reconnaître dans un texte les mots finissant par la chaîne de caractères "er". Dans le système d'analyse de texte, il est précédé par un circuit commandé par le même signal d'horloge et qui code les caractères sur 2 bits de la manière suivante:

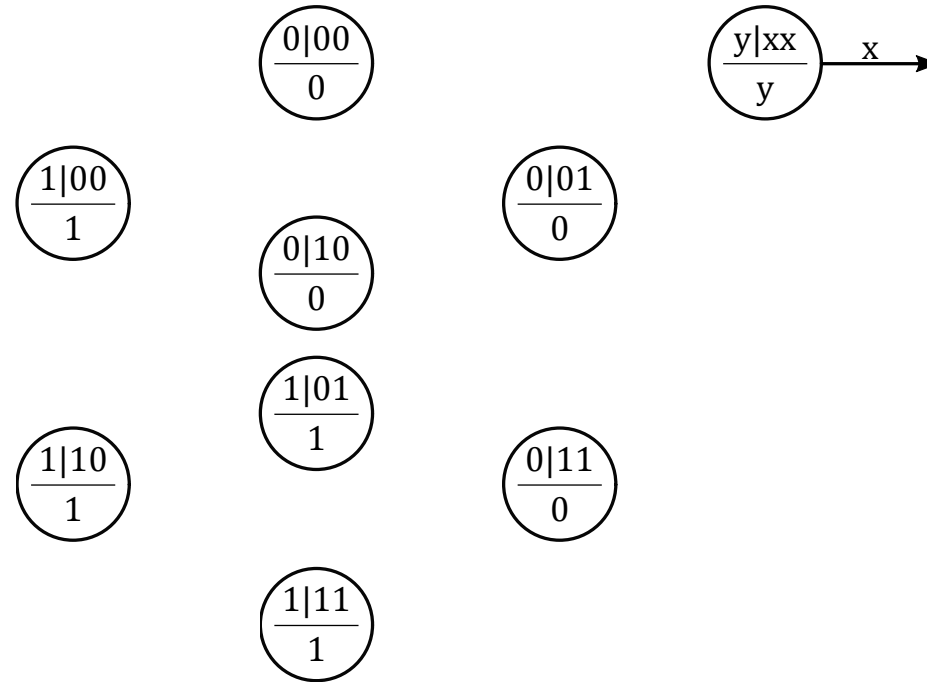
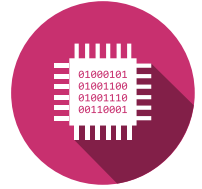
- "00" pour la lettre 'e',
- "01" pour la lettre 'r',
- "10" pour un caractère de séparation (espace, signe de ponctuation),
- "11" pour tout autre caractère.

A chaque période d'horloge, un nouveau caractère est codé et transmis.

Dessiner le graphe qui indique l'existence d'un mot finissant par la chaîne de caractères "er" dès la transmission du caractère de séparation.

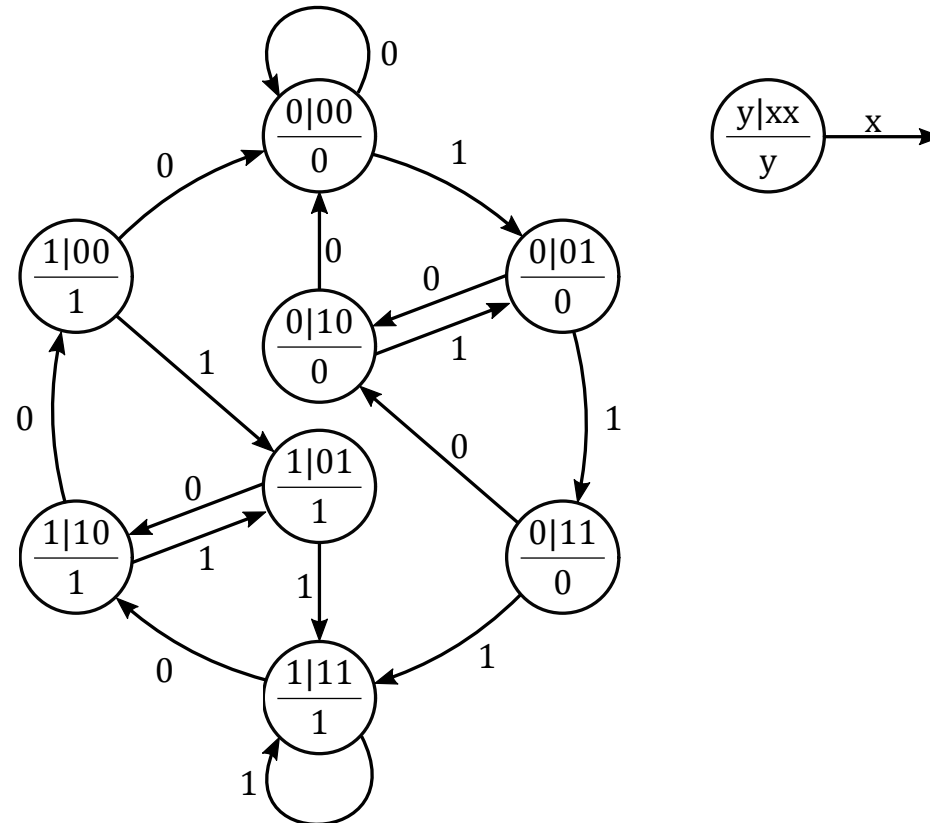
Machine d'état

Développement à partir de la list des états

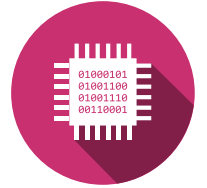


Machine d'état

Développement à partir de la list des états



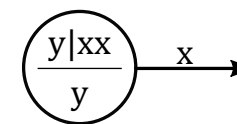
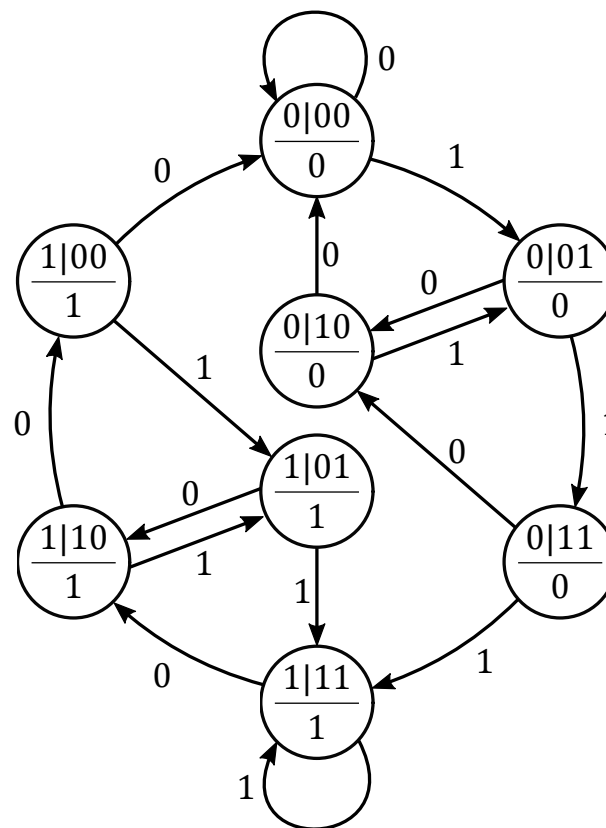
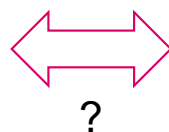
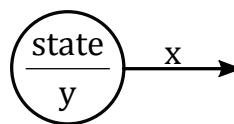
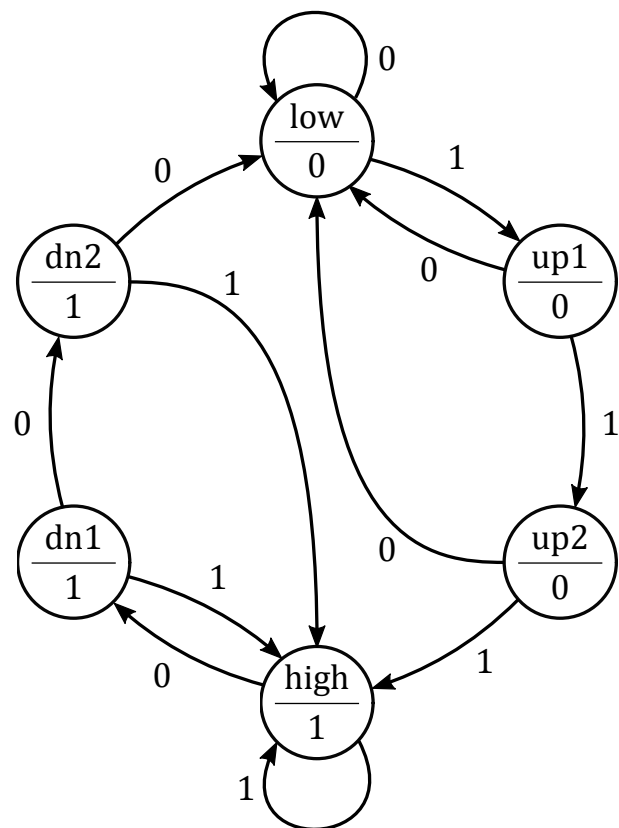
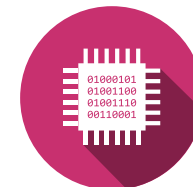
Contenu



- Systèmes logiques synchrones
- Machines de Moore
- Machines de Mealy
- Etablissement du graphe des états
- **Réduction de graphes**
 - Graphes d'état équivalents
 - Table d'états
 - Méthode de réduction
- Codage des états

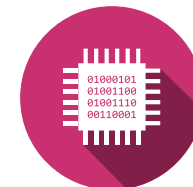
Machine d'état

Graphes d'état équivalents

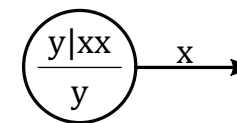
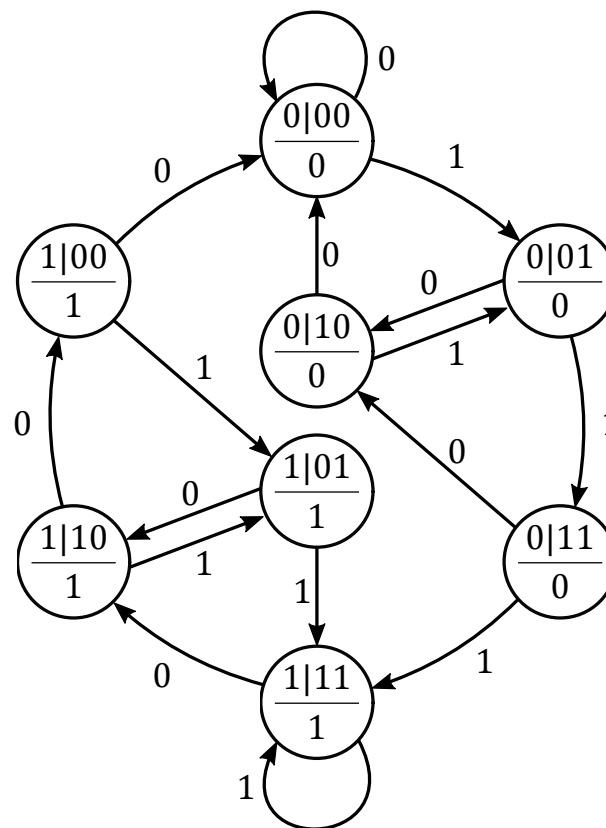
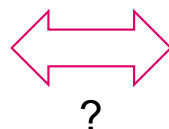


Machine d'état

Graphes d'état équivalents – Table d'états

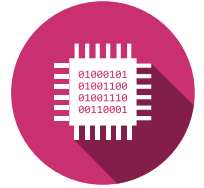


Q \ x	0	1
0 00	0 00 / 0	0 01 / 0
0 01	0 10 / 0	0 11 / 0
0 10	0 00 / 0	0 01 / 0
0 11	0 10 / 0	1 11 / 0
1 00	0 00 / 1	1 01 / 1
1 01	1 10 / 1	1 11 / 1
1 10	1 00 / 1	1 01 / 1
1 11	1 10 / 1	1 11 / 1



Machine d'état

Graphes d'état équivalents – Méthode de réduction



On simplifie les états qui ont le même fonctionnement

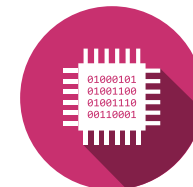
Q \ x	0	1
0 00	0 00 / 0	0 01 / 0
0 01	0 10 / 0	0 11 / 0
0 10	0 00 / 0	0 01 / 0
0 11	0 10 / 0	1 11 / 0
1 00	0 00 / 1	1 01 / 1
1 01	1 10 / 1	1 11 / 1
1 10	1 00 / 1	1 01 / 1
1 11	1 10 / 1	1 11 / 1

Q \ x	0	1
low	low / 0	up1 / 0
high	dn1 / 1	high / 1

Machine d'état

Graphes d'état équivalents – Méthode de réduction

On simplifie les états qui ont le même fonctionnement

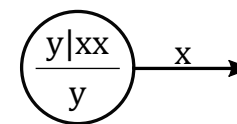
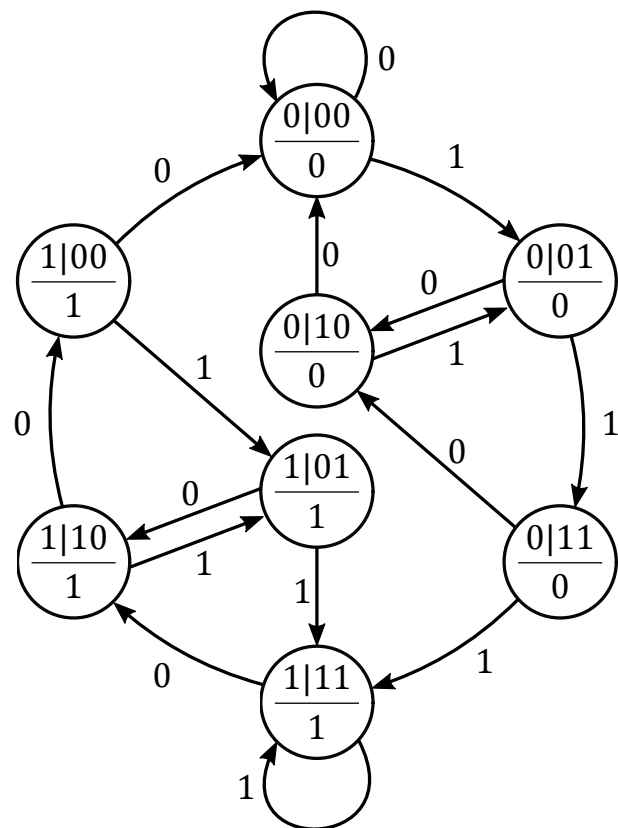
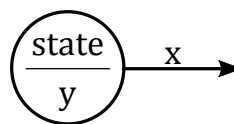
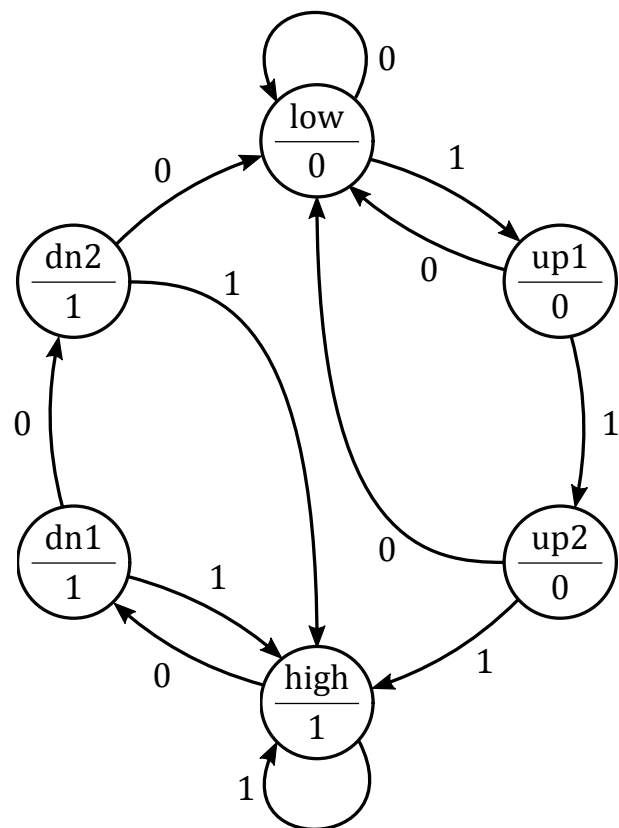
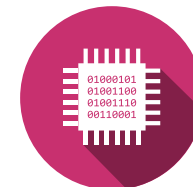


Q \ x	0	1
0 00	0 00 / 0	0 01 / 0
0 01	0 10 / 0	0 11 / 0
0 10	0 00 / 0	0 01 / 0
0 11	0 10 / 0	1 11 / 0
1 00	0 00 / 1	1 01 / 1
1 01	1 10 / 1	1 11 / 1
1 10	1 00 / 1	1 01 / 1
1 11	1 10 / 1	1 11 / 1

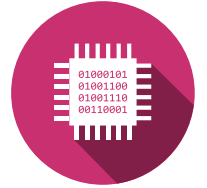
Q \ x	0	1
low	low / 0	up1 / 0
up1	low / 0	up2 / 0
up2	low / 0	high / 0
high	dn1 / 1	high / 1
dn1	dn2 / 1	high / 1
dn2	low / 1	high / 1

Machine d'état

Graphes réduit



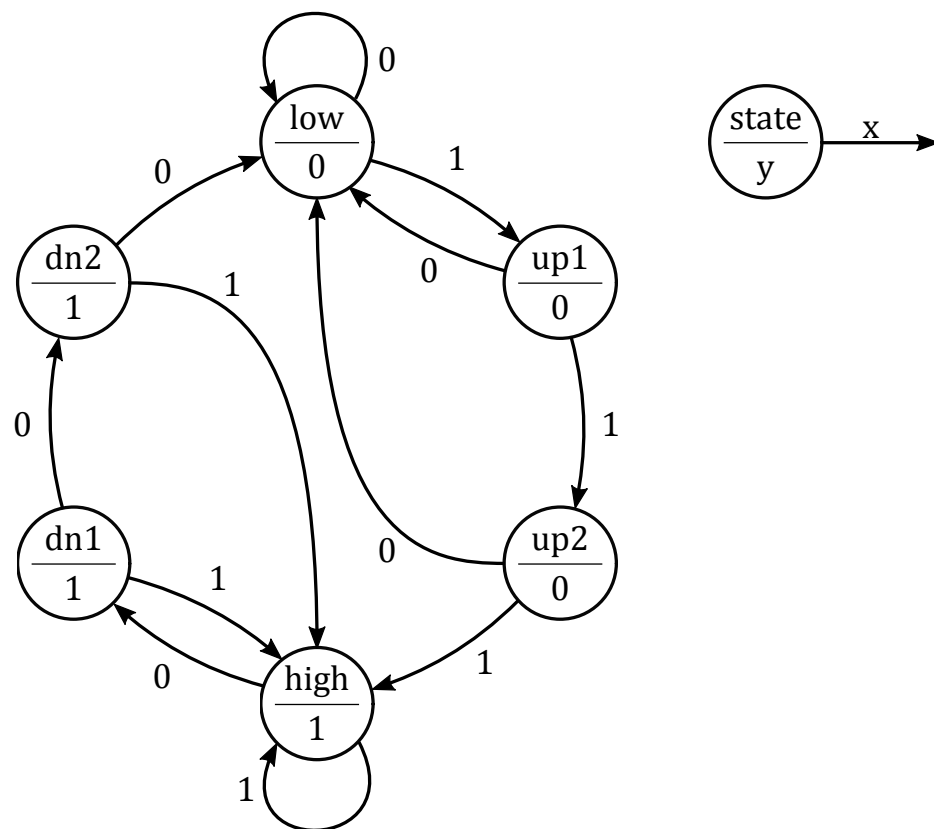
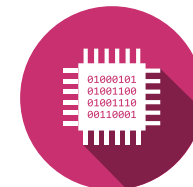
Contenu



- Systèmes logiques synchrones
- Machines de Moore
- Machines de Mealy
- Etablissement du graphe des états
- Réduction de graphes
- **Codage des états**
 - Codage minimal (binaire)
 - Codage 1 parmi m (One-Hot)

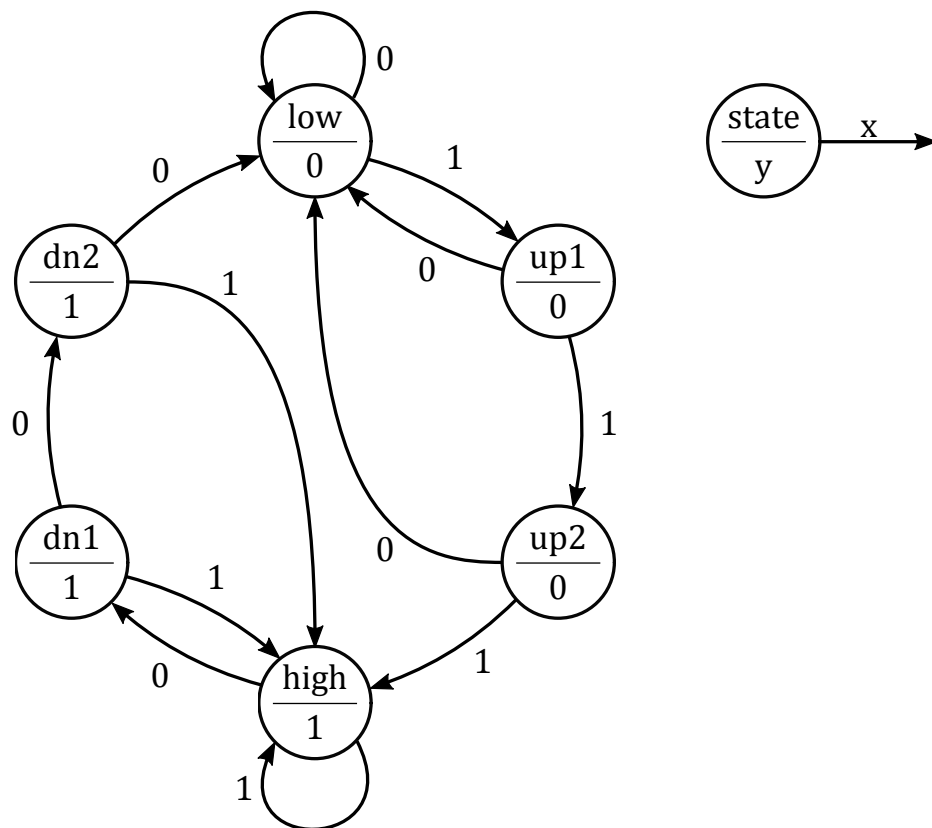
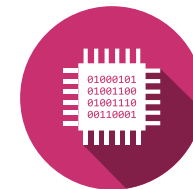
Machine d'état

Codage binaire des états



Machine d'état

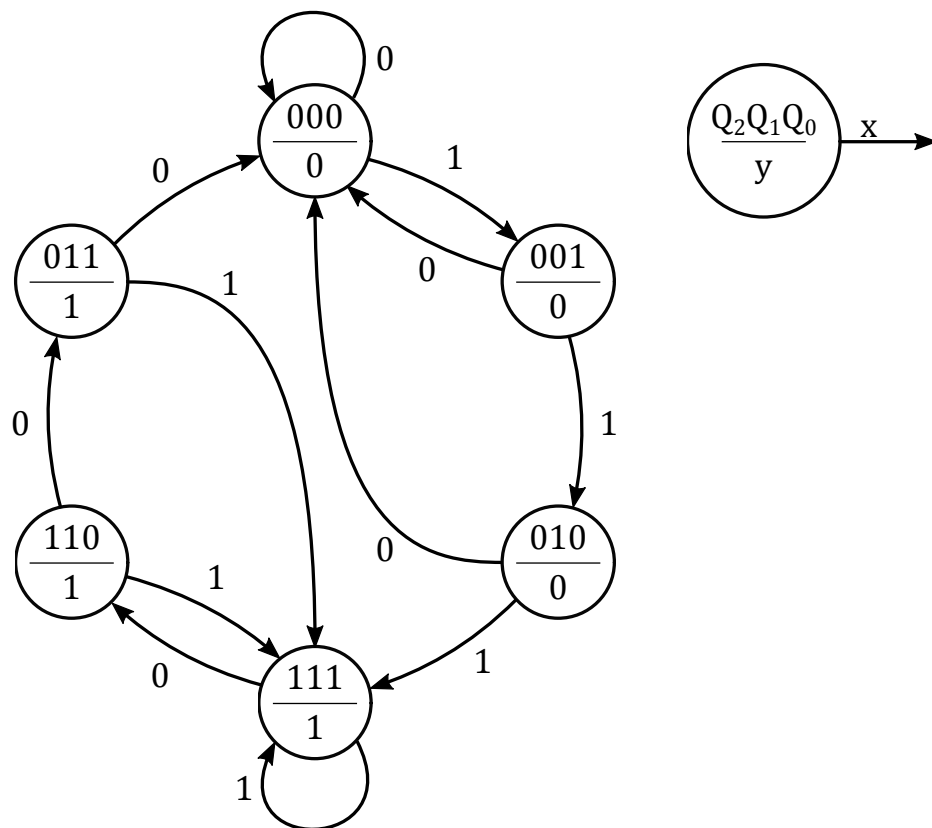
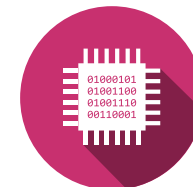
Codage binaire des états



State	Q ₂ Q ₁ Q ₀
low	000
up1	001
up2	010
high	111
dn1	110
dn2	011

Machine d'état

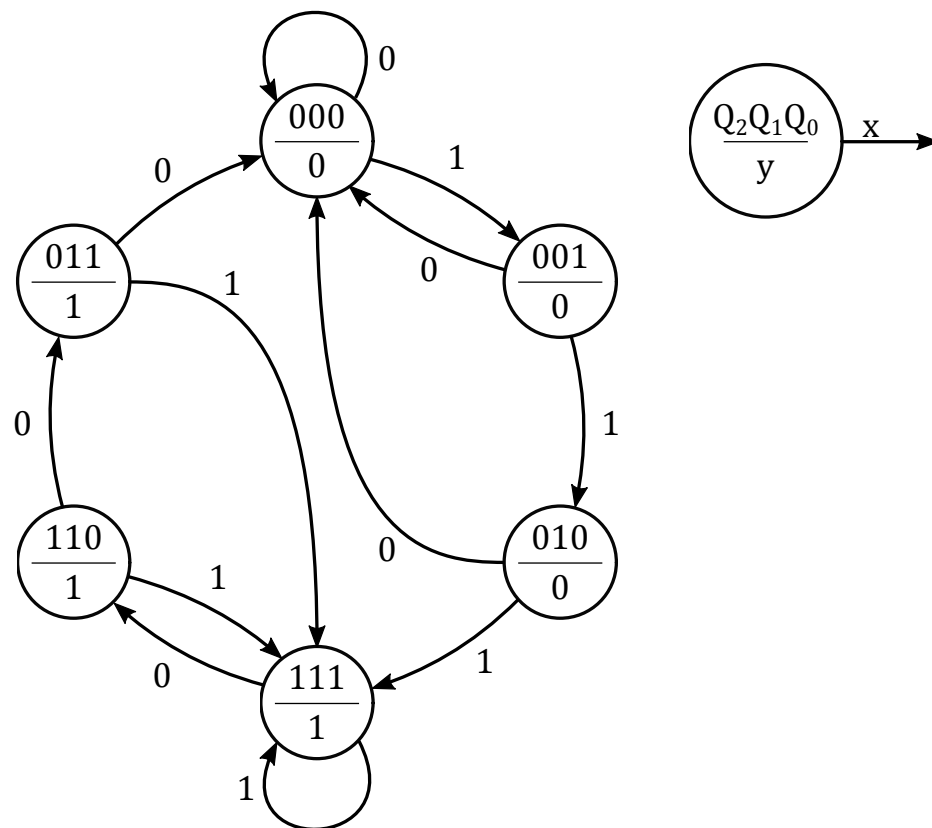
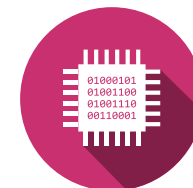
Codage binaire des états



State	$Q_2Q_1Q_0$
low	000
up1	001
up2	010
high	111
dn1	110
dn2	011

Machine d'état

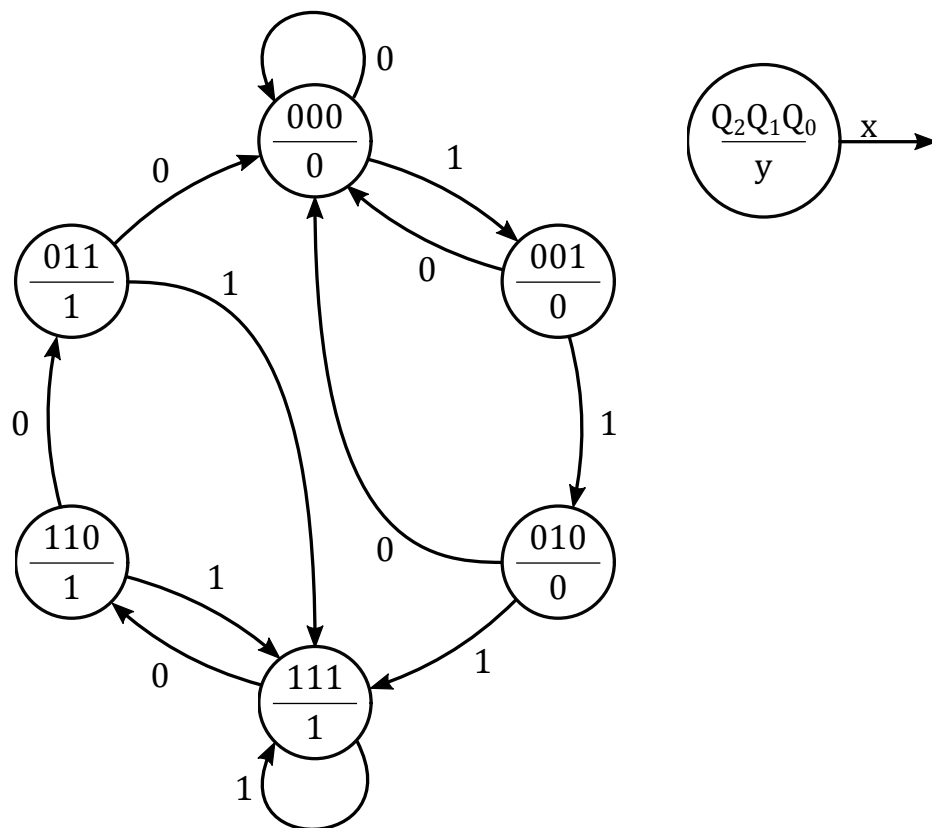
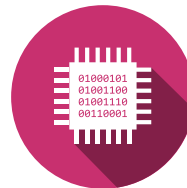
Réalisation du circuit



x	$Q_2Q_1Q_0$	$Q_2^+Q_1^+Q_0^+$	y
0	000	000	0
0	001	000	0
0	010	000	0
0	011	000	1
0	100	---	-
0	101	---	-
0	110	011	1
0	111	110	1
1	000	001	0
1	001	010	0
1	010	111	0
1	011	111	1
1	100	---	-
1	101	---	-
1	110	111	1
1	111	111	1

Machine d'état

Réalisation du circuit



$$D_2 = xQ_1 + Q_2Q_0$$

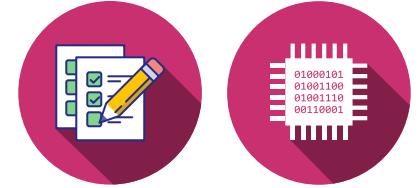
$$D_1 = xQ_1 + x\overline{Q_0} + Q_2\overline{}$$

$$D_0 = xQ_1 + x\overline{Q_0} + Q_2\overline{Q_0}$$

$$y = Q_2 + Q_1Q_0$$

Exercice 6.7

Détection d'un flanc descendant

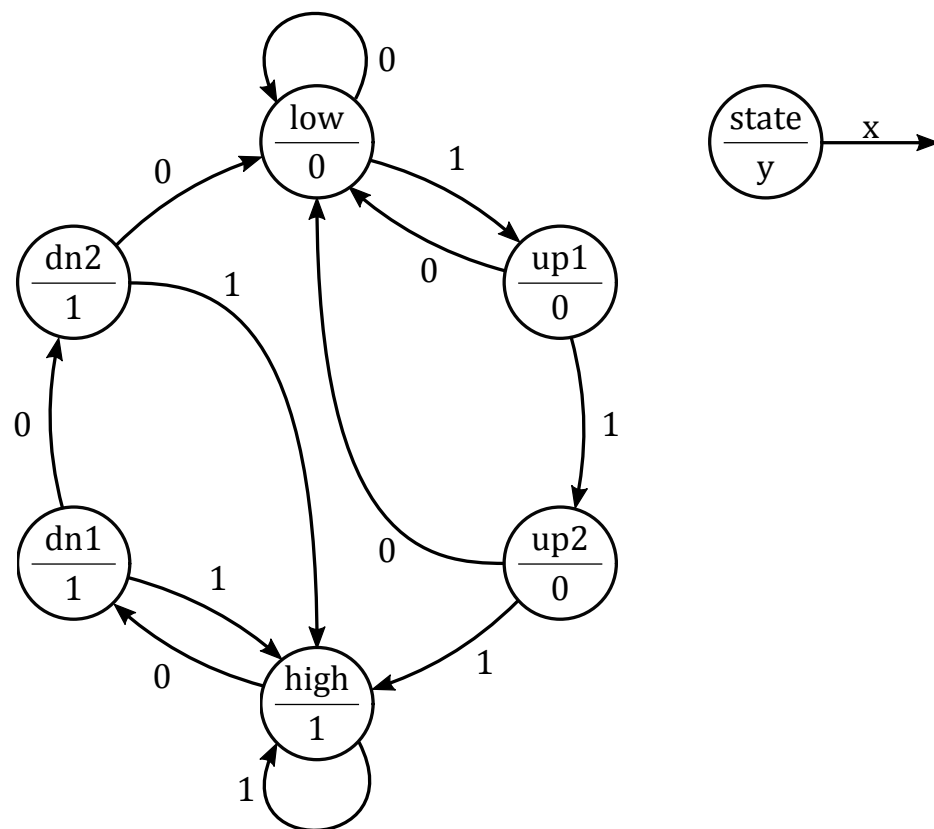
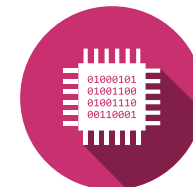


Dessiner le graphe des états d'une machine de Moore qui détecte le flanc descendant d'un signal d'entrée. Considérer que la durée des impulsions du signal d'entrée peut être aussi courte que la période d'horloge, mais pas inférieure à celle-ci.

Proposer un codage et dessiner le schéma du circuit correspondant.

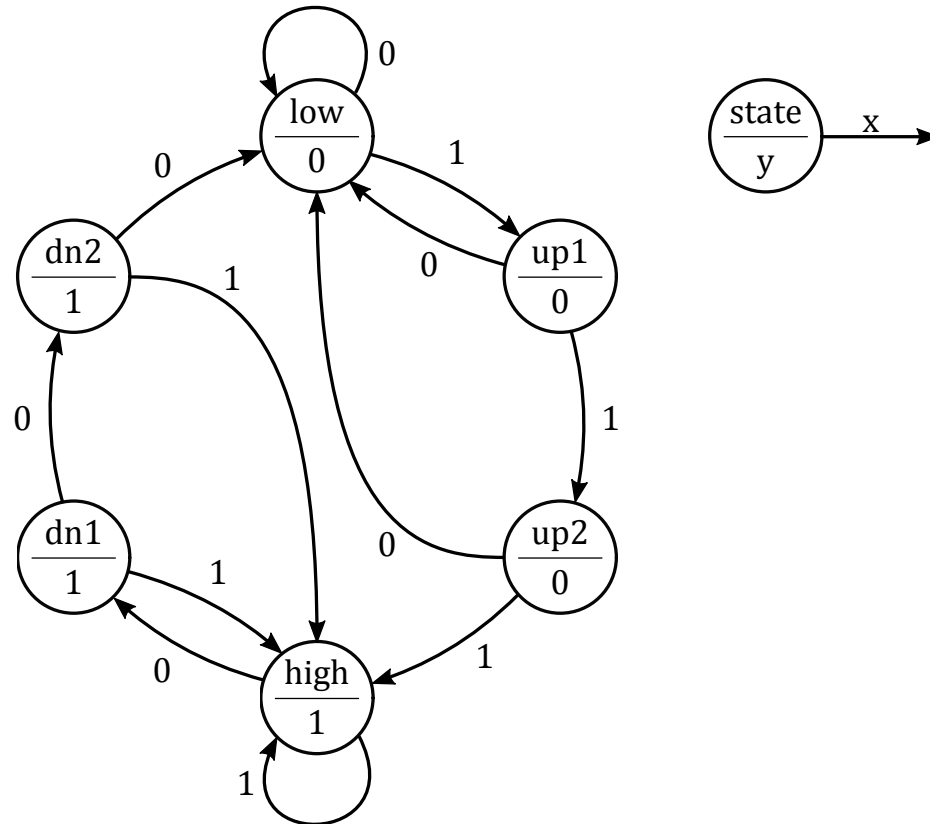
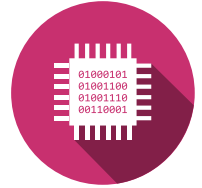
Machine d'état

Codage des état 1 parmi m (One-Hot)



Machine d'état

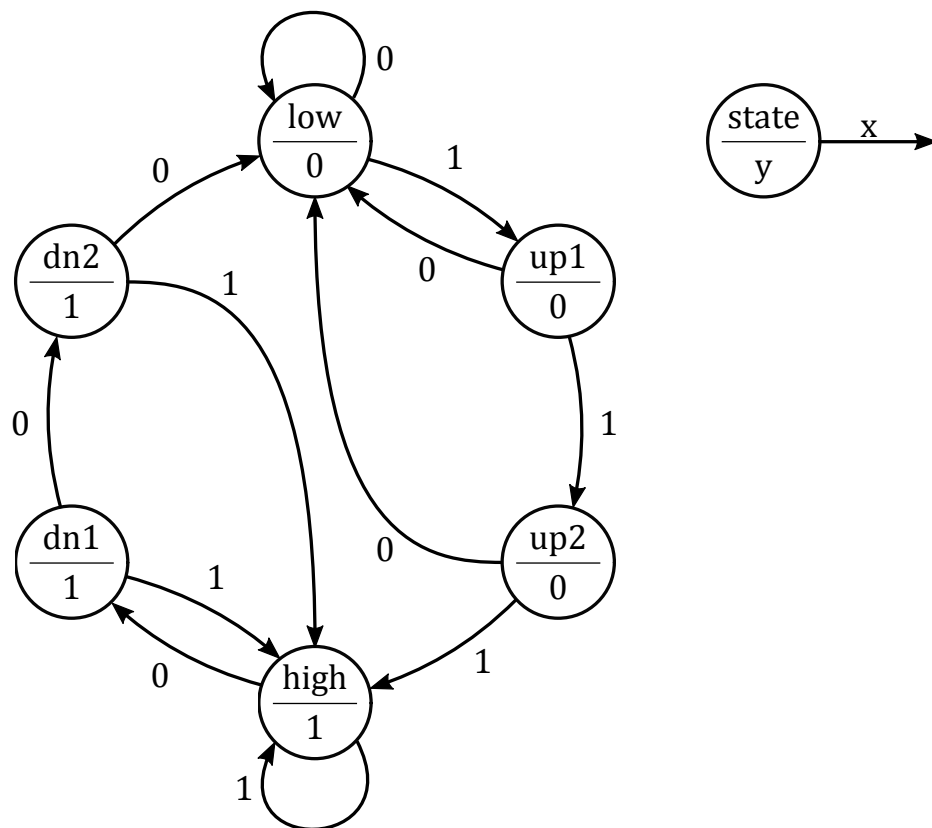
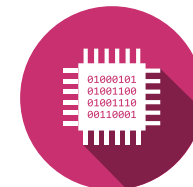
Codage des état 1 parmi m (One-Hot)



State	$Q_5 Q_4 Q_3 Q_2 Q_1 Q_0$
low	000001
up1	000010
up2	000100
high	001000
dn1	010000
dn2	100000

Machine d'état

Codage des état 1 parmi m (One-Hot)



State	$Q_5 Q_4 Q_3 Q_2 Q_1 Q_0$
low	000001
up1	000010
up2	000100
high	001000
dn1	010000
dn2	100000

$$D_0 = \bar{x}Q_0 + \bar{x}Q_1 + \bar{x}Q_2 + \bar{x}Q_5$$

$$D_1 = xQ_0$$

$$D_2 = xQ_1$$

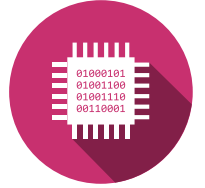
$$D_3 = xQ_2 + xQ_3 + xQ_4 + xQ_5$$

$$D_4 = \bar{x}Q_3$$

$$D_5 = \bar{x}Q_4$$

$$y = Q_3 + Q_4 + Q_5$$

Références



- [Alm89] (anglais) Réduction du nombre d'états
- [Man78] (français) Présentation très complète, exercices corrigés
- [Wak00] (anglais) Présentation très complète, exemples intéressants
- [Lew82] (anglais) Réduction du nombre d'états

WHY ARE THERE MIRRORS ABOVE BEDS

WHY DO I SAY UH

WHY IS SEA SALT BETTER

WHY ARE THERE TREES IN THE MIDDLE OF FIELDS

WHY IS THERE NOT A POKEMON MMO

WHY IS THERE LAUGHING IN TV SHOWS

WHY ARE THERE DOORS ON THE FREEWAY

WHY ARE THERE SO MANY SUCHOST-EXE RUNNING

WHY AREN'T ANY COUNTRIES IN ANTARCTICA

WHY ARE THERE SCARY SOUNDS IN MINECRAFT

WHY IS THERE KICKING IN MY STOMACH

WHY ARE THERE TWO SLASHES AFTER HTTP

WHY ARE THERE CELEBRITIES

WHY DO SNAKES EXIST

WHY DO OYSTERS HAVE PEARLS

WHY ARE DUCKS CALLED DUCKS

WHY DO THEY CALL IT THE CLAP

WHY ARE KYLE AND CARTMAN FRIENDS

WHY IS THERE AN ARROW ON AANG'S HEAD

WHY ARE TEXT MESSAGES BLUE

WHY ARE THERE MUSTACHES ON CLOTHES

WHY WUBA LUBBA DUB DUB MEANING

WHY IS THERE A WHALE AND A POT FALLING

WHY ARE THERE SO MANY BIRDS IN SWISS

WHY IS THERE SO LITTLE RAIN IN WALLIS

WHY IS WALLIS WEATHER FORECAST ALWAYS WRONG

WHY ARE THERE MALE AND FEMALE BIKES

WHY ARE THERE BRIDESMAIDS

WHY DO DYING PEOPLE REACH UP

HOW FAST IS LIGHTSPEED

WHY ARE OLD KLINGONS DIFFERENT

WHY ARE THERE SQUIRRELS

WHY ARE THERE TINY SPIDERS IN MY HOUSE

WHY DO SPIDERS COME INSIDE

WHY ARE THERE HUGE SPIDERS IN MY HOUSE

WHY ARE THERE LOTS OF SPIDERS IN MY HOUSE

WHY ARE THERE SPIDERS IN MY ROOM

WHY ARE THERE SO MANY SPIDERS IN MY ROOM

WHY DO SPYDER BITES ITCH

WHY IS DYING SO SCARY

WHY IS THERE NO GPS IN LAPTOPS

WHY DO KNEES CLICK

WHY IS THERE CAFFEINE IN MY SHAMPOO

WHY HAVE DINOSAURS NO FUR

WHY DO IGUANAS DIE

WHY AREN'T ECONOMISTS RICH

WHY DO AMERICANS CALL IT SOCCER

WHY ARE MY EARS RINGING

WHY IS 42 THE ANSWER TO EVERYTHING

WHY CAN'T NOBODY ELSE LIFT THORS HAMMER

WHY IS MARVIN ALWAYS SO SAD

WHY ARE THERE ANTS IN MY LAPTOP

WHY IS EARTH TILTED

WHY IS SPACE BLACK

WHY IS OUTER SPACE SO COLD

WHY ARE THERE PYRAMIDS ON THE MOON

WHY IS NASA SHUTTING DOWN

WHY ARE THERE GHOSTS

WHY IS THERE AN OWL IN MY BACKYARD

WHY IS THERE AN OWL OUTSIDE MY WINDOW

WHY IS THERE AN OWL ON THE DOLLAR BILL

WHY DO OWLS ATTACK PEOPLE

WHY ARE FPGA's EVERYWHERE

WHY ARE THERE HELICOPTERS CIRCLING MY HOUSE

WHY ARE THERE GODS

WHY ARE THERE TWO SPOCKS

WHY ARE MY BOOBS ITCHY

WHY ARE CIGARETTES LEGAL

WHY ARE THERE DUCKS IN MY POOL

WHY IS JESUS WHITE

WHY IS THERE LIQUID IN MY EAR

WHY DO Q TIPS FEEL GOOD

WHY DO PEOPLE DIE

WHY AREN'T THERE GUNS IN

WHY ARE THERE DOGS AFRAID OF FIRE

WHY IS THERE NO KING IN E

WHY ARE THERE NO GUNS IN

WHY ARE THERE NO GUNS IN

WHY ARE THERE NO GUNS IN

WHY ARE THERE NO GUNS IN

WHY ARE THERE NO GUNS IN

WHY ARE THERE NO GUNS IN

WHY ARE THERE NO GUNS IN

WHY ARE THERE NO GUNS IN

WHY ARE THERE NO GUNS IN

WHY ARE THERE NO GUNS IN

QUESTIONS

CAN BE ASKED BY ANYONE ANYTIME

WHY AREN'T MY
ARMS GROWING



WHY ARE THERE
GHOSTS



WHY IS THERE AN OWL IN MY BACKYARD

WHY IS THERE AN OWL OUTSIDE MY WINDOW

WHY IS THERE AN OWL ON THE DOLLAR BILL

WHY DO OWLS ATTACK PEOPLE

WHY ARE FPGA's EVERYWHERE

WHY ARE THERE HELICOPTERS CIRCLING MY HOUSE

WHY ARE THERE GODS

WHY ARE THERE TWO SPOCKS

WHY ARE MY BOOBS ITCHY

WHY ARE CIGARETTES LEGAL

WHY ARE THERE DUCKS IN MY POOL

WHY IS JESUS WHITE

WHY IS THERE LIQUID IN MY EAR

WHY DO Q TIPS FEEL GOOD

WHY DO PEOPLE DIE

WHY AREN'T
THERE GUNS IN



WHY ARE THERE
SQUIRRELS



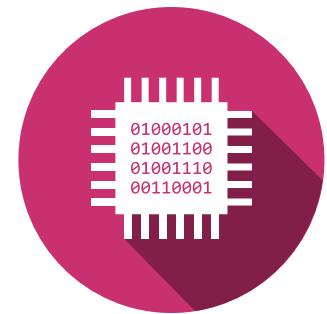
B



Hes·so  **VALAIS
WALLIS**



Haute Ecole d'Ingénierie
Hochschule für Ingenieurwissenschaften



Silvan Zahno silvan.zahno@hevs.ch
Christophe Bianchi christophe.bianchi@hevs.ch
François Corthay francois.corthay@hevs.ch