



Cours 7

Logique séquentielle (3)

ELP 304 : Electronique Numérique



Les compteurs synchrones : caractéristiques générales

- ■ Complexité supérieure à celle des compteurs asynchrones
- + ■ Toutes les bascules sont commandées par la **même horloge**
 - ⇒ Pas de problème de cumul des temps de propagation
 - ⇒ Etats transitoires parasites limités
- Une **méthode unique** pour réaliser tous les types de compteurs
- Tous les types d'énumérations peuvent être réalisés de manière **fiable**

Synthèse des compteurs synchrones à partir de bascules D flip-flops

Construction d'un compteur modulo N :

- 1 - Nombre de bascules nécessaires : n , où $2^{n-1} < N \leq 2^n$
- 2 - Etablir la table de transition du compteur
 - état suivant (Q_i^+) en fonction de l'état présent (Q_i)

Q_n	Q_1	Q_n^+	Q_1^+

- 3 - Calculer l'expression des entrées D des bascules

– $D_i = Q_i^+ = F(Q_j)$



Exemple 1 : compteur modulo 8

A vous de jouer !

Exemple 1 : compteur modulo 8

1 - Nombre de bascules nécessaires ? **3**

2 - Table de transition

Q_3	Q_2	Q_1	Q_3^+	Q_2^+	Q_1^+
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

Exemple 1 : compteur modulo 8

3 - Calcul de $D_1 = Q_1^+$, $D_2 = Q_2^+$, et $D_3 = Q_3^+$

Q_3	Q_2	Q_1	Q_3^+	Q_2^+	Q_1^+
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

D_1

	Q_2	Q_1
Q_3	1	1
Q_3	1	1

$$D_1 = \overline{Q_1}$$

D_2

	Q_2	Q_1
Q_3	0	1
Q_3	0	1

$$D_2 = Q_2 \overline{Q_1} + Q_1 \overline{Q_2}$$

$$D_2 = Q_1 \oplus Q_2$$

D_3

	Q_2	Q_1
Q_3	0	0
Q_3	1	1

$$D_3 = Q_3 \overline{Q_1} + Q_3 \overline{Q_2} + \overline{Q_3} Q_1 Q_2$$

$$D_3 = Q_3 \overline{Q_1} \overline{Q_2} + \overline{Q_3} Q_1 Q_2$$

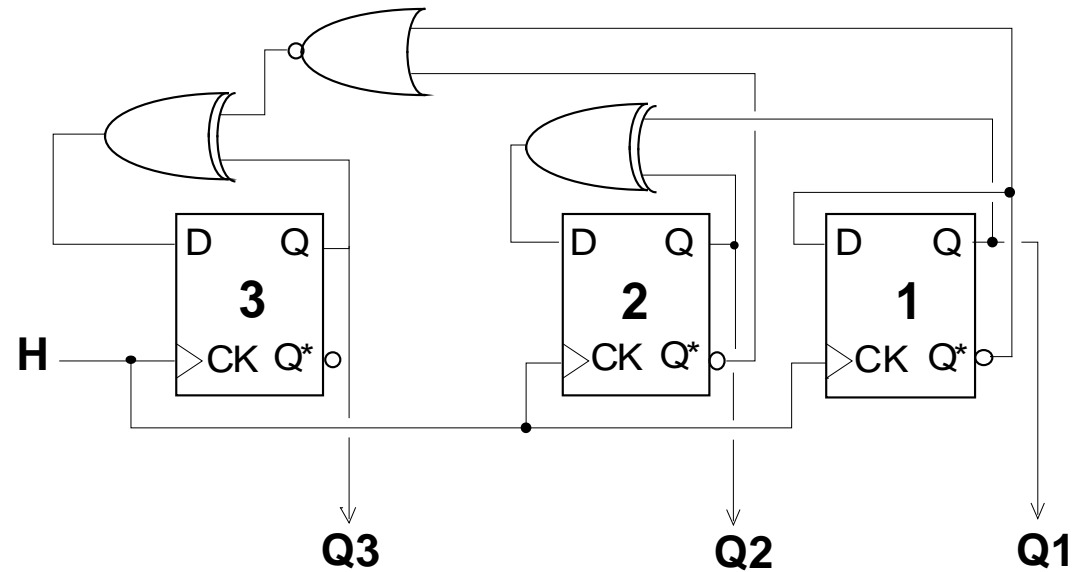
$$D_3 = (Q_1 Q_2) \oplus Q_3$$

Compteur modulo 8 : résultat

$$D_1 = \overline{Q_1}$$

$$D_2 = Q_1 \oplus Q_2$$

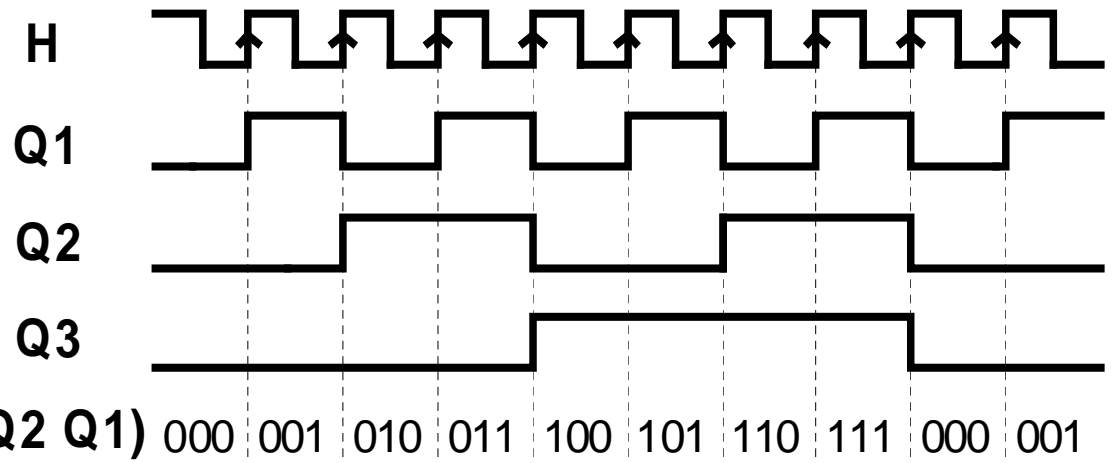
$$D_3 = (Q_1 Q_2) \oplus Q_3 = (\overline{Q_1 + Q_2}) \oplus Q_3$$



Compteur modulo 2^n

$$D_1 = \overline{Q_1}$$

$$D_i = (Q_1 \cdots Q_{i-1}) \oplus Q_i, \quad i > 1$$



Exemple 2 : compteur modulo 5

■ Table de transition

Q_3	Q_2	Q_1	Q_3^+	Q_2^+	Q_1^+
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	0	0	0

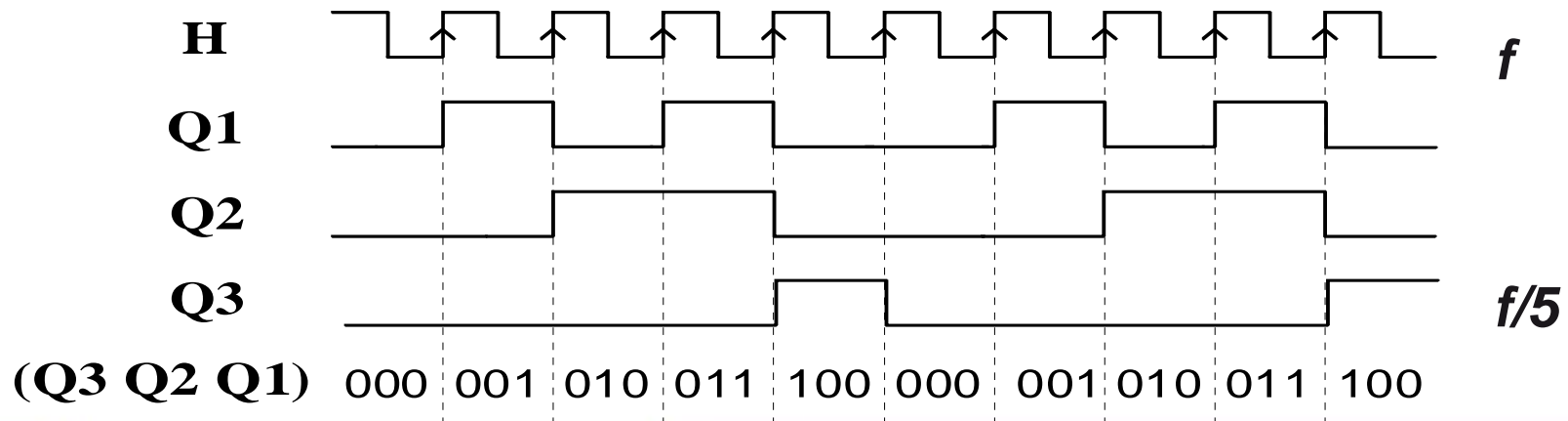
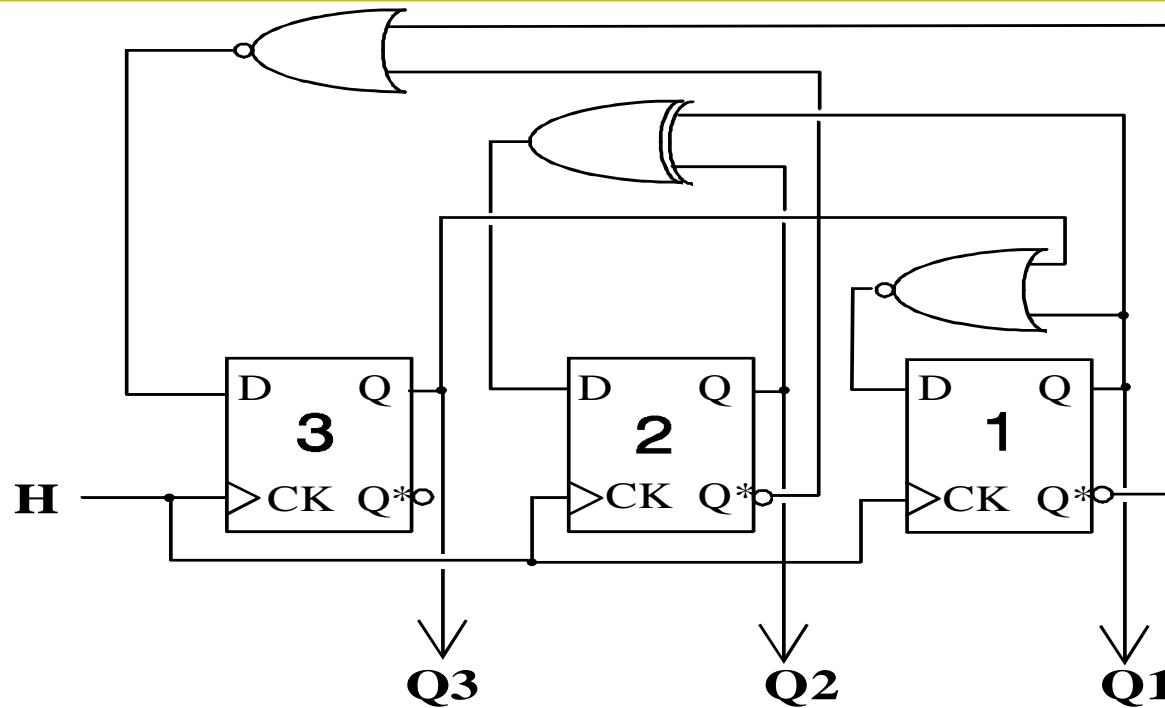
- Calcul des entrées des bascules

$$D_1 = Q_1^+ = \overline{Q_1} \overline{Q_3}$$

$$D_2 = Q_2^+ = Q_1 \oplus Q_2$$

$$D_3 = Q_3^+ = Q_1 Q_2$$

Compteur modulo 5 : résultat



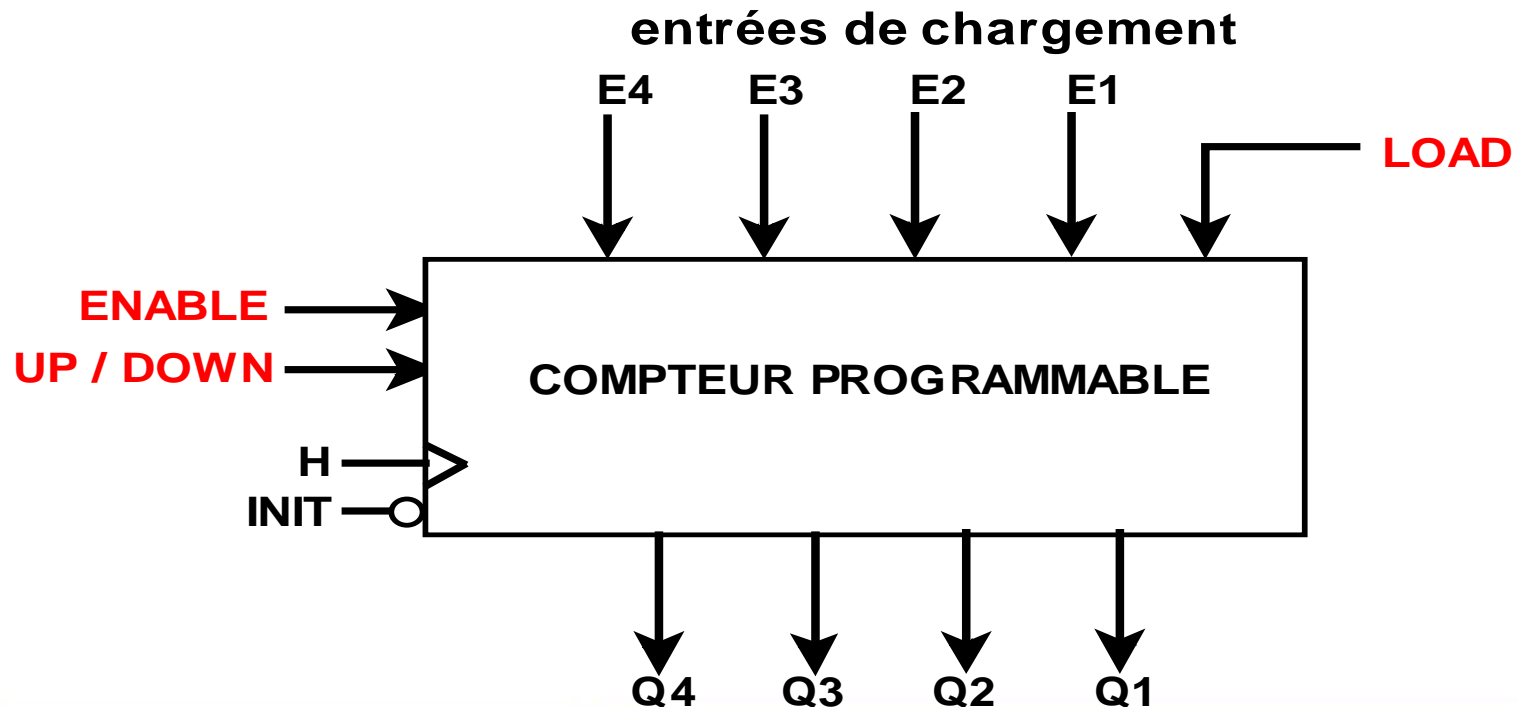
Autres cycles de comptage

- La méthode étudiée permet également de synthétiser
 - des décompteurs
 - des circuits décrivant des cycles autre que l'énumération binaire naturelle
 - compteurs de Gray
 - cycles quelconques : 5 -> 1 -> 3 -> 6 -> 0 -> 2 -> 5 ...

=> Champ d'application plus large que les compteurs asynchrones

Les compteurs programmables

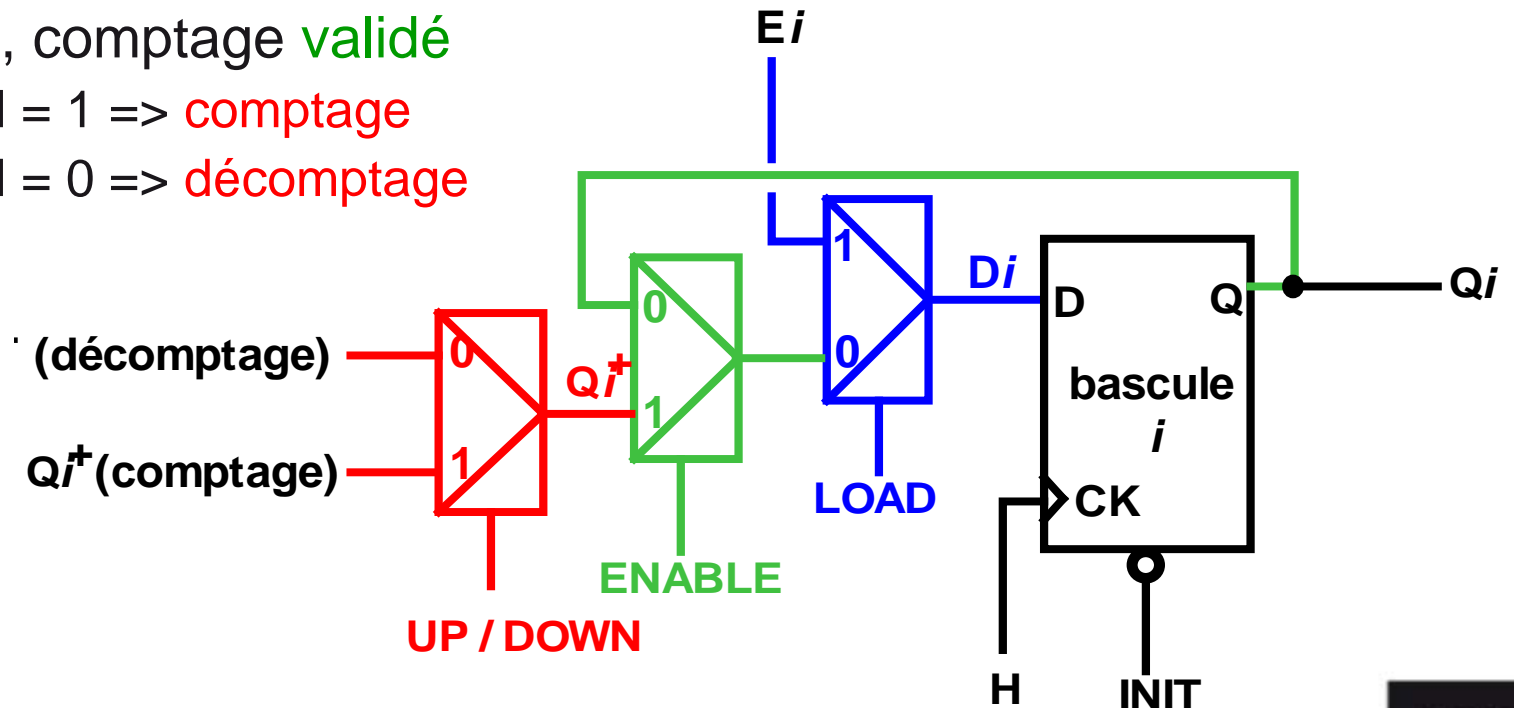
- Compteurs proposés dans les catalogues de circuits standard
 - **chargement parallèle** du compteur
 - commande de **validation / inhibition du comptage**
 - programmation du **sens du comptage**



Un compteur programmable : structure

■ Exemple de réalisation d'une cellule de base

- LOAD = 1, chargement parallèle
- LOAD = 0, mode comptage
 - ENABLE = 0, comptage **inhibé**
 - ENABLE = 1, comptage **validé**
 - UP/DOWN = 1 => **comptage**
 - UP/DOWN = 0 => **décomptage**



Initialisation des compteurs

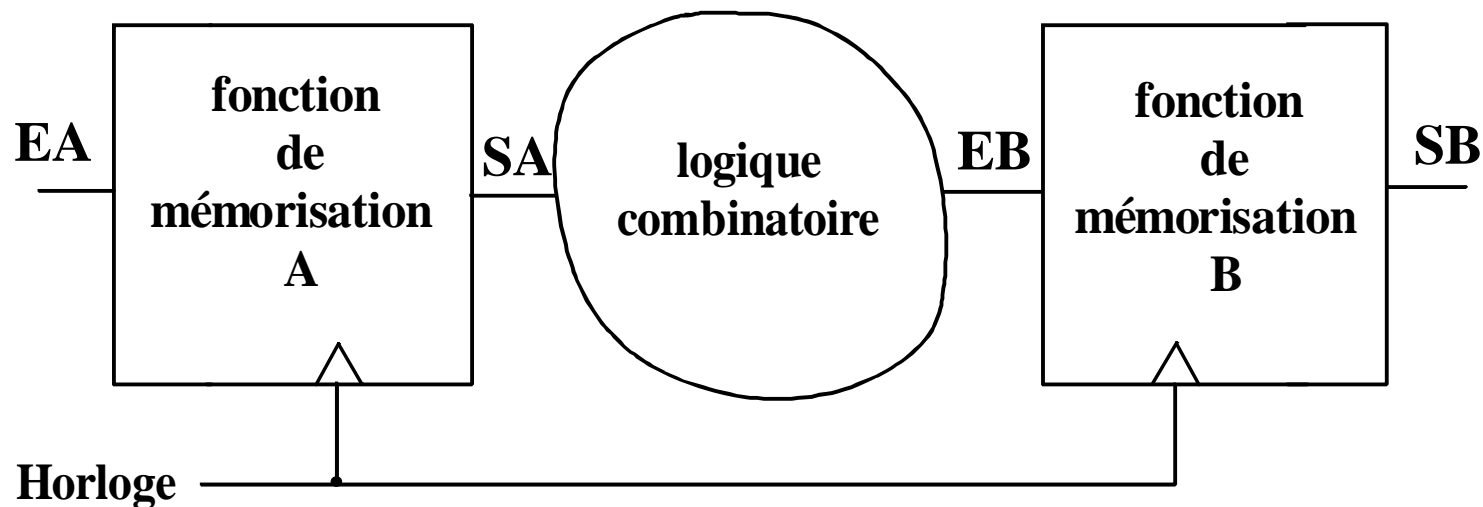
- Entrée d'initialisation nécessaire
 - Circuits à fonctionnement autonome (pas d'entrée de données externe)
- S'assurer que la commande d'initialisation **force le compteur dans un état appartenant au cycle de comptage** (pour les cycles incomplets)

Applications des compteurs

- Comptage d'évènements (ex : timers)
- Division de fréquence
- Adressage de mémoires (ex: FIFO, cf. cours 8)

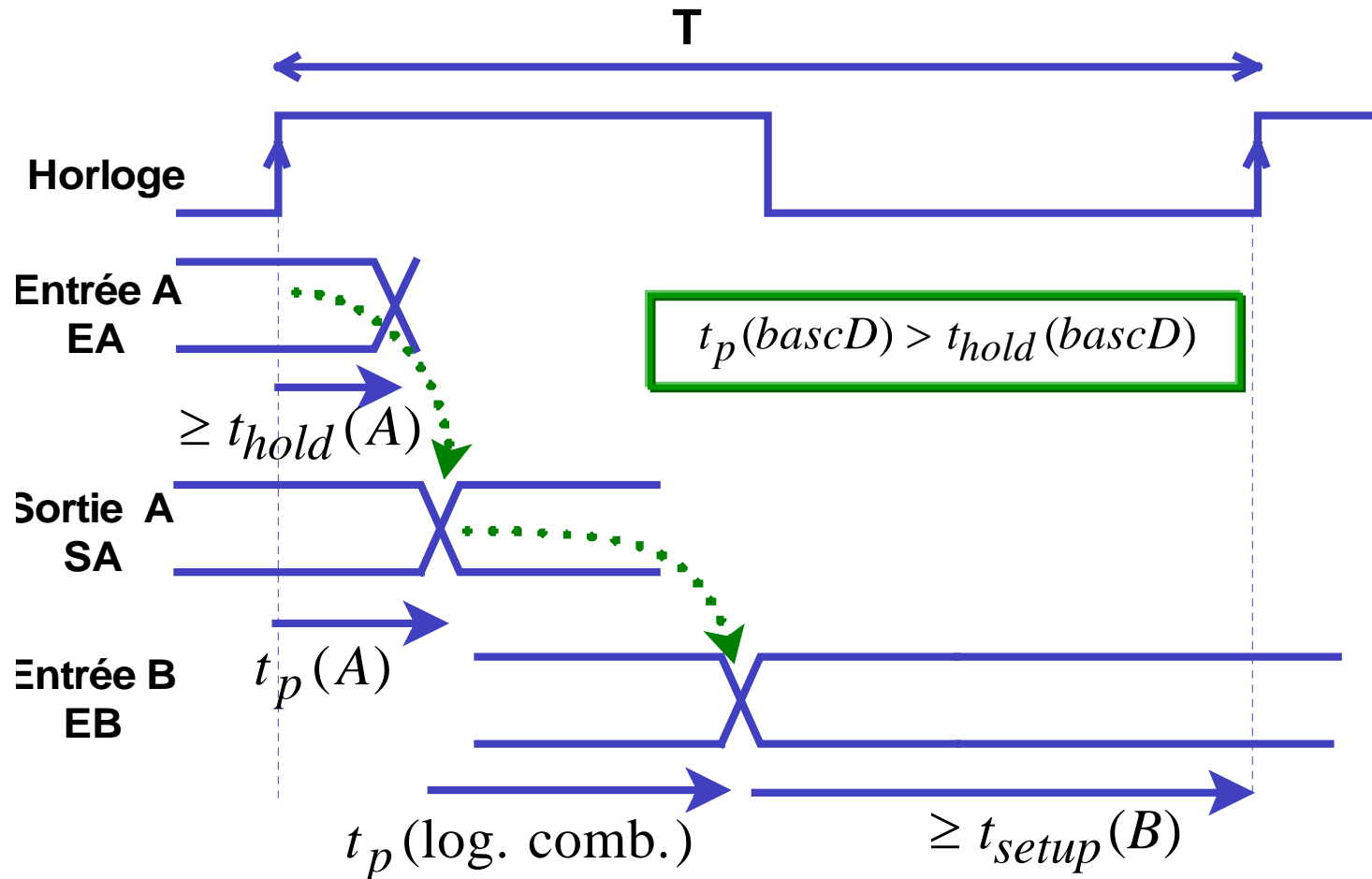
Fréquence maximale de fonctionnement d'un circuit synchrone

■ Chemin critique



Le **chemin critique** est le chemin de propagation qui limite la fréquence maximale de fonctionnement

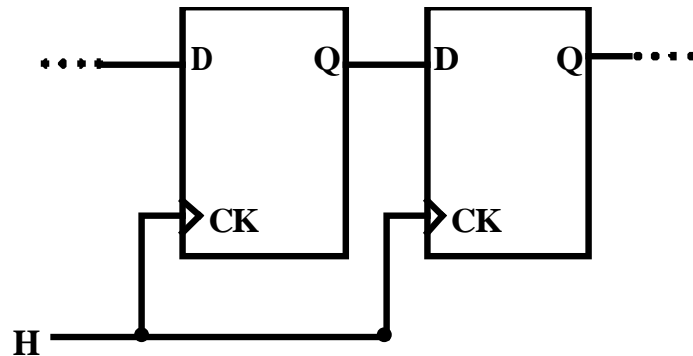
Analyse d'un chemin de propagation



$$T > t_{p \max}(A) + t_{p \max}(\text{logique combinatoire}) + t_{\text{setup}}(B) = T_{\min}$$

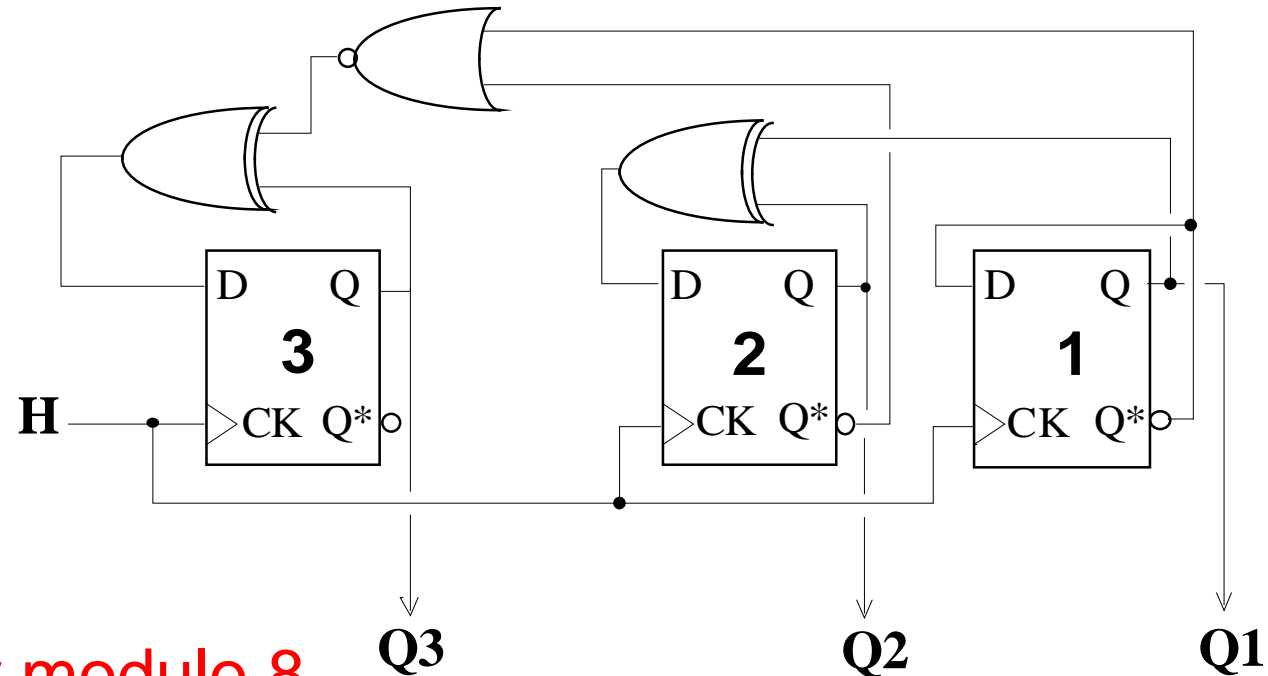
Exemples de calcul de fréquences maximales de fonctionnement

■ Registre à décalage



$$f_{\max} = 1 / T_{\min} = \frac{1}{t_{p \max}(\text{basc D}) + t_{\text{setup}}(\text{basc D})}$$

Exemples de calcul de fréquences maximales de fonctionnement



■ Compteur modulo 8

- Six chemins de propagation
- 1 -> 3 est le chemin le plus long

$$f_{\max} = 1/T_{\min} = \frac{1}{t_{p \max}(\text{basc1}) + t_{p \max}(\text{NON OU}) + t_{p \max}(\text{OUEX}) + t_{\text{setup}}(\text{basc3})}$$

Quelques règles d'assemblage séquentiel

■ Initialisation

- Prévoir une **entrée d'initialisation** permettant de forcer l'état des bascules

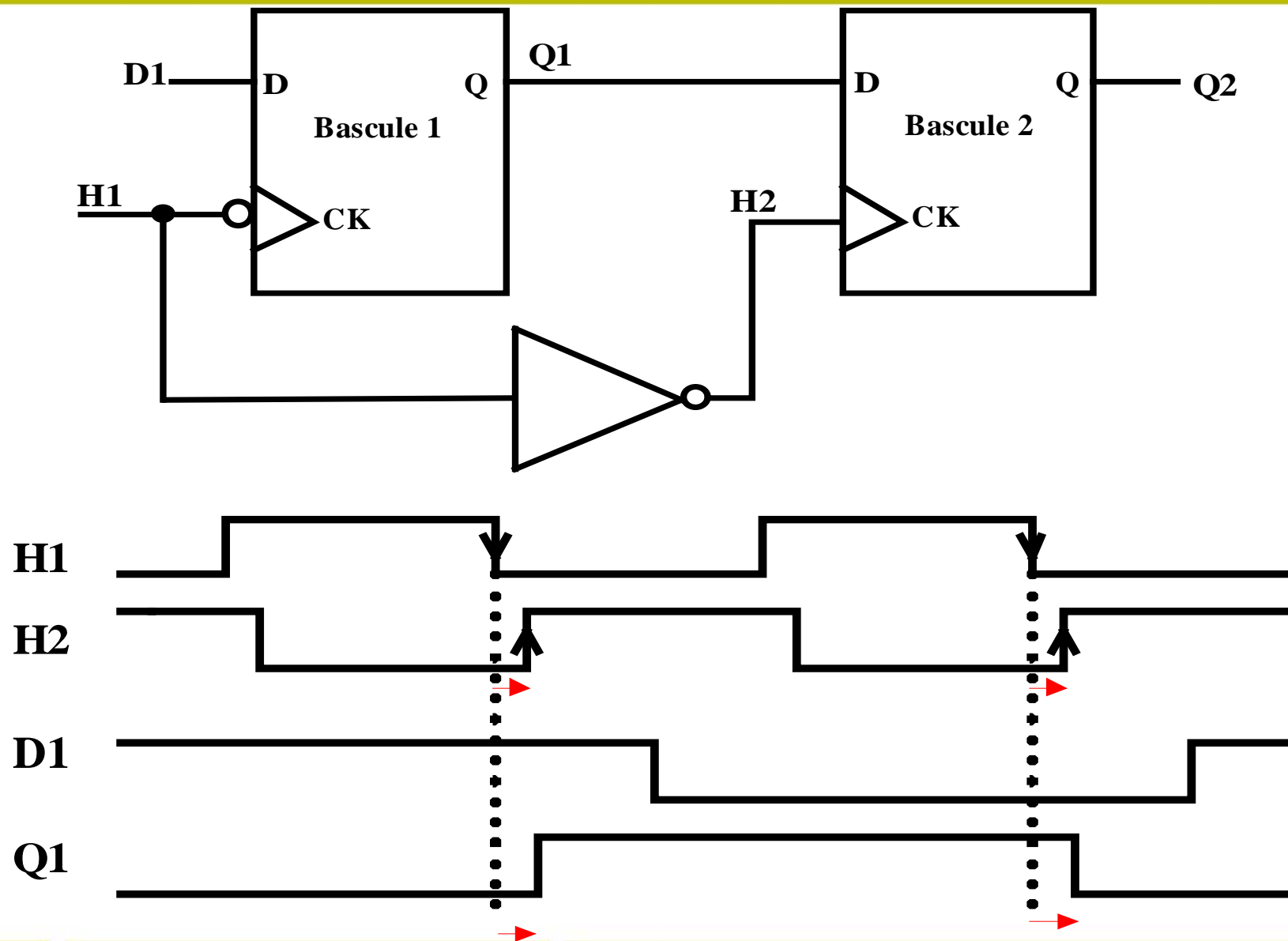
■ Signal d'horloge

- **Pas d'états parasites sur le signal d'horloge**
- **Ne pas insérer de retard sur les signaux d'horloges**

■ Entrées statiques / dynamiques

- N'utiliser les **entrées dynamiques** autres que H que pour **l'initialisation**
- Toutes les autres entrées doivent être **statiques**

Aléa de fonctionnement dû à un décalage d'horloge



Aléa dû à une commande asynchrone

