

Remise à niveau en électronique - Documents

Alexandre BOYER

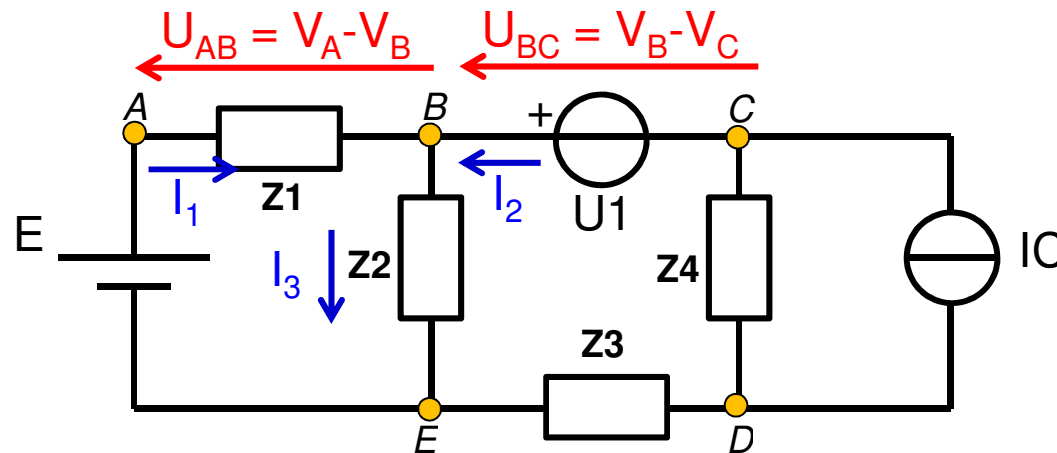
Alexandre.boyer@insa-toulouse.fr

www.alexandre-boyer.fr

Septembre 2017

- ✓ Electronique pour les communications (I2MIEN11)
- ✓ Ce cours de RAN adresse aussi certains des concepts des UF suivantes :
 - Systèmes logiques et structures des ordinateurs (I2MIIM11)
 - Analyse et signal (I2MIMT21)

Lois élémentaires pour l'analyse des circuits

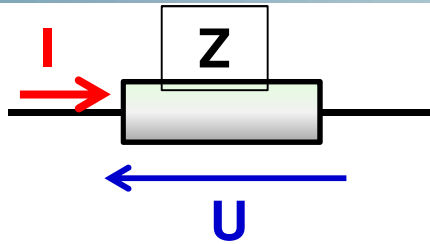


- ✓ Sources tension/courant et impédances connectés par l'intermédiaire de nœuds
- ✓ Convention générateur vs. récepteur

✓ Lois de Kirchoff :

- Loi des nœuds: En chaque nœud, la somme des courants entrants = somme des courants sortants. Ex: $I_1 + I_2 = I_3$
- Loi des mailles : La somme des tensions dans chaque maille = 0. Ex : $U_{AB} + U_{BE} + U_{EA} = 0$

- ✓ Circuit à composants linéaires → Théorème de superposition : la réponse d'un circuit à plusieurs excitations est la somme des réponses de ce circuit aux excitations appliquées individuellement..



Loi d'Ohm : $U = Z \times I$

✓ Résistance : $U = R \times I \quad \longrightarrow \quad Z = R$

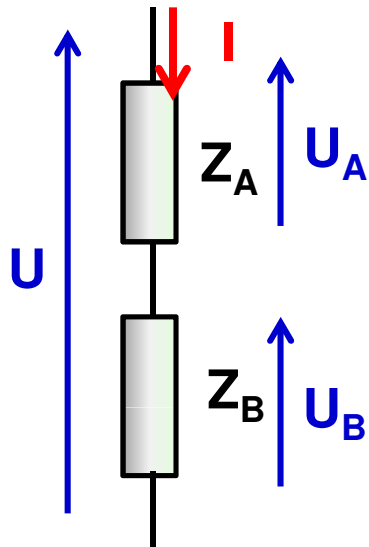
✓ Condensateur : $I = C \times \frac{dU}{dt}$

Régime harmonique ($\omega = 2\pi f$) : $I(\omega) = C \times j\omega U(\omega) \quad \longrightarrow \quad Z = \frac{1}{jC\omega}$

✓ Bobine : $U = L \times \frac{dI}{dt}$

Régime harmonique ($\omega = 2\pi f$) : $U(\omega) = L \times j\omega I(\omega) \quad \longrightarrow \quad Z = jL\omega$

Mise en série



$$U = Z_{eq} I = U_A + U_B = (Z_A + Z_B) I$$

$$Z_{eq} = Z_A + Z_B$$

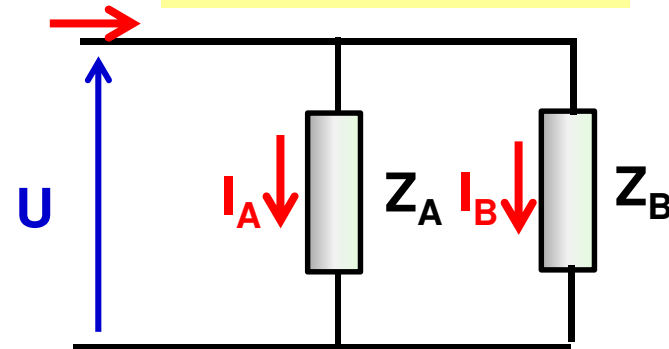
Pont diviseur de tension :

$$U_A = \frac{Z_A}{Z_A + Z_B} U$$

$$U_B = \frac{Z_B}{Z_A + Z_B} U$$

Remise a niveau electronique

Mise en parallèle



$$I = \frac{U}{Z_{eq}} = I_A + I_B = \frac{U}{Z_A} + \frac{U}{Z_B}$$

$$\frac{1}{Z_{eq}} = \frac{1}{Z_A} + \frac{1}{Z_B}$$

Pont diviseur de courant :

$$I_A = \frac{Z_B}{Z_A + Z_B} I$$

$$I_B = \frac{Z_A}{Z_A + Z_B} I$$

- ✓ Opération linéaire conduisant à la décomposition de tout signal s réel en une somme (infinie) de fonctions trigonométriques.

Transformée de Fourier

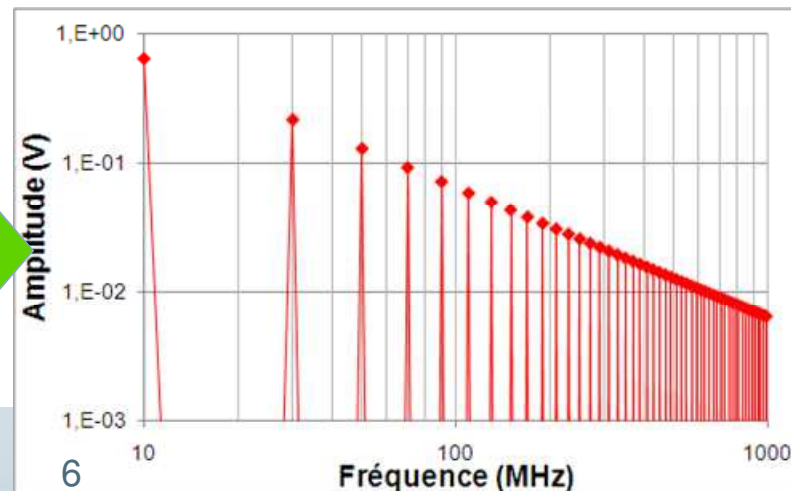
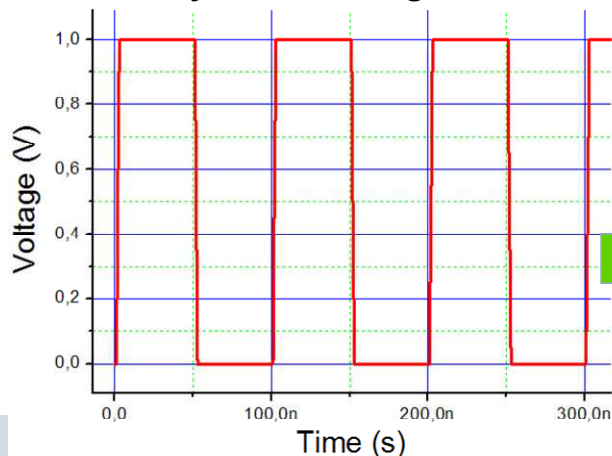
$$S(f) = TF[s(t)] = \int_{-\infty}^{+\infty} s(t) e^{-j2\pi ft} dt$$

Transformée de Fourier inverse

$$s(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S(f) e^{+j2\pi ft} df$$

- ✓ Outil de conversion temps \leftrightarrow fréquence : du domaine temporel au domaine fréquentiel
- ✓ Intérêt pratique pour l'étude des systèmes linéaires (dont les systèmes électroniques linéaires) :

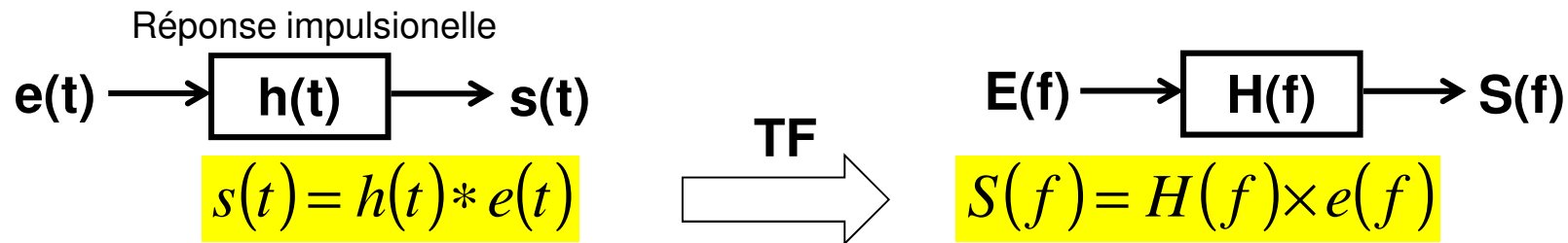
- Analyse des signaux simplifiée dans le domaine fréquentiel



Remise à niveau des connaissances
 Période $T = 100 \text{ ns}$, rapport cyclique = 50 %,
 $T_r = T_f = 0 \text{ ns}$

- ✓ Intérêt pratique pour l'étude des systèmes linéaires (dont les systèmes électroniques linéaires) :
 - Simplification de l'analyse des circuits électroniques en régime harmonique (excitation sinusoïdale) :

Fonction de transfert H(f) :



Opérations telles que dérivées ou intégrales deviennent des opérations algébriques :

Exemple : condensateur

$$i(t) = C \times \frac{du(t)}{dt} \xrightarrow{\text{TF}} I(f) = C \times j\omega U(f)$$

- ✓ Généralisation de la transformée de Fourier, permettant de prendre en compte le régime transitoire, et pas simplement le régime harmonique :

Transformée de Laplace

$$S(p) = L[s(t)] = \int_0^{+\infty} s(t)e^{-pt} dt$$

Transformée de Laplace inverse

$$s(t) = L^{-1}[S(p)] = \frac{1}{j2\pi} \int_{\xi-j\infty}^{\xi+j\infty} S(p)e^{pt} dp$$

- ✓ Variable de Laplace $p = \alpha + j\omega \rightarrow$ Fréquence complexe
- ✓ Intérêt pratique : Calcul opérationnel sur des systèmes linéaires \rightarrow résolution d'équations différentielles par des équations algébriques en passant du domaine temporel au domaine de Laplace

Transformées de Laplace usuelles



| Fonction | $f(t)$ | $F(p)$ |
|-------------------------|--|---|
| Somme de fonctions | $\eta f_1(t) + \lambda f_2(t)$ | $\eta F_1(p) + \lambda F_2(p)$ |
| Fonction décalée | $f(t - t_1)$ | $\exp[-t_1 p] F(p)$ |
| Fonction dérivée | $\frac{df(t)}{dt}$ | $pF(p) - f(0^+)$ |
| Fonction Primitive | $\int f(\xi) d\xi$ | $\frac{F(p)}{p} + \frac{f^{-1}(0^+)}{p}$ |
| impulsion de Dirac | $\delta(t)$ telle que $\int_0^{\infty} \delta(t) dt = 1$ et $\delta(t) = 0 \quad \forall t \neq 0$ | 1 |
| échelon unité | $u(t) = \begin{cases} 0 & \text{pour } t \leq 0 \\ 1 & \text{pour } t > 0^+ \end{cases}$ | $\frac{1}{p}$ |
| Constante | $\alpha \quad (t > 0)$ | $\frac{\alpha}{p}$ |
| rampe de pente α | $\alpha t \quad (t > 0)$ | $\frac{\alpha}{p^2}$ |
| fonction sinus | $\sin(\omega t) \cdot u(t)$ | $\frac{1}{\omega} \frac{1}{1 + \frac{p^2}{\omega^2}}$ |
| fonction sinus | $\sin(\omega t + \theta) \quad (t > 0)$ | $\frac{p \sin \theta + \omega \cos \theta}{p^2 + \omega^2}$ |
| fonction cosinus | $\cos(\omega t) \cdot u(t)$ | $\frac{1}{\omega^2} \frac{p}{1 + \frac{p^2}{\omega^2}}$ |
| fonction cosinus | $\cos(\omega t + \theta) \quad (t > 0)$ | $\frac{p \cos \theta - \omega \sin \theta}{p^2 + \omega^2}$ |
| fonction t^n | $t^n \cdot u(t)$ | $\frac{n!}{p^{n+1}}$ |

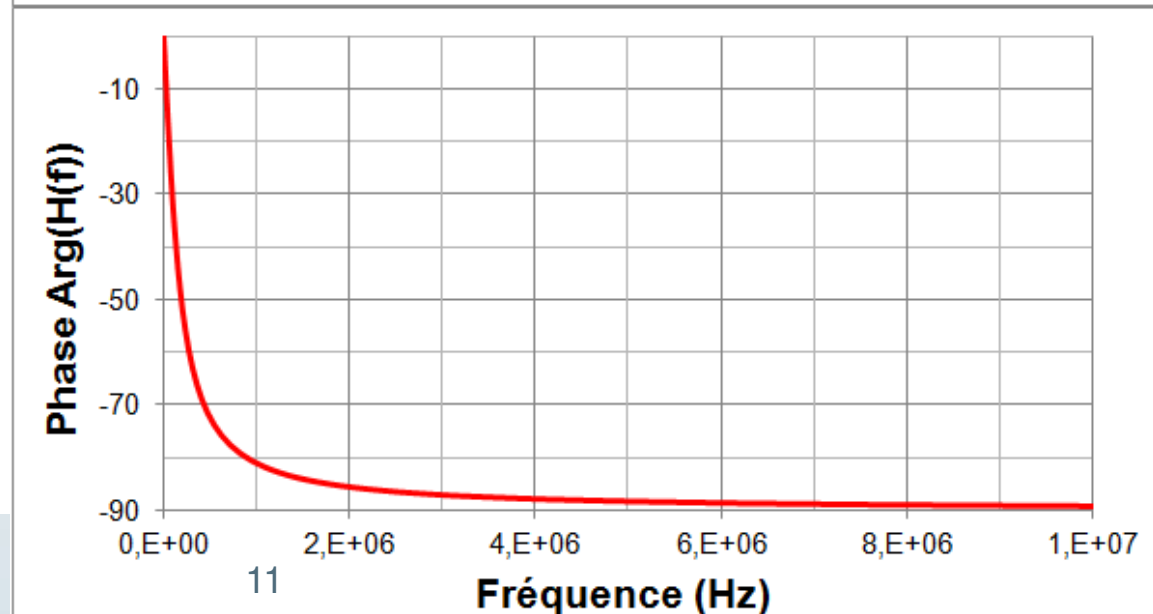
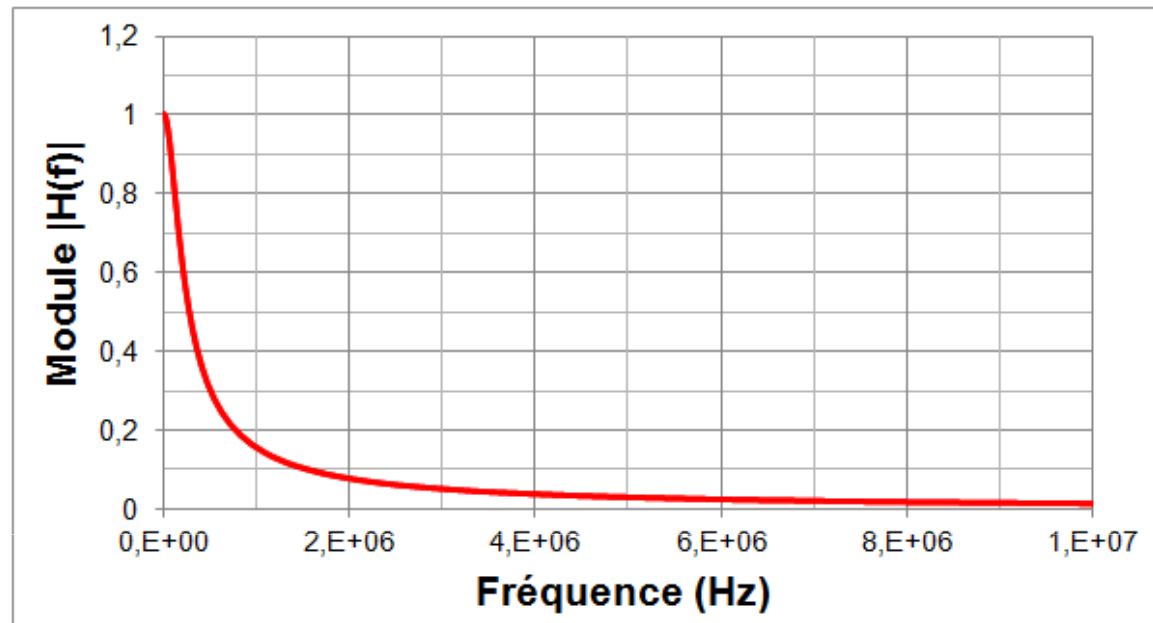
Transformées de Laplace usuelles (suite)



| | | |
|--|---|--|
| fonction exponentielle | $\exp[-\alpha t] \quad (t > 0)$ | $\frac{1}{p + \alpha}$ |
| fonction exponentielle | $e^{-\frac{t}{T}} \cdot u(t)$ | $\frac{T}{1 + Tp}$ |
| fonction périodique amortie | $E e^{-\delta t} \cos \omega t \quad (t > 0)$ | $\frac{p + \delta}{(p + \delta)^2 + \omega^2} E$ |
| fonction exponentielle pondérée par t^n | $t \exp[-\alpha t] \quad (t > 0)$ | $\frac{1}{(p + \alpha)^2}$ |
| | $t^n \cdot e^{-\frac{t}{T}} \cdot u(t)$ | $n! T^{n+1} \frac{1}{(1 + Tp)^{n+1}}$ |
| fonction sinus pondérée par t^n | $t^n \cdot \sin(\omega t) \cdot u(t)$ | $\frac{2^n n!}{\omega^{2n+1}} \frac{p^n}{\left(1 + \frac{p^2}{\omega^2}\right)^{n+1}}$ |
| différence de deux fonctions exponentielles | $\left(e^{-\frac{t}{T_1}} - e^{-\frac{t}{T_2}} \right) \cdot u(t)$ | $\frac{(T_1 - T_2)}{(1 + T_1 p)(1 + T_2 p)}$ |
| fonction périodique amortie par une exponentielle décroissante | $\left[e^{-\zeta \omega t} \sin(\omega t \sqrt{1 - \zeta^2}) \right] \cdot u(t)$ | $\frac{\sqrt{1 - \zeta^2}}{\omega} \frac{1}{1 + 2\zeta \frac{p}{\omega} + \frac{p^2}{\omega^2}}$ |
| fonction périodique non amortie superposée à un régime transitoire aperiodique | $\left(\frac{\omega^2 T}{1 + \omega^2 T^2} e^{-\frac{t}{T}} + \frac{\omega \sin(\omega t - \varphi)}{\sqrt{1 + \omega^2 T^2}} \right) \cdot u(t)$ avec $\varphi = \text{Arctg}(\omega T)$ | $\frac{1}{(1 + Tp) \left(1 + \frac{p^2}{\omega^2} \right)}$ |

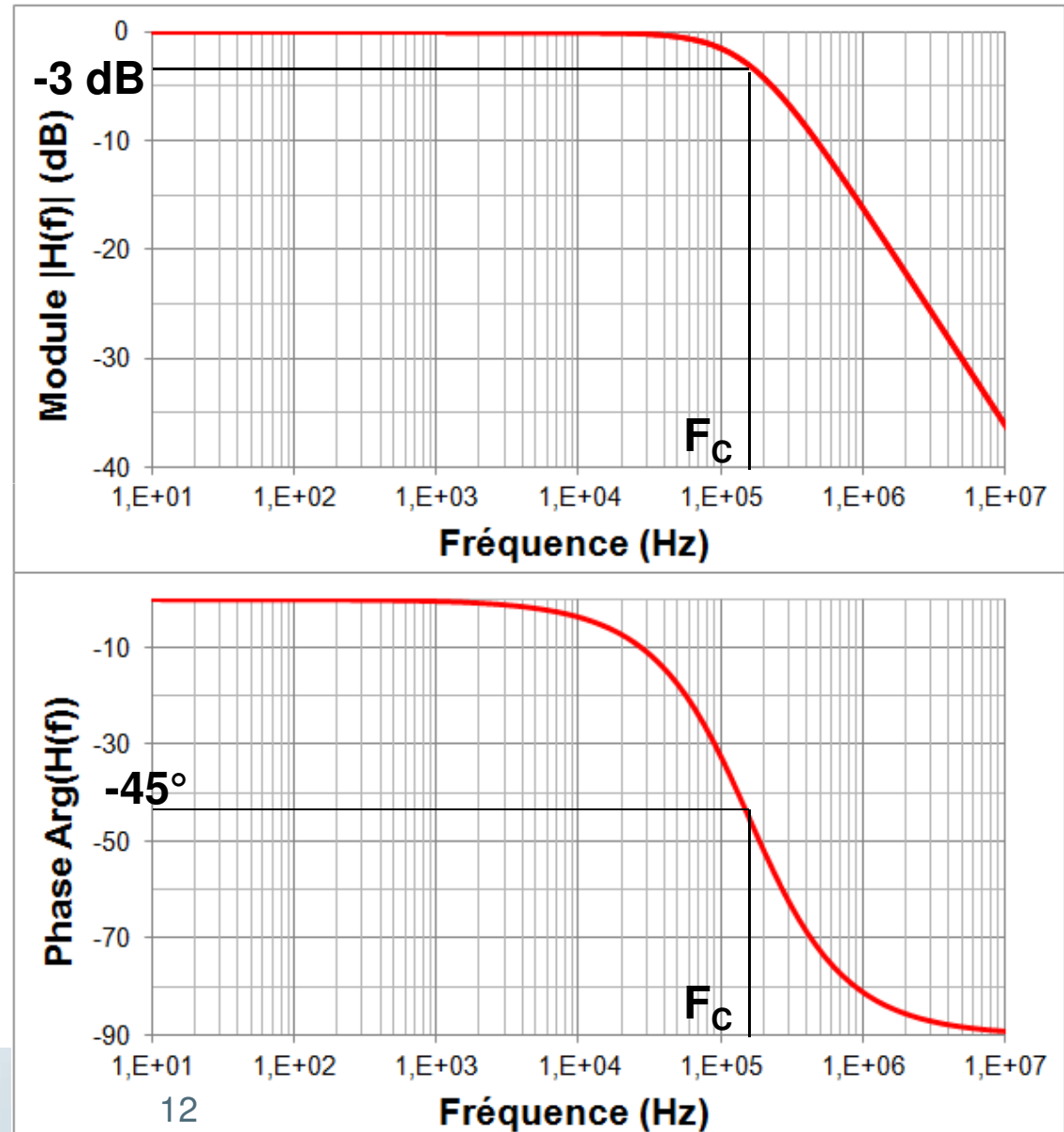
- ✓ Diagramme de Bode
(représentation module
– phase vs. Fréquence)
- ✓ Filtre passe-bas d'ordre
1 (RC) : R = 1 kΩ et C
= 1 nF
- ✓ Fréquence de coupure :

$$F_c = \frac{1}{2\pi RC} = 159 \text{kHz}$$

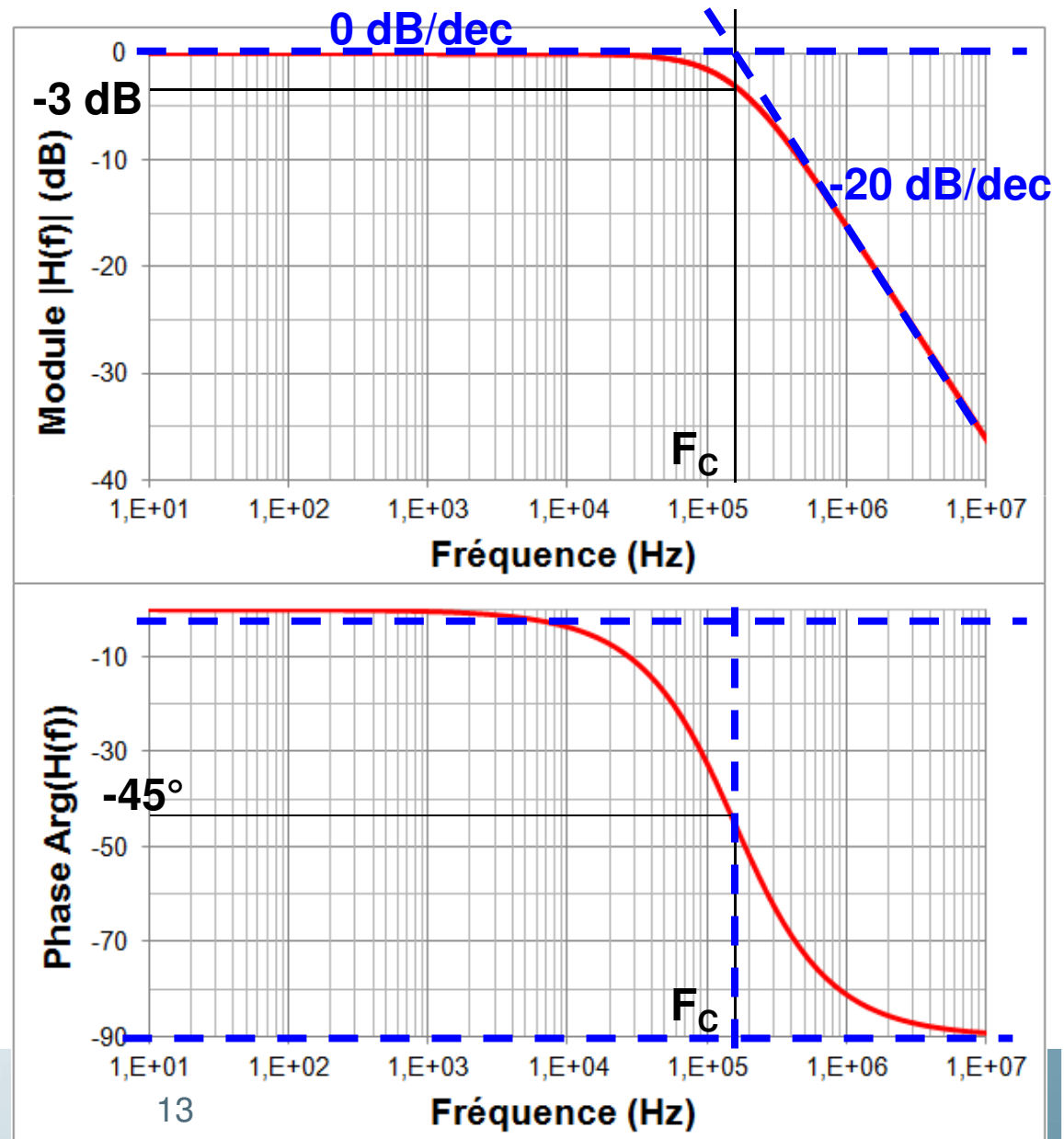


- ✓ Diagramme de Bode
(représentation module
– phase vs. Fréquence)
- ✓ Tracé log/log
- ✓ Filtre passe-bas d'ordre
1 (RC) : R = 1 kΩ et C
= 1 nF
- ✓ Fréquence de coupure

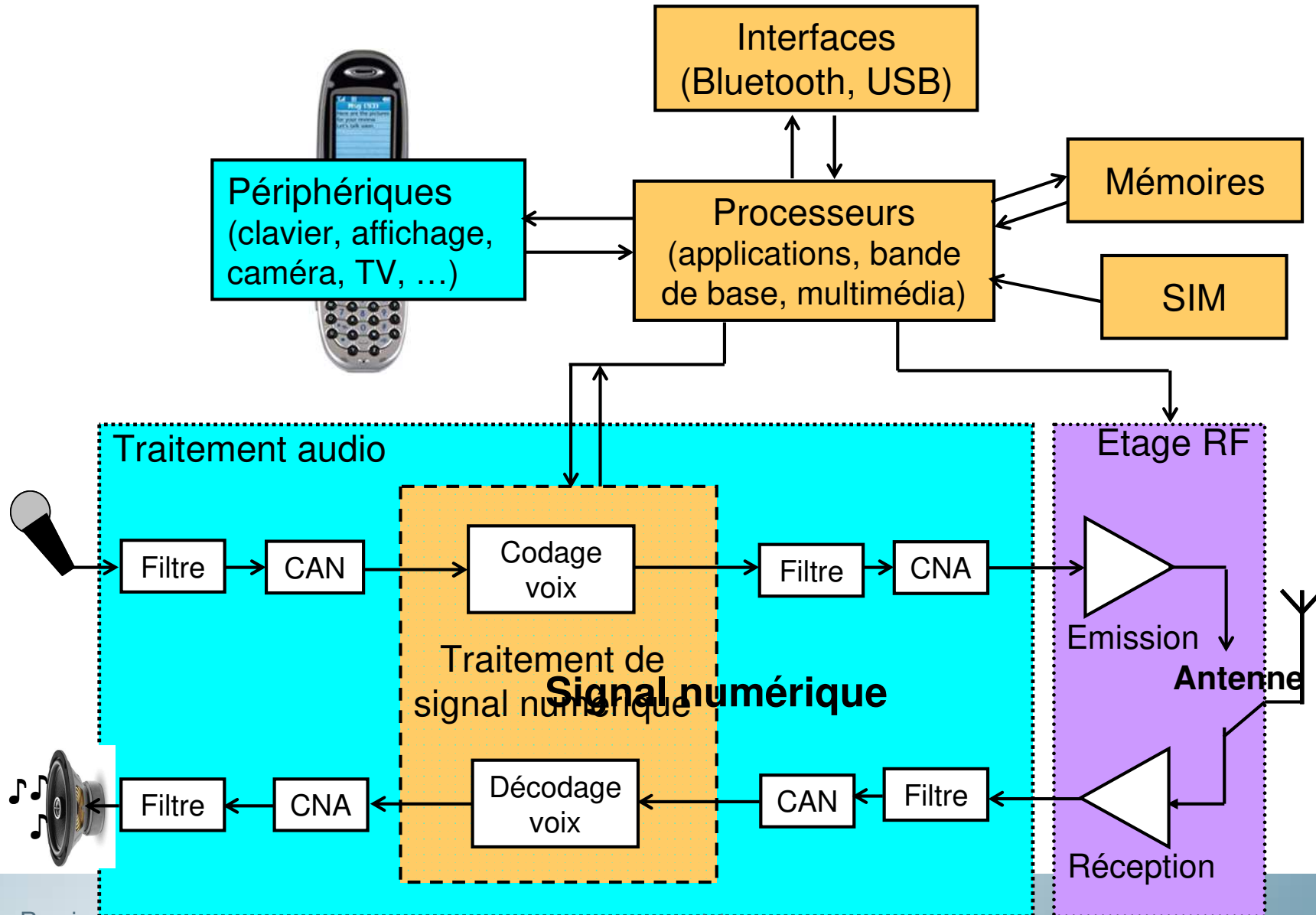
$$F_c = \frac{1}{2\pi RC} = 159 \text{ kHz}$$



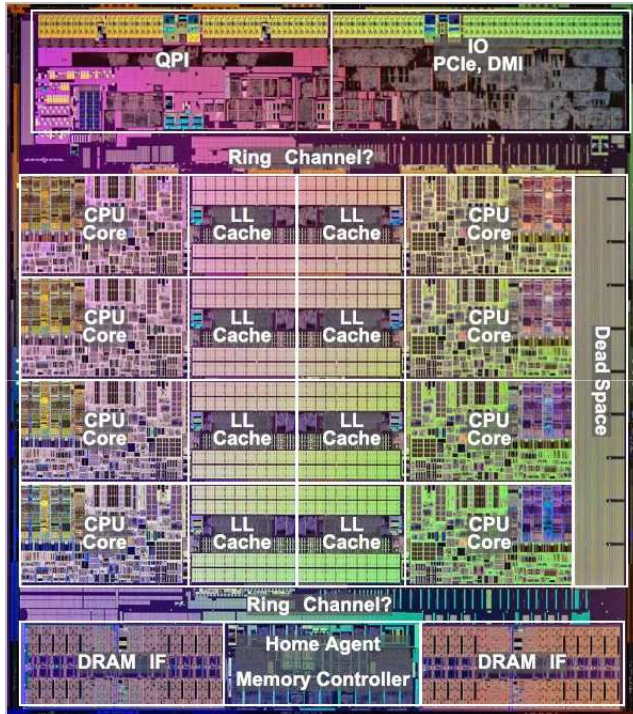
- ✓ Repérer les grandes tendances et les fréquences caractéristiques



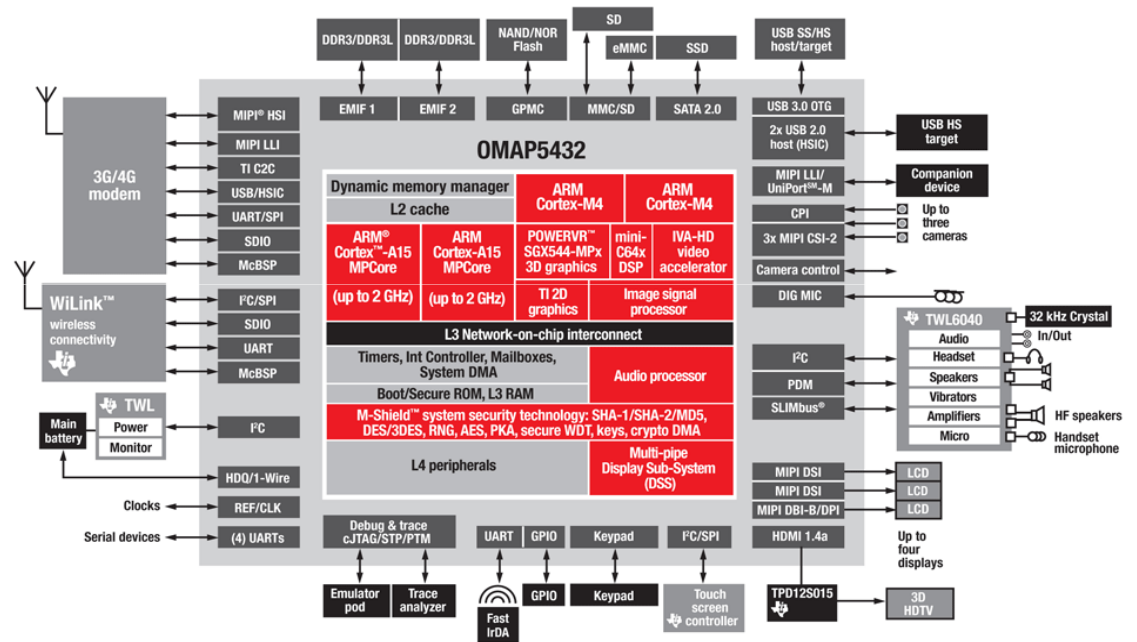
Electronique analogique vs. numérique



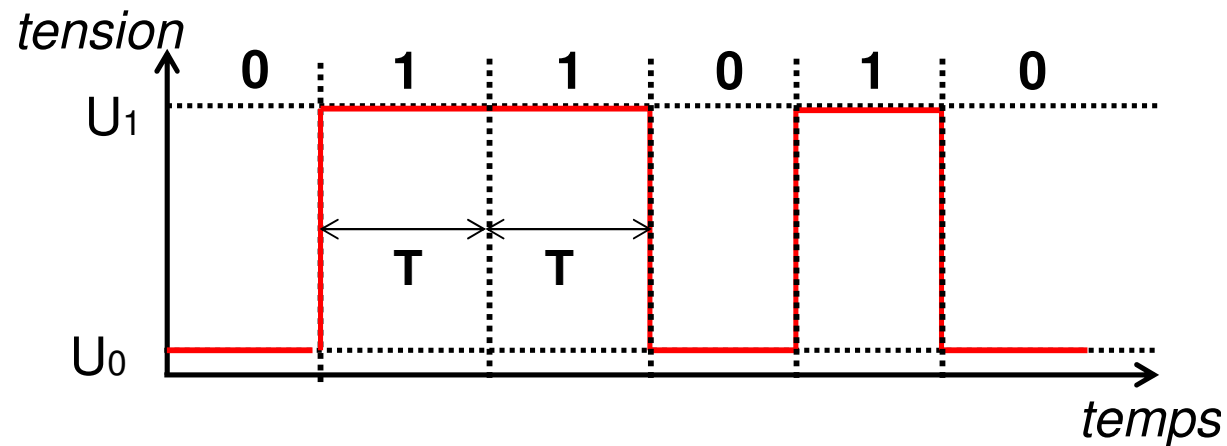
✓ Exemples de circuits intégrés



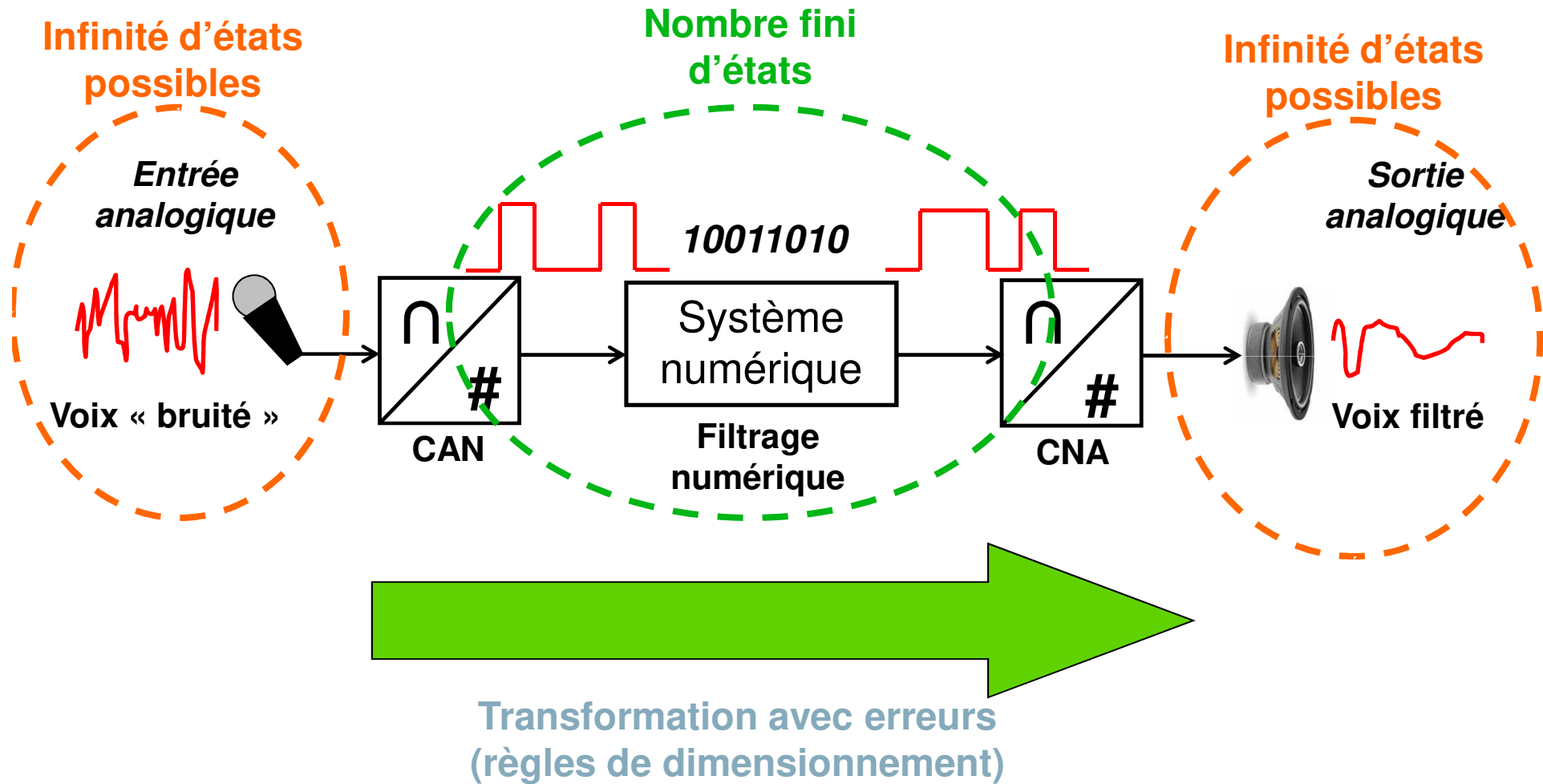
*64-bit microprocessor
Intel Hashwell 8 cores*



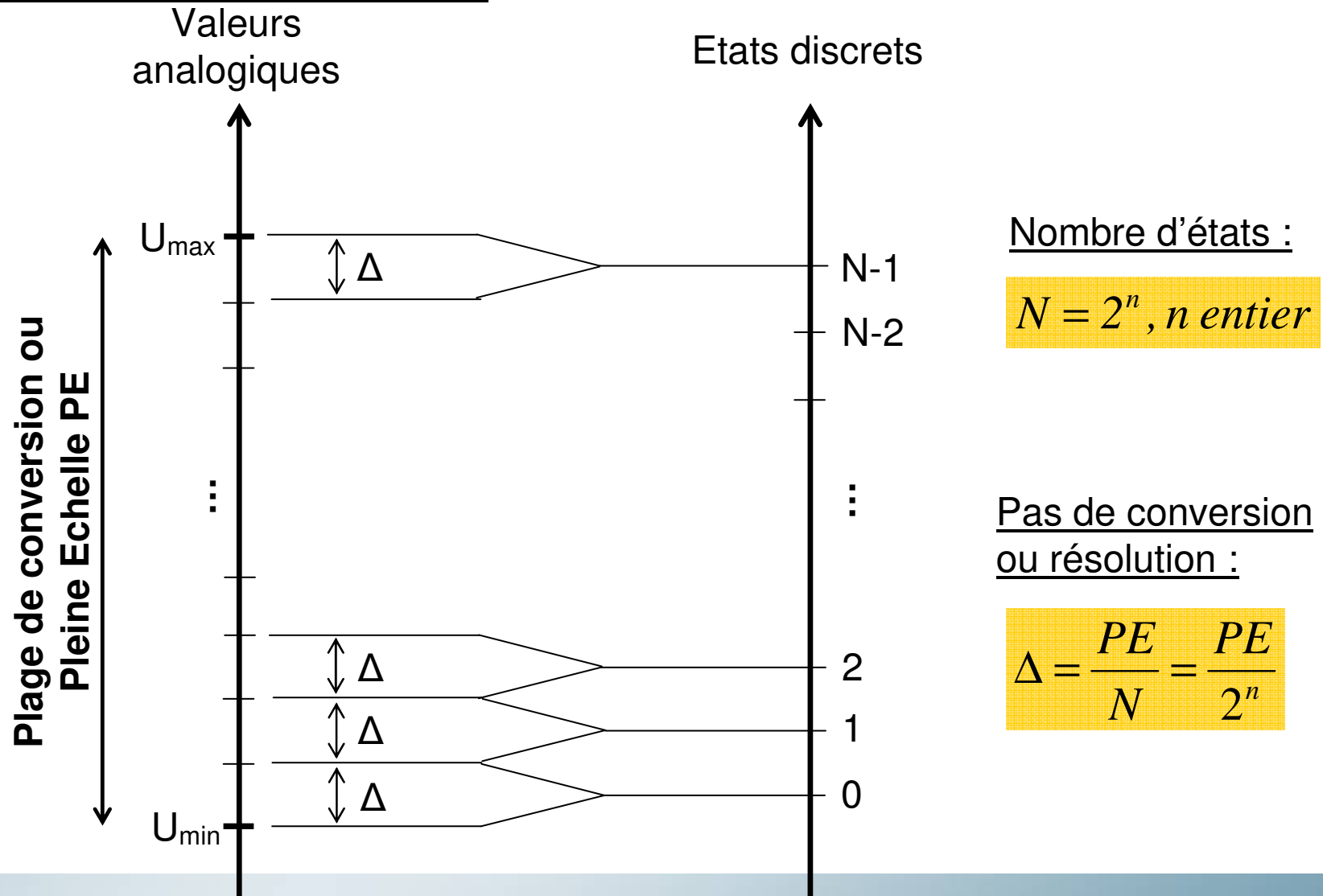
*Texas Instruments OMAP5432
(Application processors)*



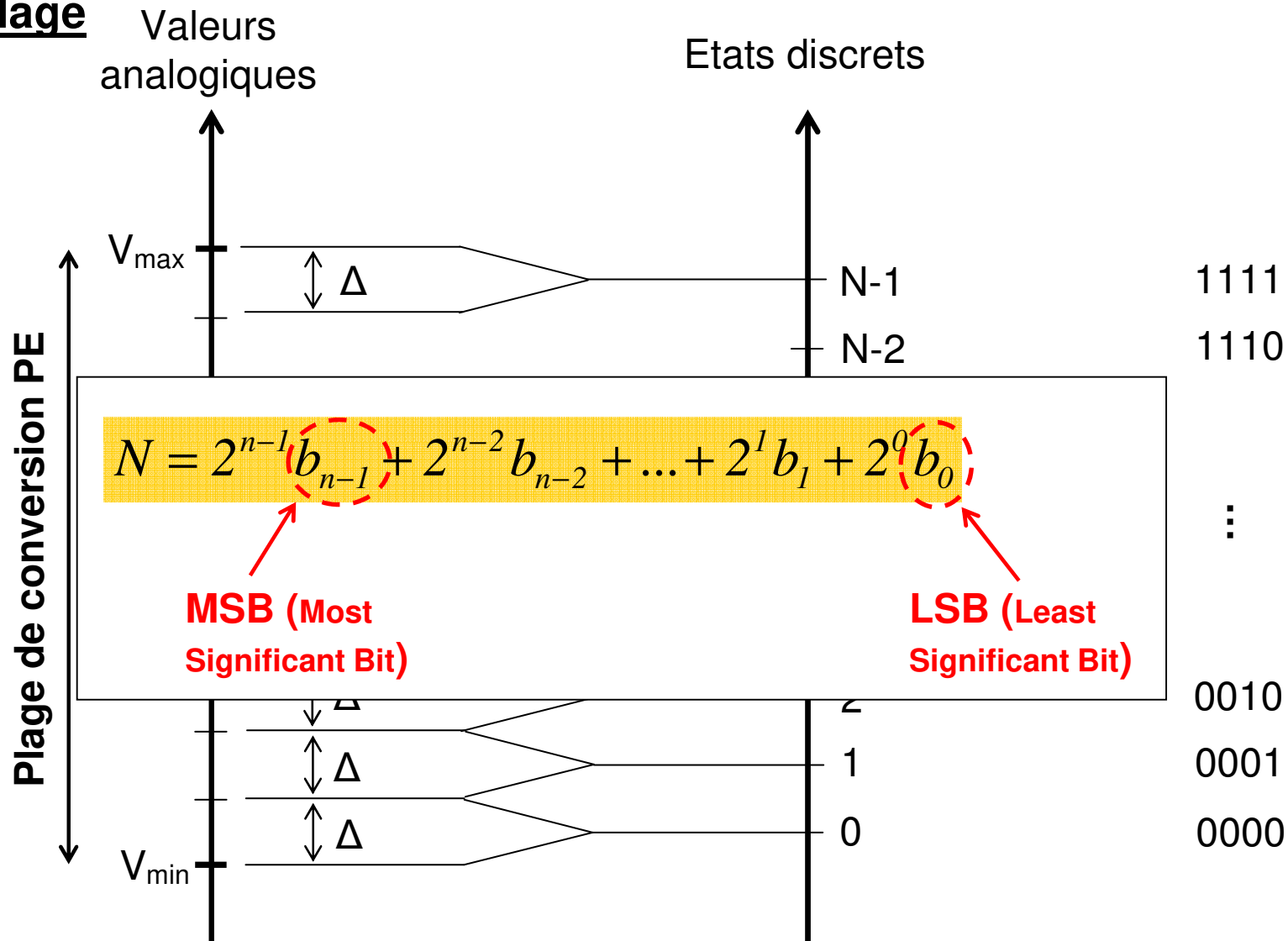
- ✓ Si la transmission des signaux binaires est cadencée à un rythme fixe de période T , le signal numérique est dit synchrone, produit par un circuit synchrone.
- ✓ Sinon, il s'agit d'un signal asynchrone, produit par un circuit asynchrone.



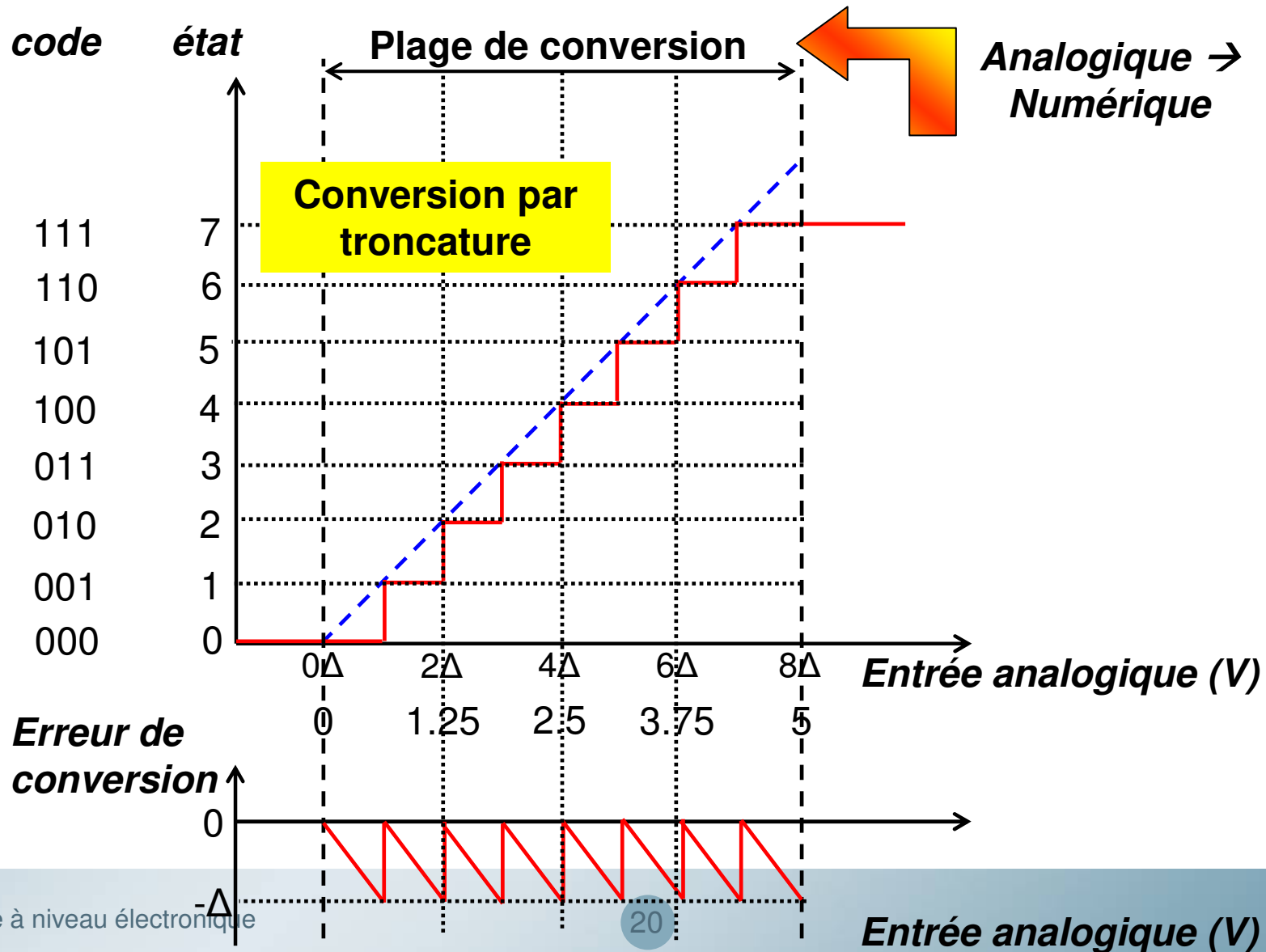
Quantification en amplitude



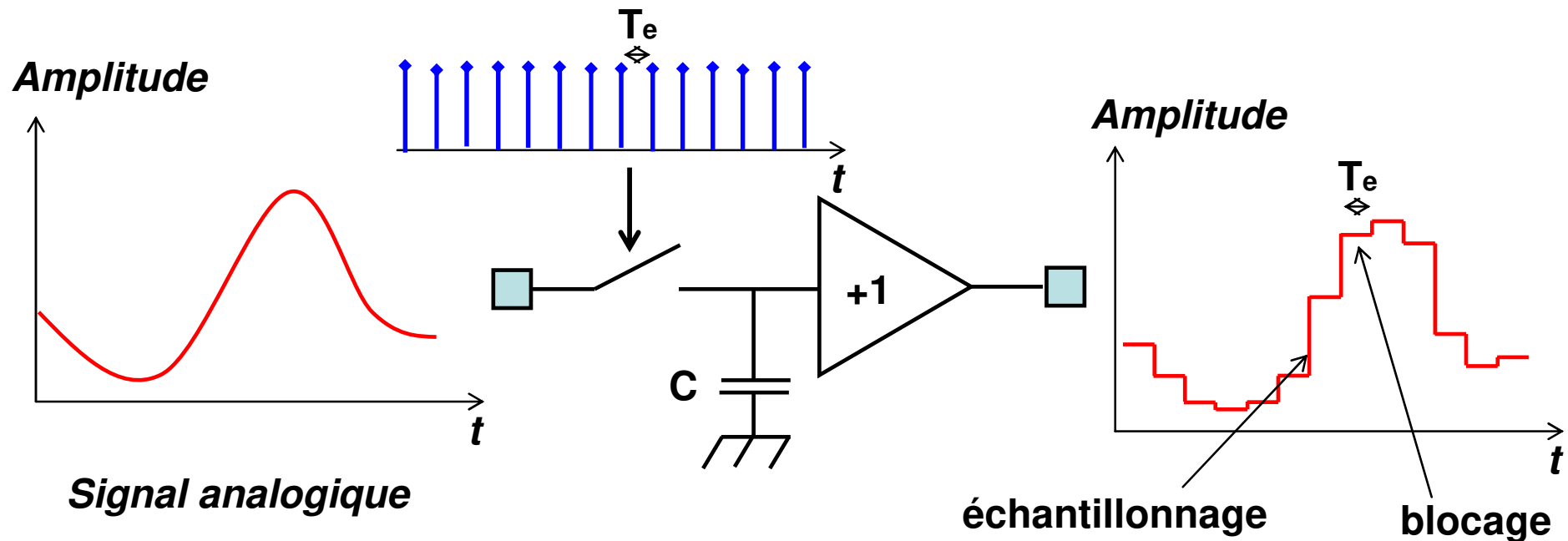
Codage



Erreur de conversion



Echantillonneur - bloqueur

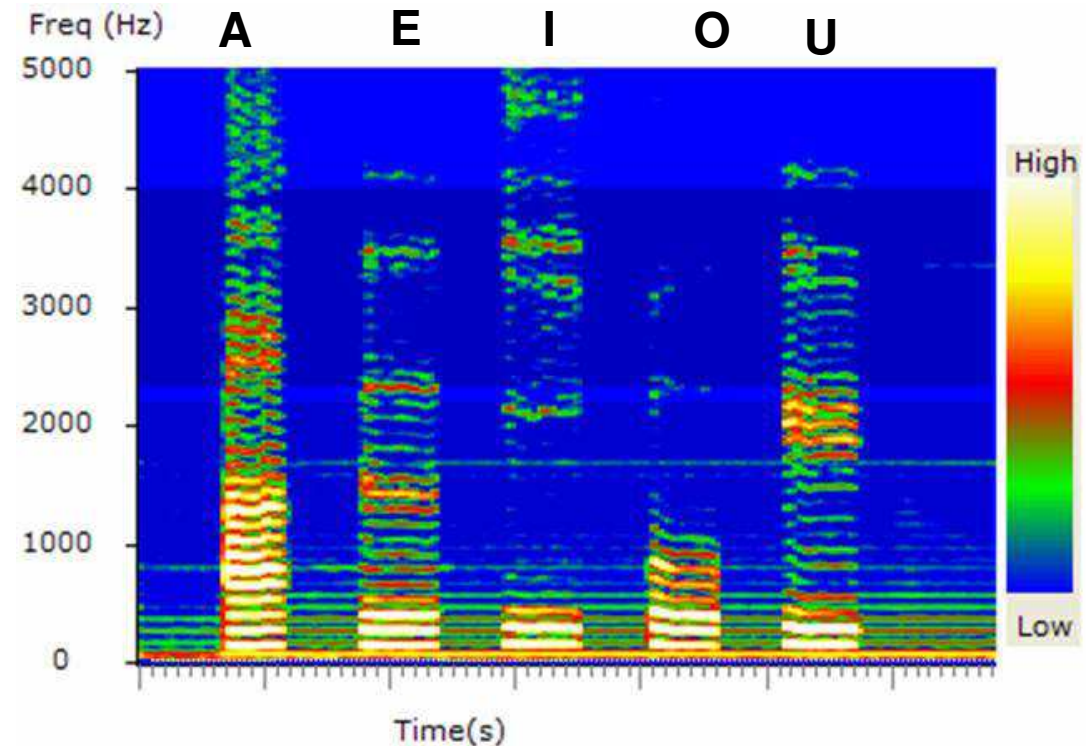


Fréquence d'échantillonnage F_e doit respecter le théorème de Nyquist-Shannon :

$$F_e = \frac{1}{T_e} \geq 2 \times f_{\max}$$

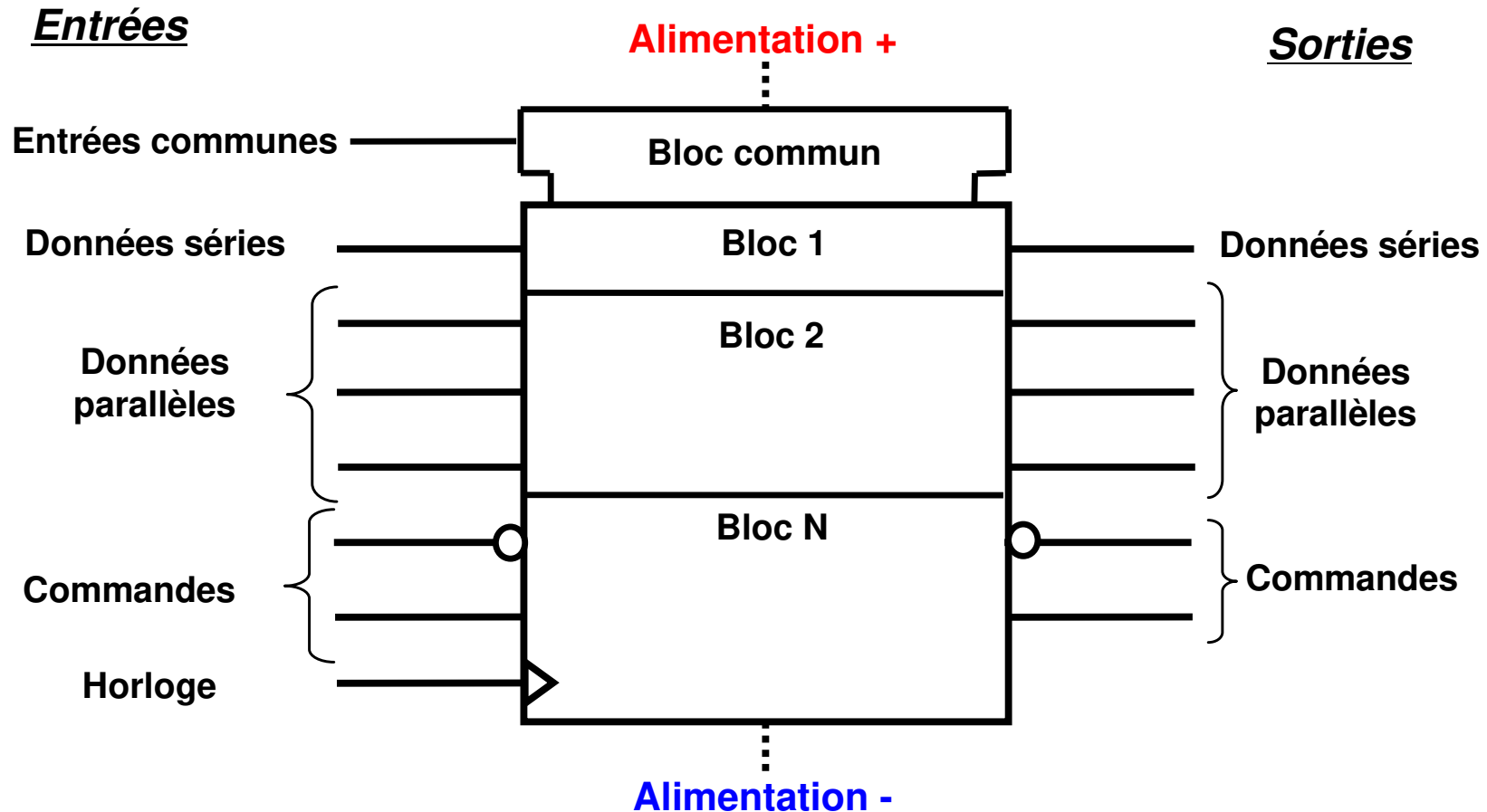
Exercice – Numérisation voix humaine

1. Fréquence d'échantillonnage minimum ?
2. On veut une erreur de conversion $< 0.5\%$ de la PE. Sur quel nombre de bits doit-on coder les échantillons ?
3. Quelle est la résolution sachant que la PE du CAN est compris entre 0 et 5 V ?



4. Le CAN renvoie le mot 0x1001 0110. Quelle tension était appliquée en entrée du CAN ? Peut-on la connaître avec précision ?
5. Quel est le débit binaire en sortie du CAN ?

Structure générale d'un circuit numérique



- Négation logique en entrée/sortie
- ▷ Entrée dynamique (active sur front)

Etats logiques

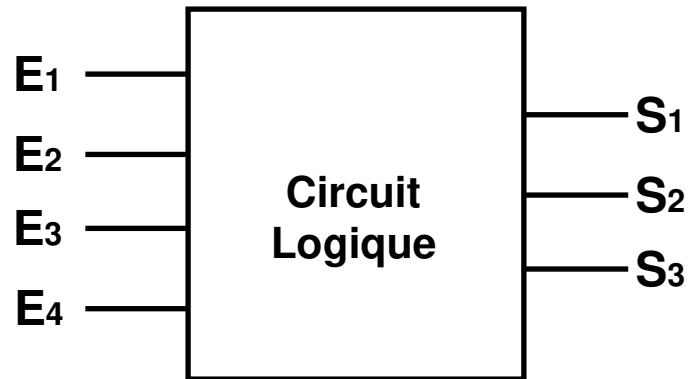
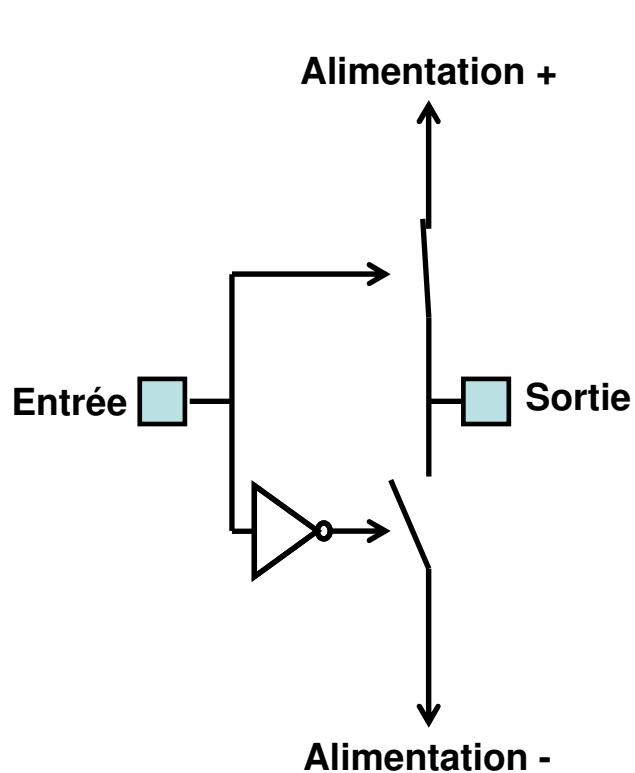


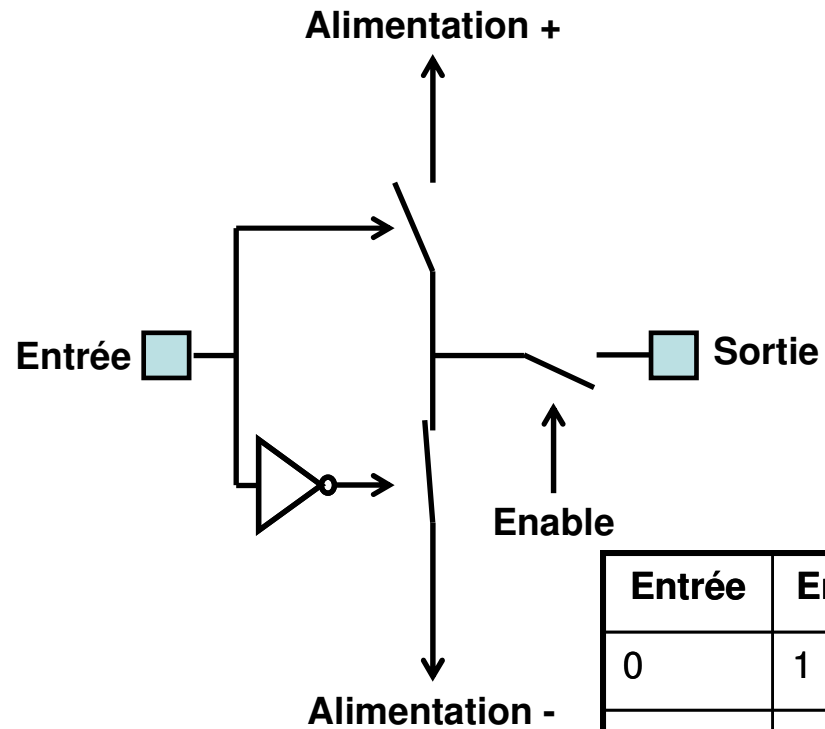
Table de vérité

| E_1 | E_2 | ... | E_n | S_1 | S_2 | ... |
|-------|-------|-----|-------|-------|-------|-----|
| 0 | 0 | | 0 | 0 | 1 | |
| 1 | 0 | | 0 | 0 | 0 | |
| 1 | 1 | | 0 | X | 0 | |
| | | | | | | |
| 1 | 1 | | 1 | 1 | X | |

Sorties totem pole vs 3 états



Sortie Totem pole

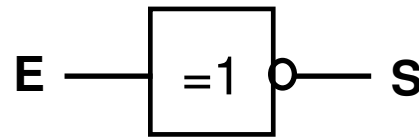
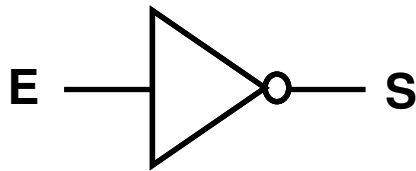


| Entrée | Enable | Sortie |
|--------|--------|--------|
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |
| X | 0 | Z |

Sortie 3 états

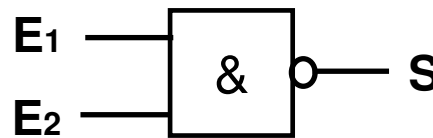
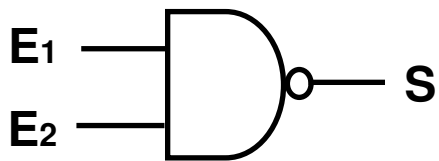
Portes à logique combinatoire

Inverseur $S = \overline{E}$



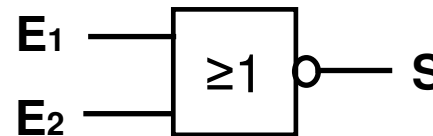
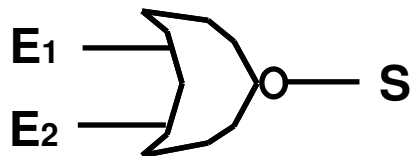
| E | S |
|---|---|
| 0 | 1 |
| 1 | 0 |

Porte NAND $S = \overline{E_1 \cdot E_2}$



| E1 | E2 | S |
|----|----|---|
| 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 |

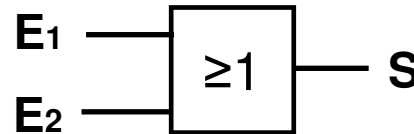
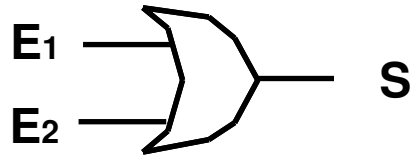
Porte NOR $S = \overline{E_1 + E_2}$



| E1 | E2 | S |
|----|----|---|
| 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 |

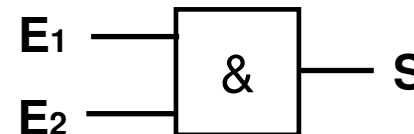
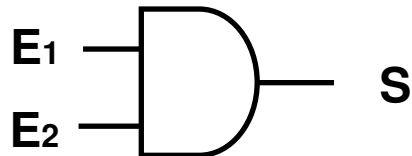
Portes à logique combinatoire

Ou $S = E_1 + E_2$



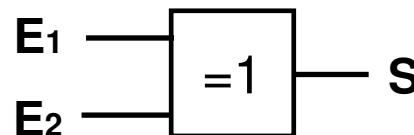
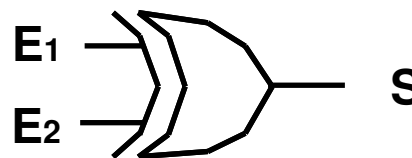
| E1 | E2 | S |
|----|----|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 |

Et $S = E_1 \cdot E_2$



| E1 | E2 | S |
|----|----|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |

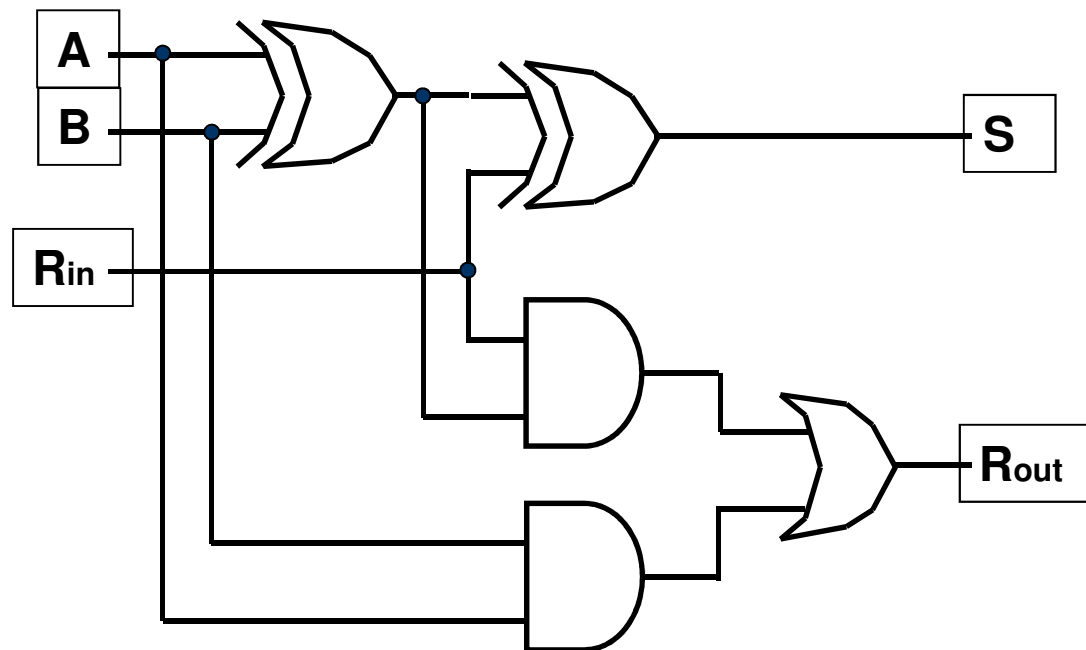
Ou exclusif (XOR) $S = E_1 \oplus E_2$



| E1 | E2 | S |
|----|----|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 |

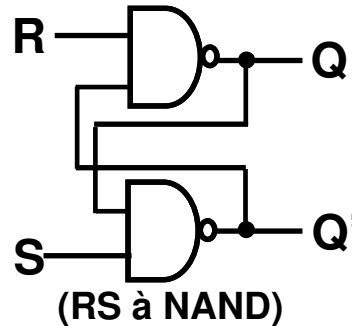
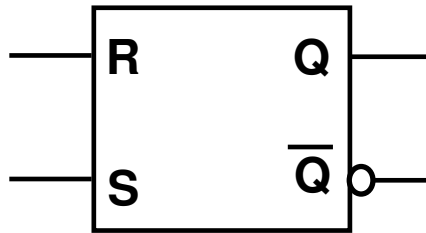
Portes à logique combinatoire

- ✓ Table de vérité de ce circuit ?
- ✓ Identifier sa fonction
- ✓ Que se passe t-il si on connecte en cascade ce circuit ?



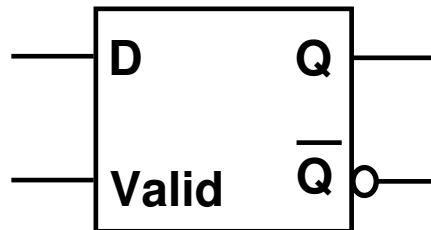
Portes à logique séquentielle – Bascules asynchrones

RS (Reset/Set)



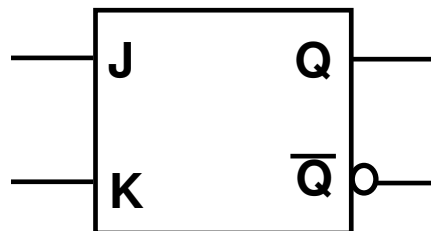
| R | S | Q_{N+1} | Q'_{N+1} |
|---|---|-----------|------------|
| 0 | 0 | Interdit | |
| 0 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | Q_N | Q'_N |

D (Data)



| D | Valid | Q_{N+1} | Q'_{N+1} |
|---|-------|-----------|------------|
| 0 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 1 |
| X | 0 | Q_N | Q'_N |

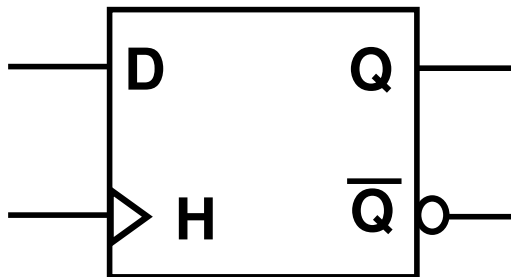
JK



| J | K | Q_{N+1} | Q'_{N+1} |
|---|---|-----------|------------|
| 0 | 0 | Q_N | Q'_N |
| 0 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | Q'_N | Q_N |

Portes à logique séquentielle – Bascules synchrones

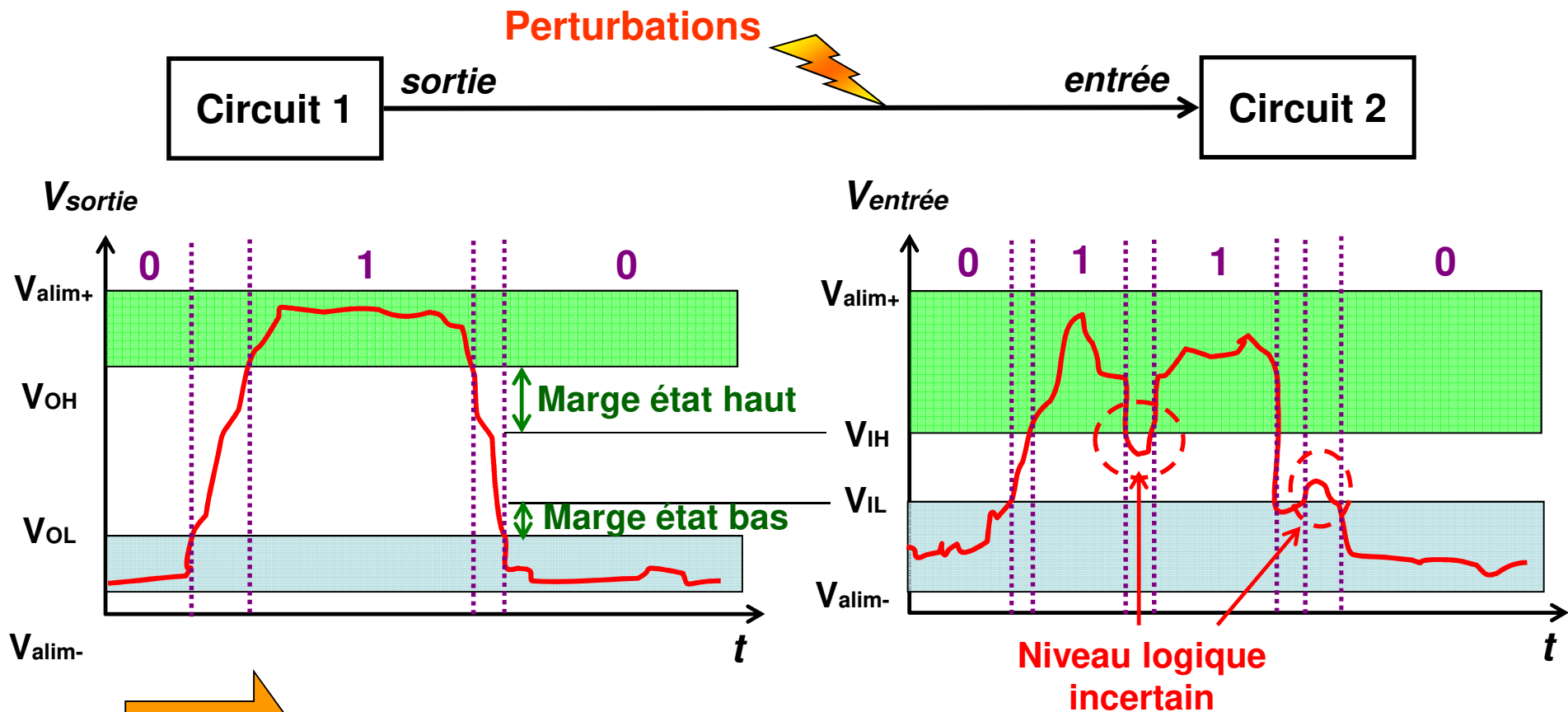
D à déclenchement



| D | H | Q_{N+1} | Q'_{N+1} |
|---|---|-----------|------------|
| 0 | ↑ | 1 | 0 |
| 1 | ↑ | 0 | 1 |
| X | ↓ | Q_N | Q'_N |

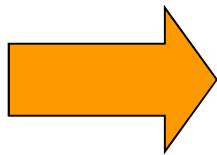
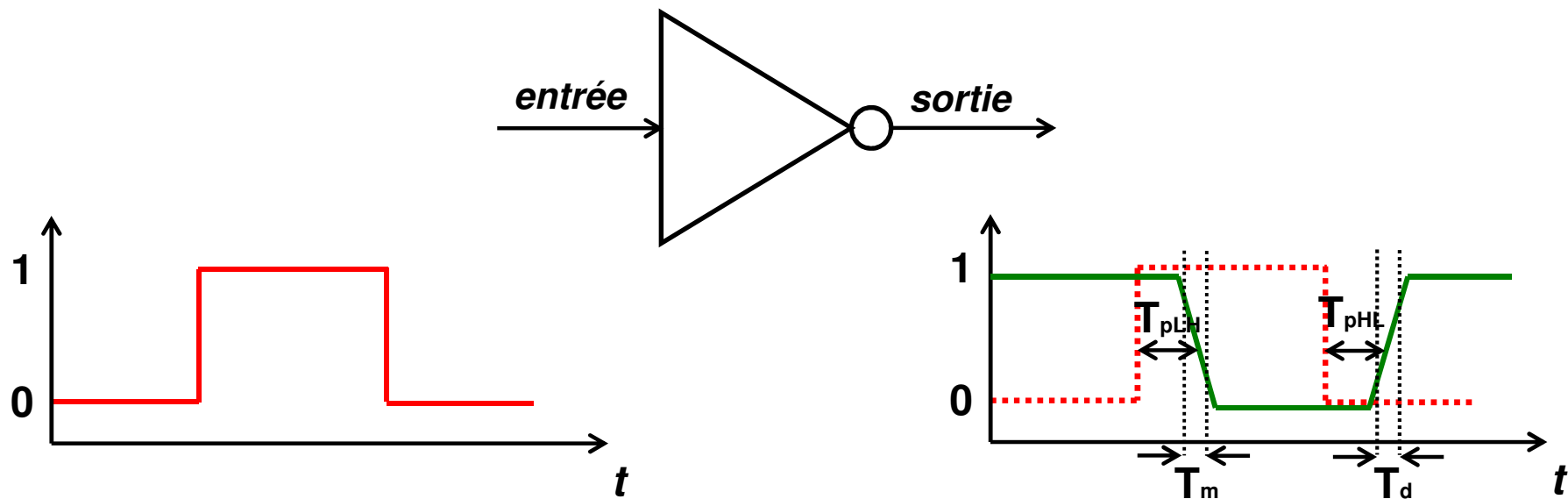
Niveaux logiques et marges de bruit

- ✓ Un signal numérique est associé à un état binaire si il appartient à une plage de tension, dépendante de la technologie.



Temps de commutation et de propagation

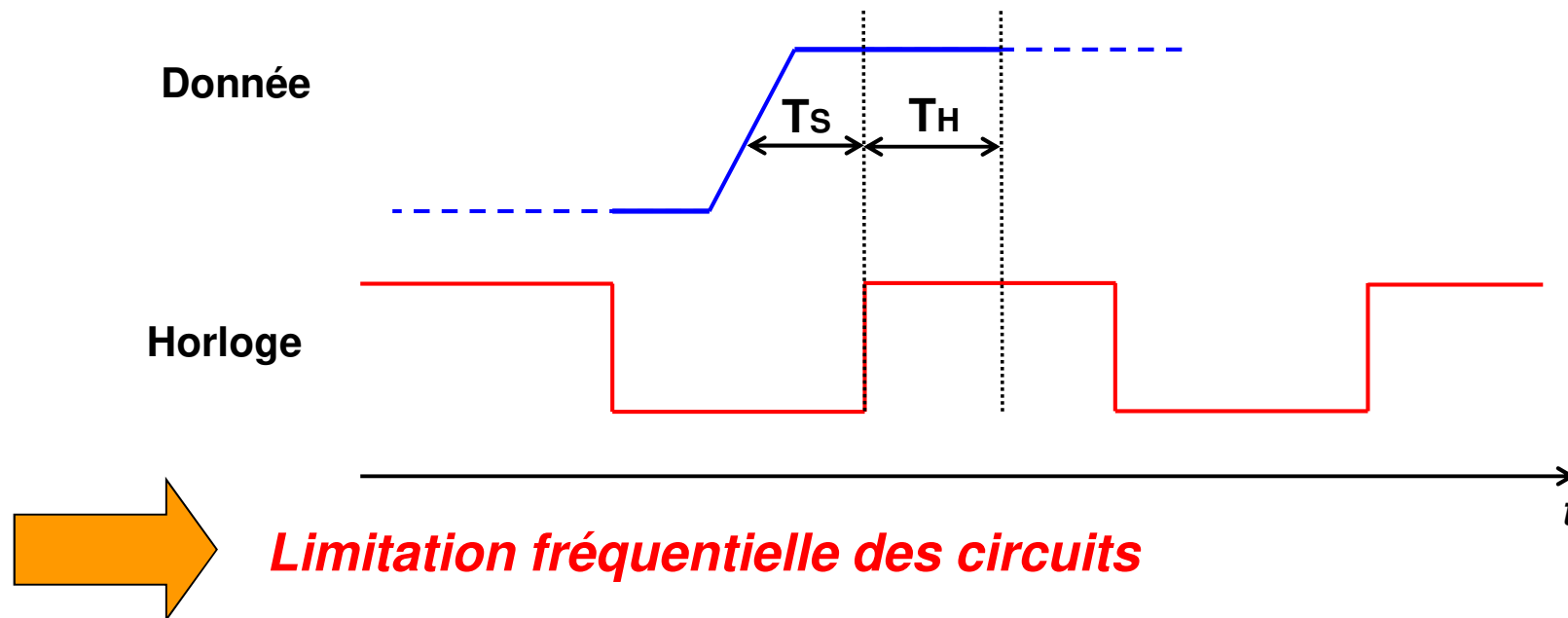
- Les circuits numériques présentent une certaine inertie face au changement. Leur réaction n'est pas instantanée.
- Les circuits numériques ont un comportement « passe bas » qui retardent la propagation des signaux.



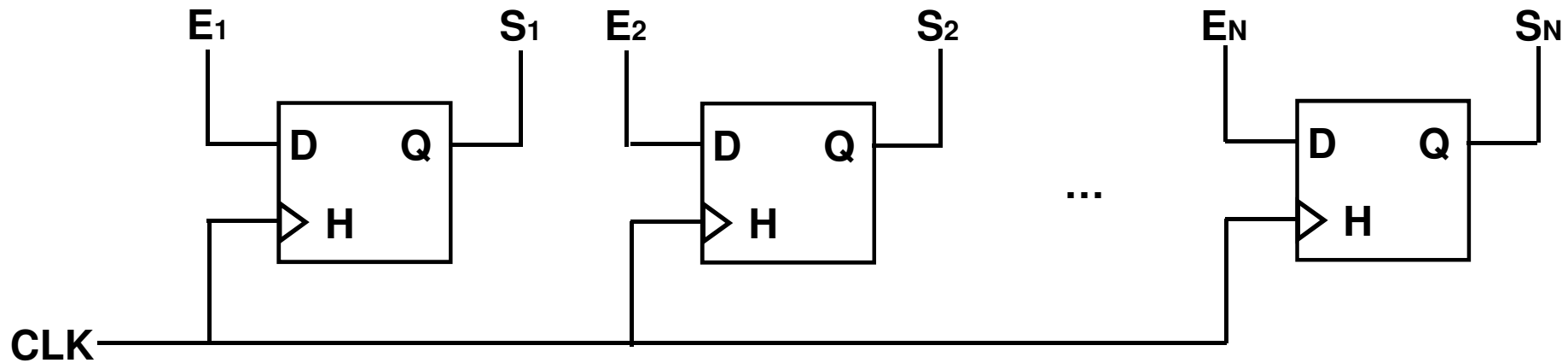
PROBLEMES ?

Temps de stabilisation / de maintien

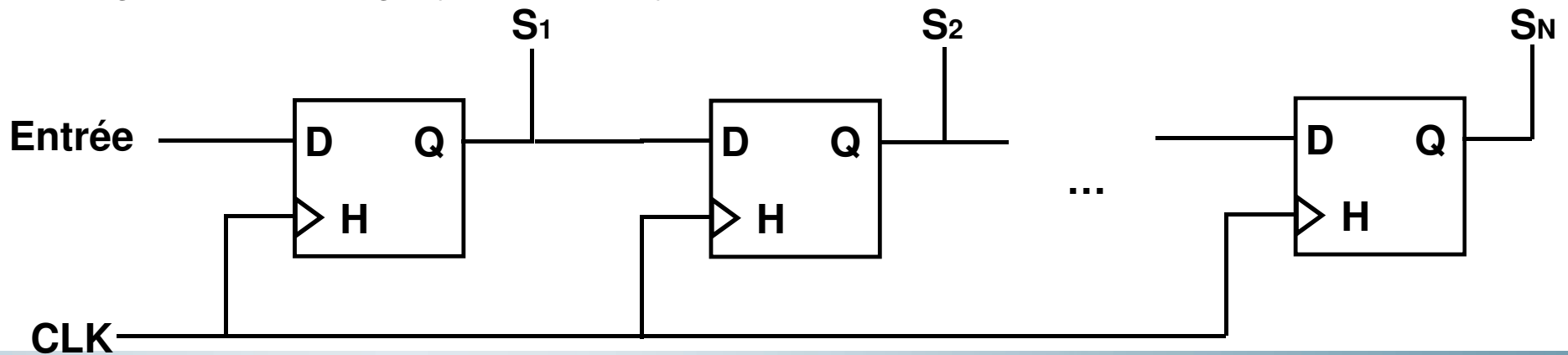
- Les limitations temporelles des circuits numériques imposent le respect de délais à assurer entre les signaux afin d'éviter toute erreur logique :
 - ✓ Temps de stabilisation t_s
 - ✓ Temps de maintien t_m



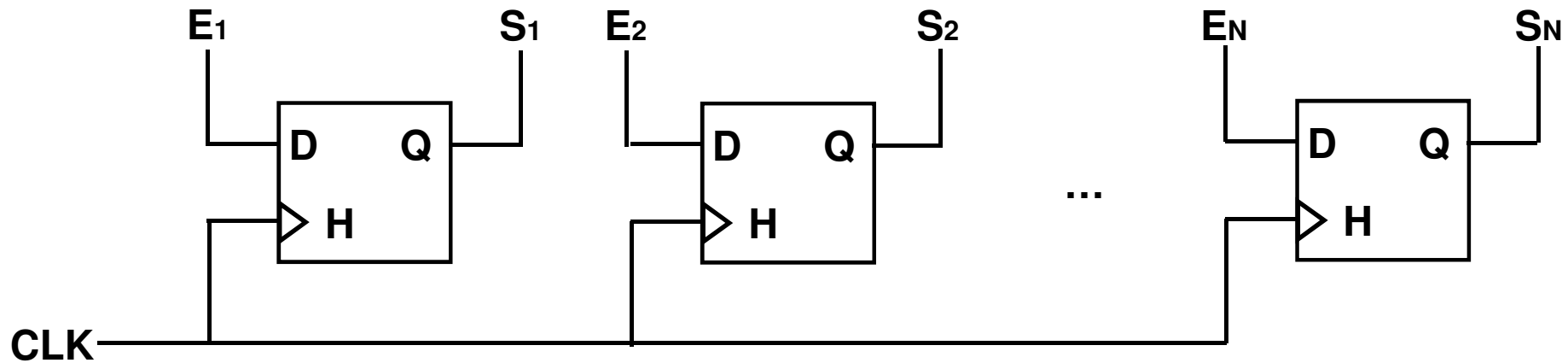
- Registre (entrées parallèles)



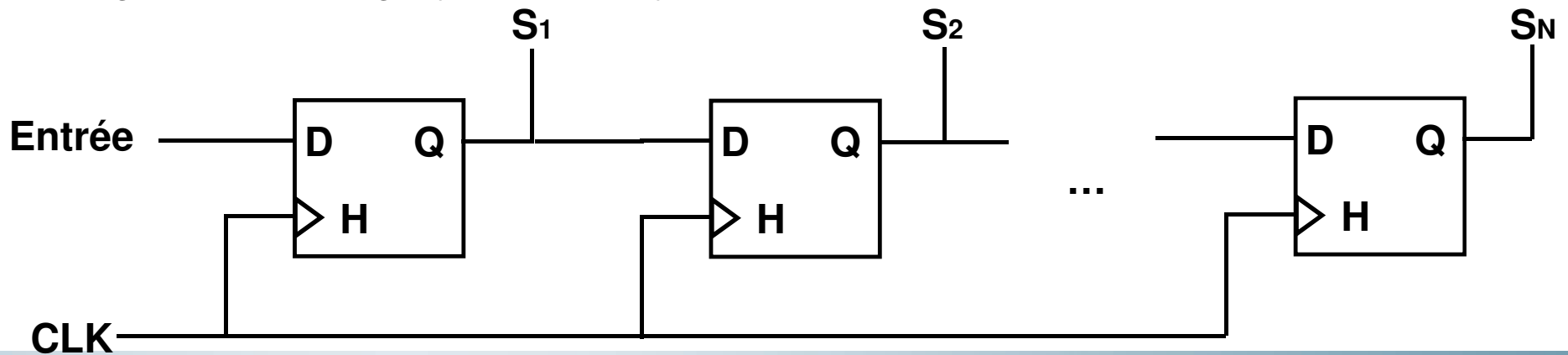
- Registre à décalage (entrée série)



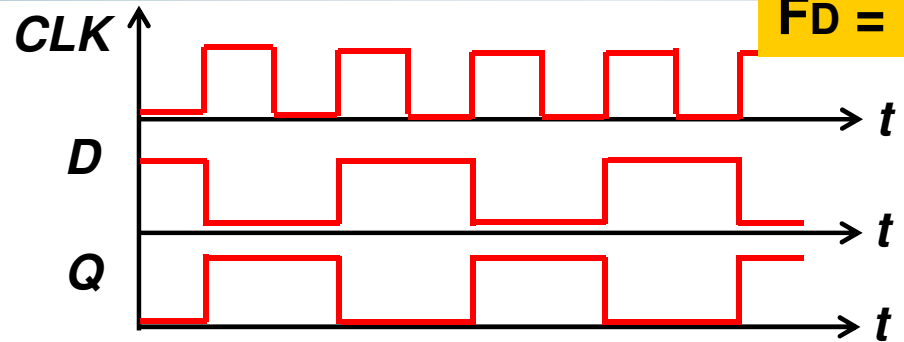
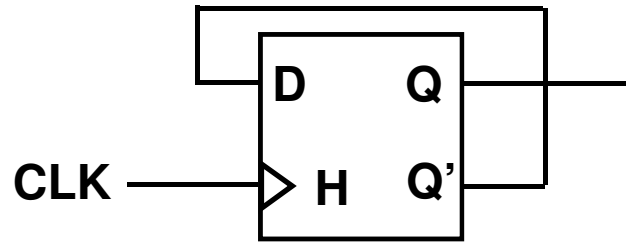
- Registre (entrées parallèles)



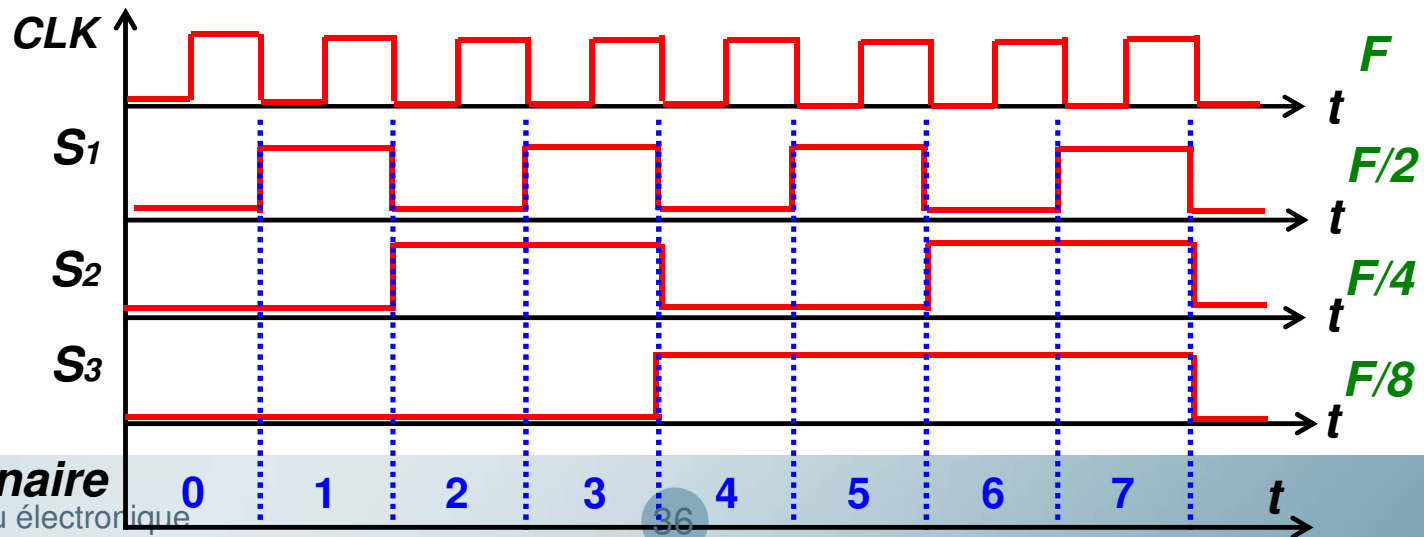
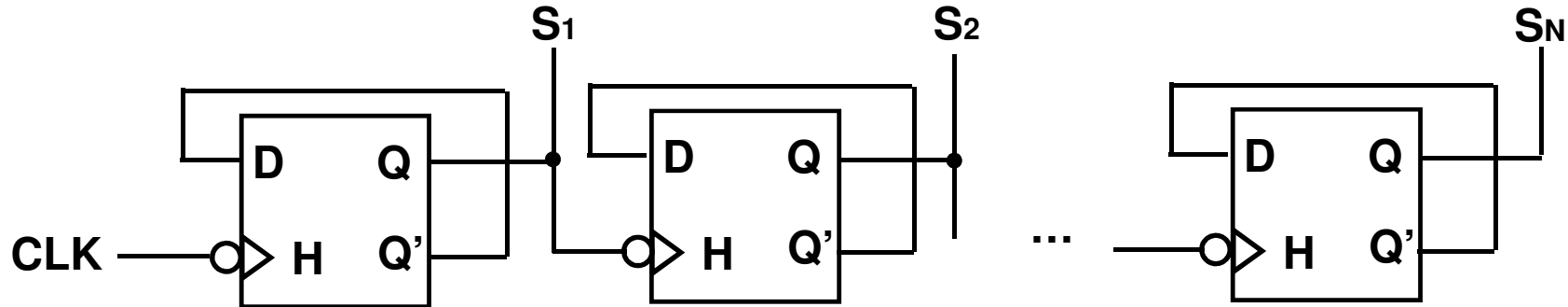
- Registre à décalage (entrée série)



Compteur asynchrone



$FD = F_{CLK}/2$



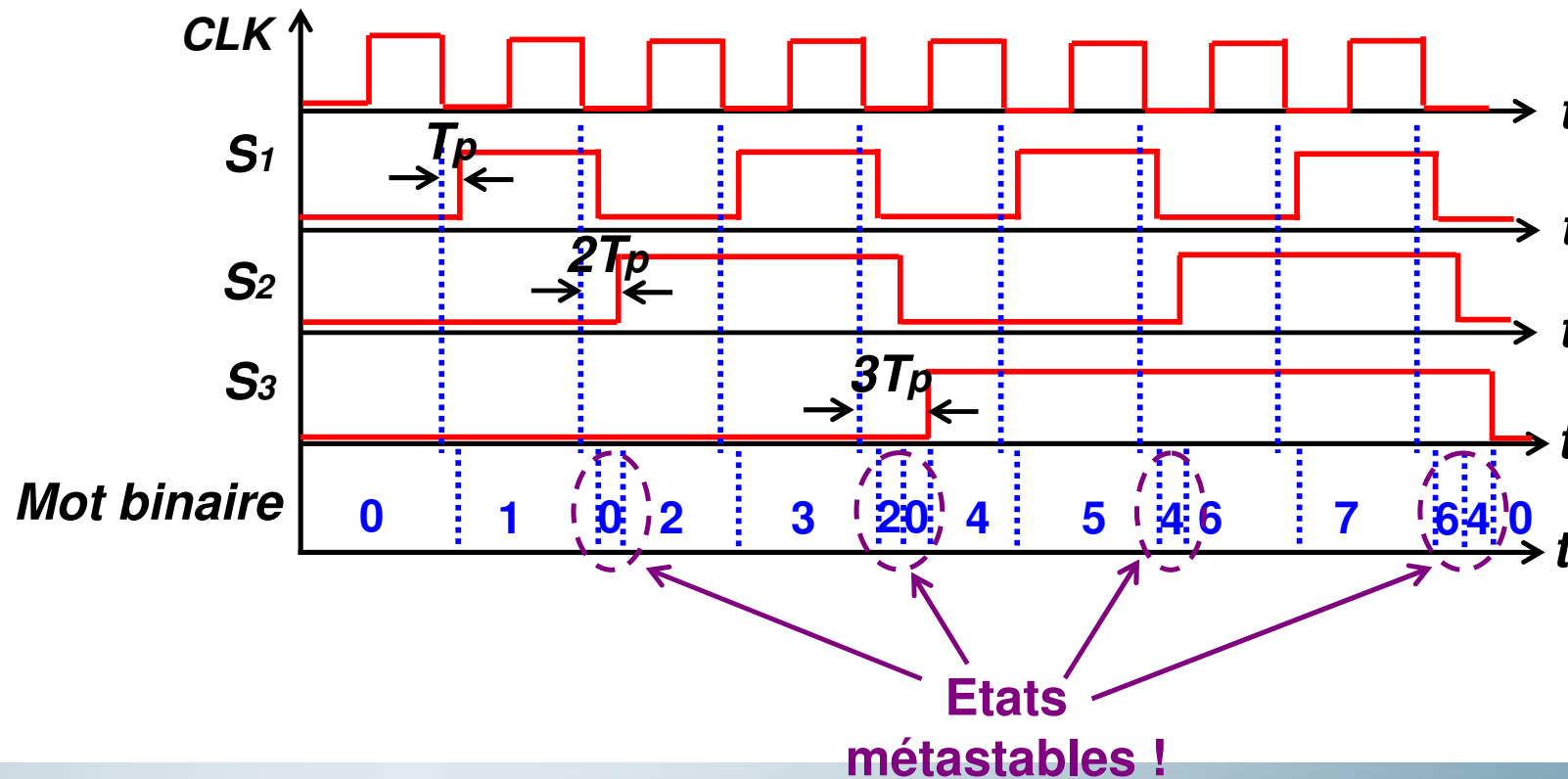
Mot binaire

Remise à niveau électronique

Compteur asynchrone

Fréquence max. de fonctionnement pour un compteur à N bascules :

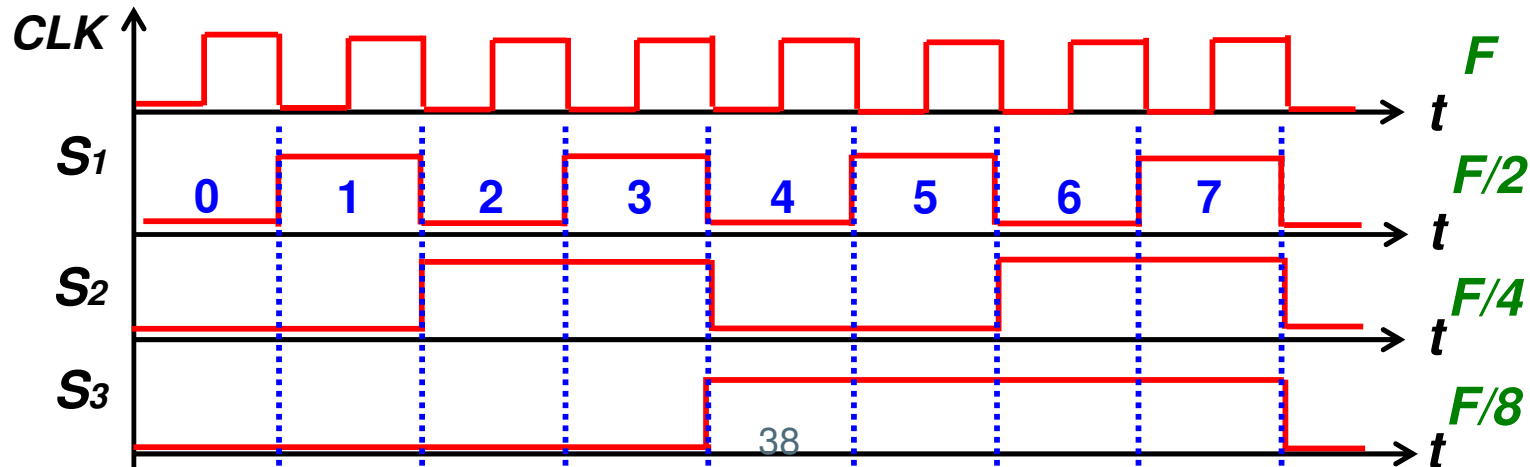
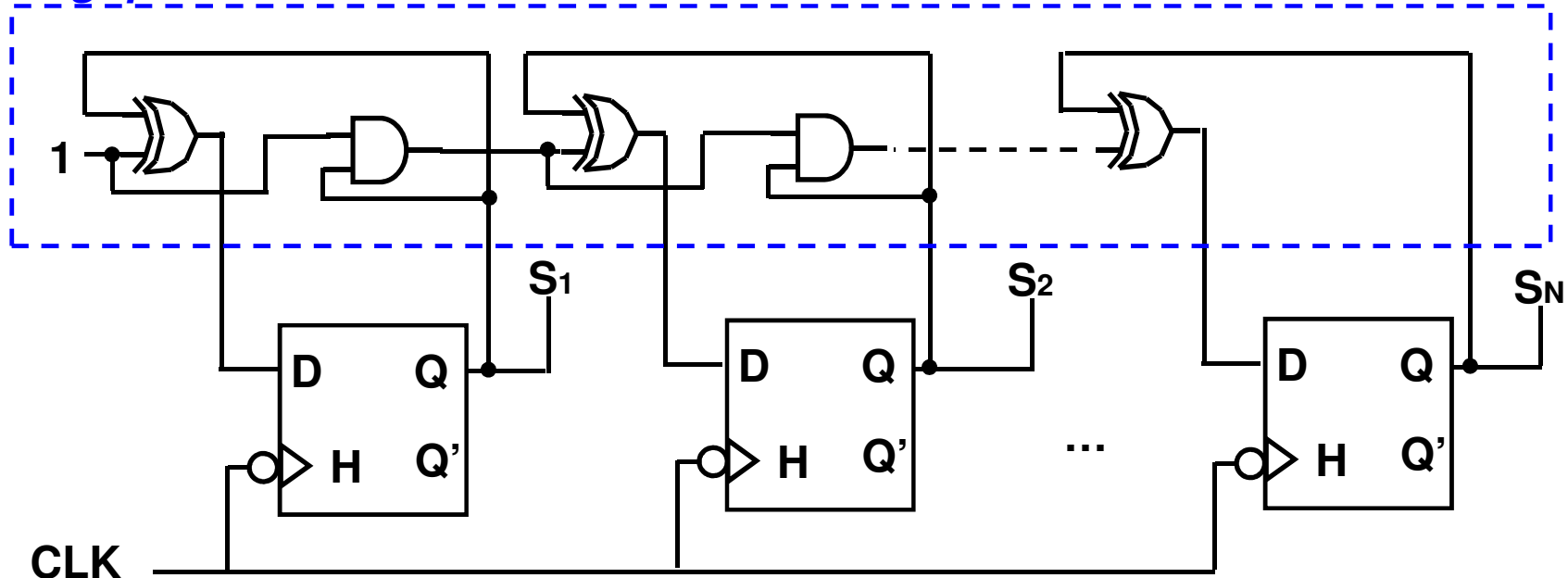
$$F_{max} = \frac{1}{(N - 1) \times T_p}$$



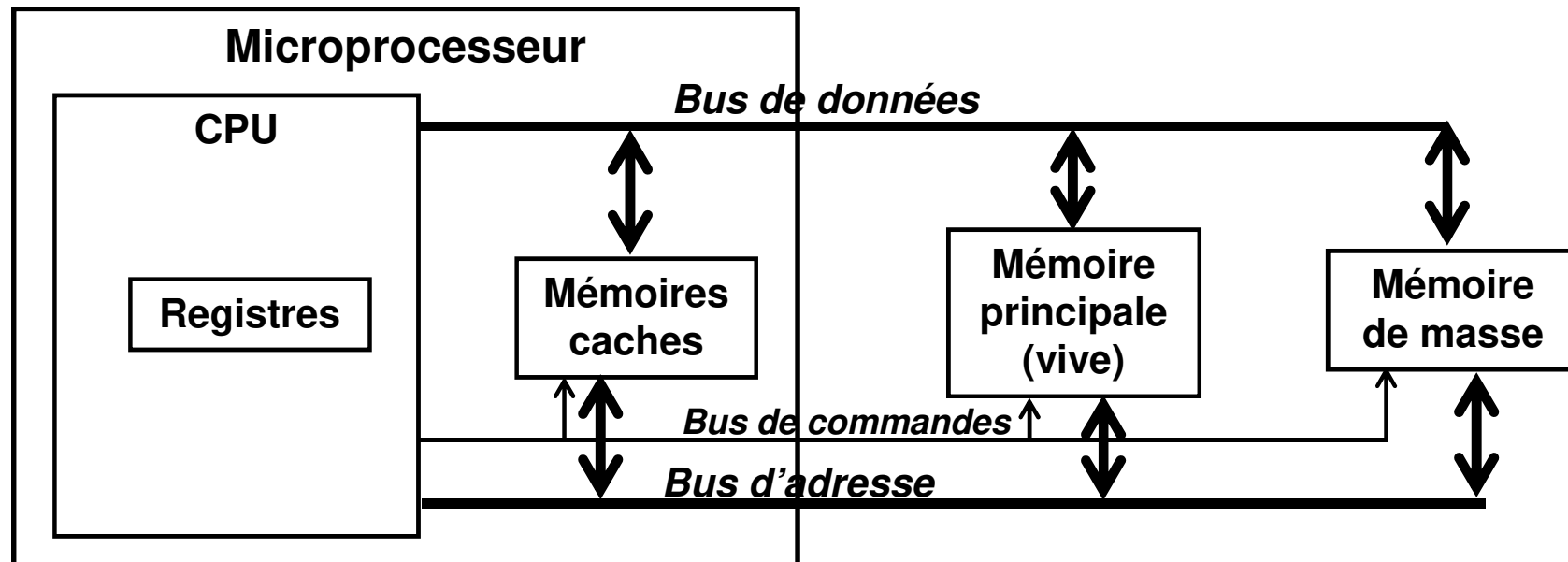
Compteur synchrone

Logique combinatoire

$$F_{max} = \frac{1}{T_{pD} + T_{pXOR} + T_{pAND}}$$



Hierarchie de mémoires



Architecture d'une mémoire

