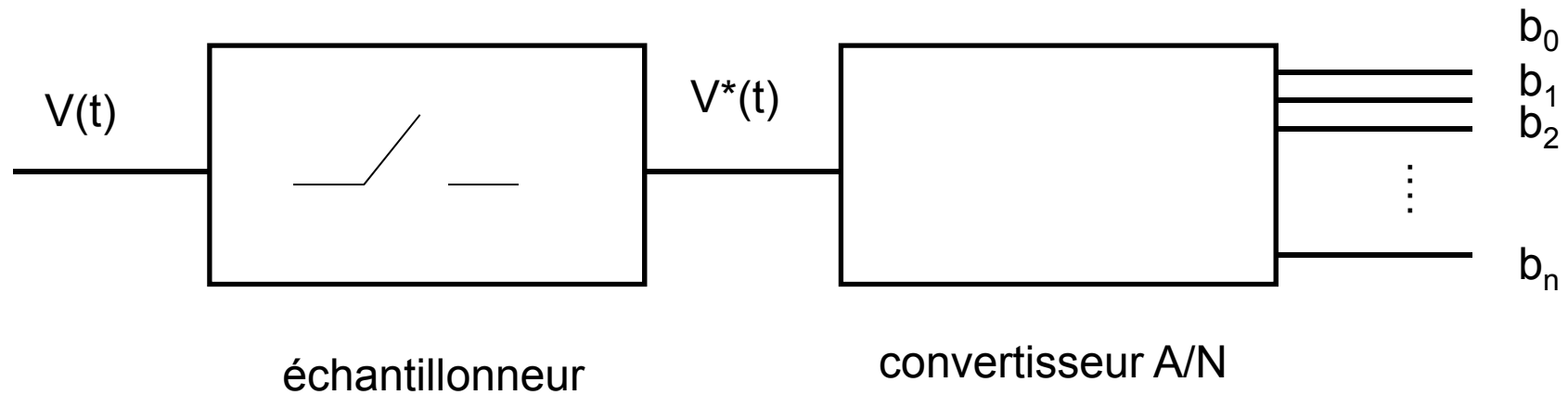


# Numérisation des signaux analogiques

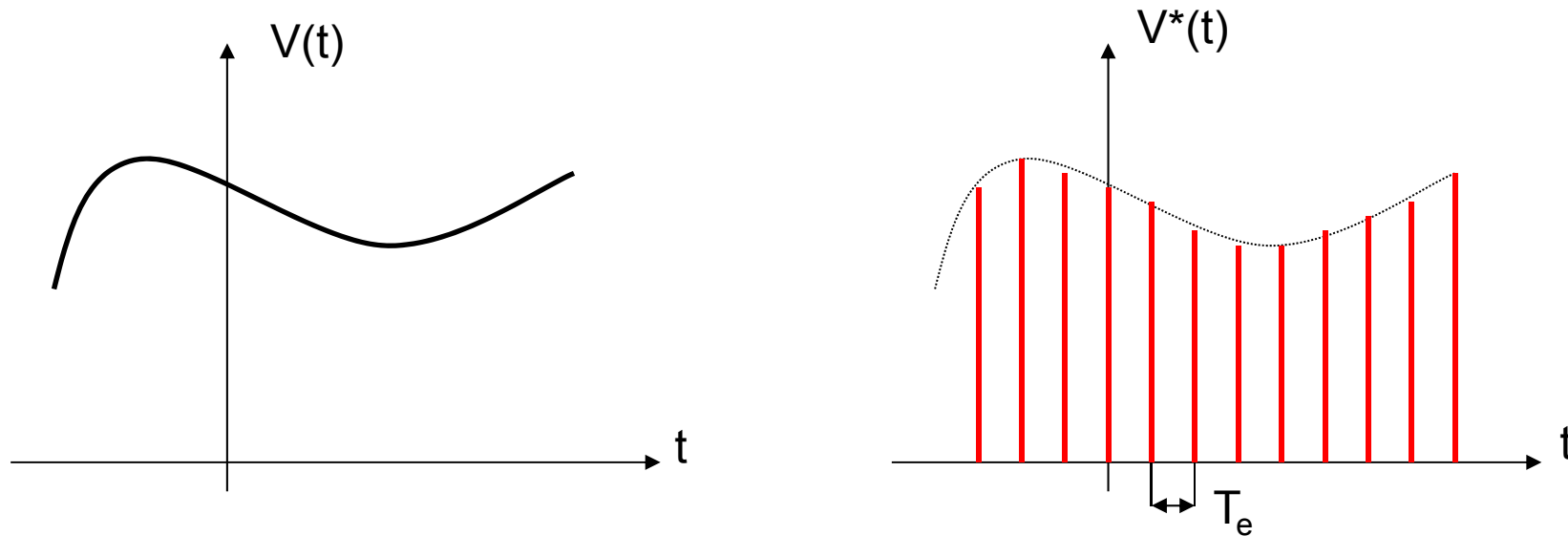
# Echantillonnage

L'échantillonnage est la première étape du processus de numérisation des signaux analogiques



# Echantillonnage idéal

Cette opération consiste à prendre la valeur instantanée du signal à des instants séparés par un temps constant  $T_e$ .



$$V^*(t) = 0 \text{ si } t \neq kT_e \quad \text{et} \quad V^*(t) = v(t) \text{ si } t = kT_e$$

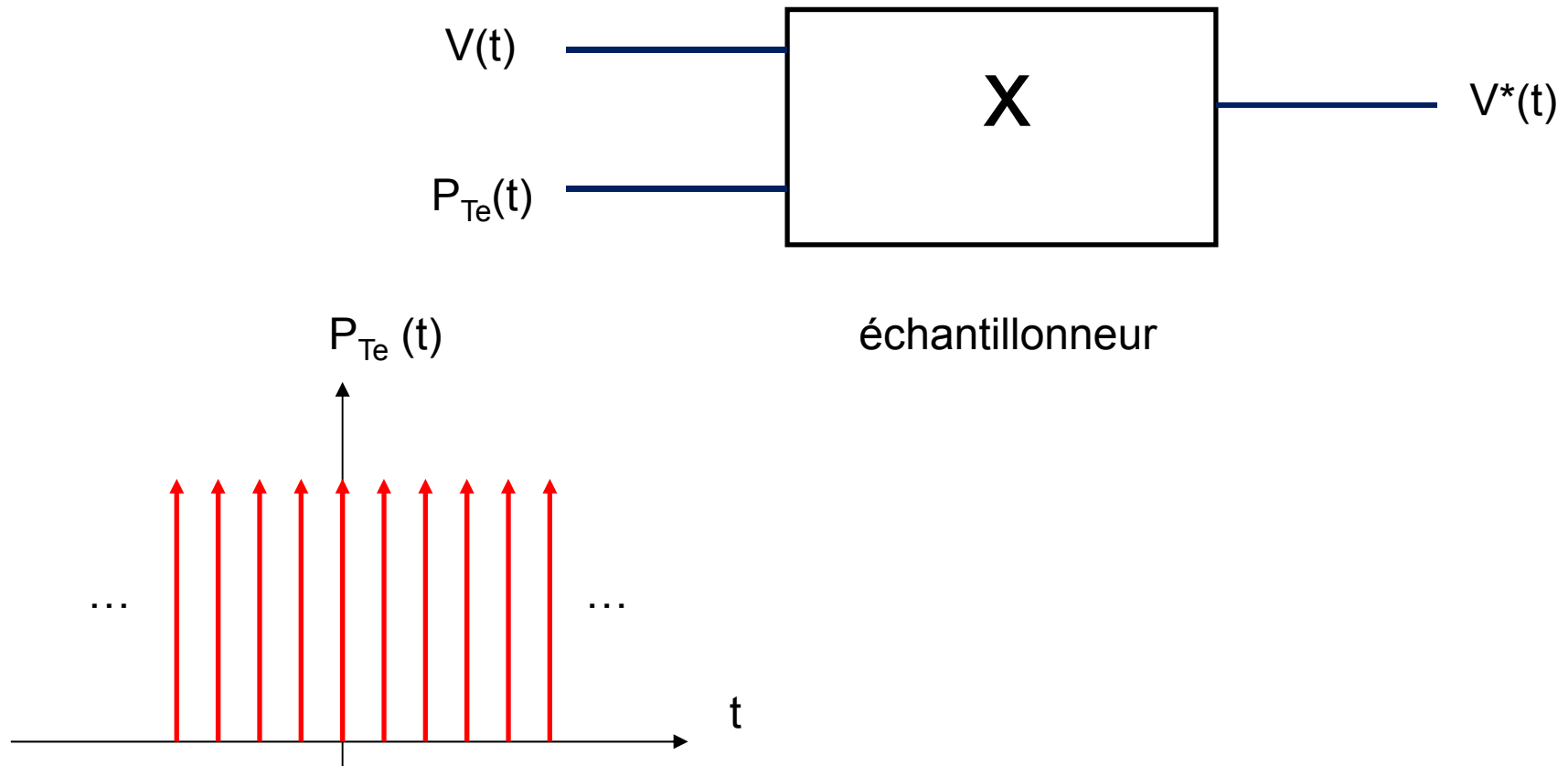
# Echantillonnage idéal

$T_e$  est appelée période d'échantillonnage

$f_e = 1/T_e$  est la fréquence d'échantillonnage

# Echantillonnage idéal

Il s'agit d'une simple multiplication entre  $v(t)$  et une fonction  $P_{Te}(t)$ .

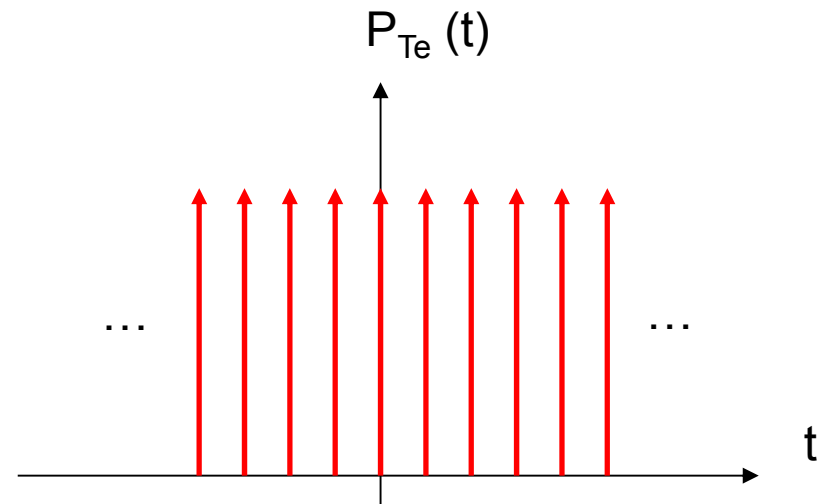


# Echantillonnage: notation mathématique

$$v^*(t) = \sum_{k=-\infty}^{k=+\infty} v(t) \times \delta(t - kT_e) = v(t) \times \sum_{k=-\infty}^{k=+\infty} \delta(t - kT_e)$$

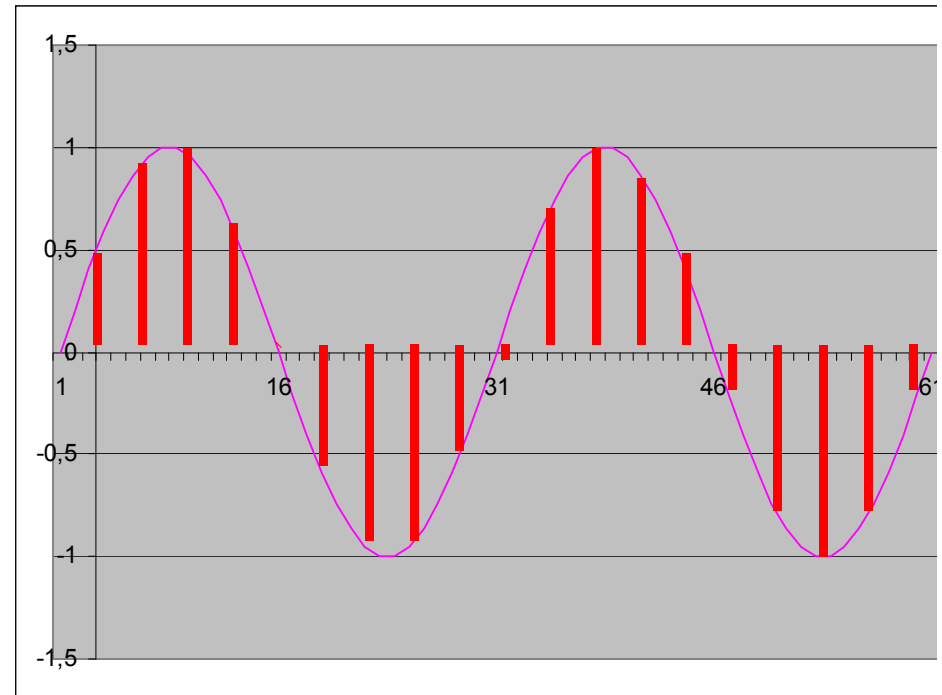
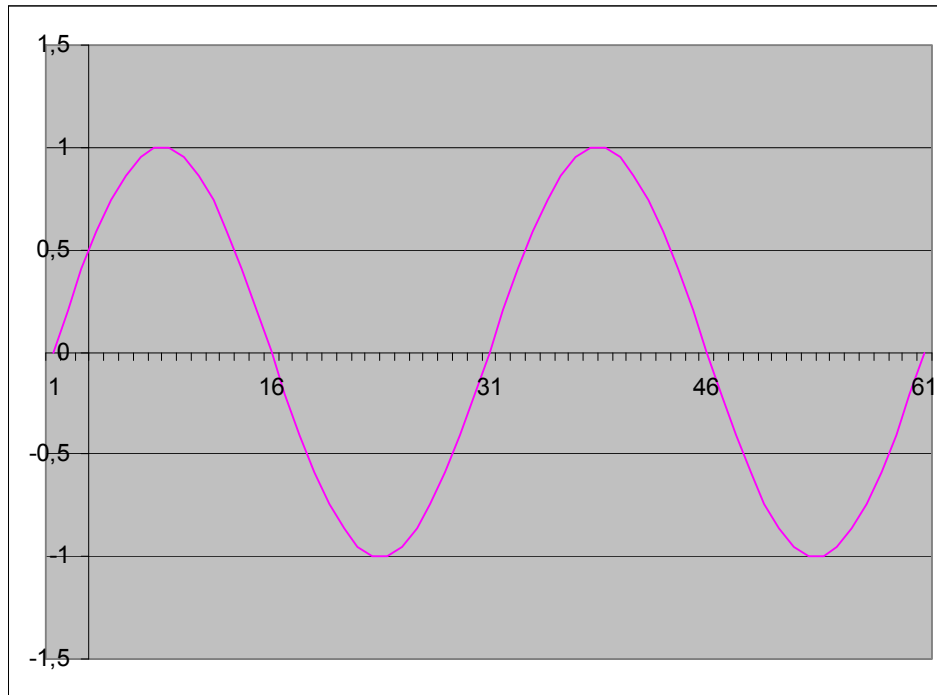
$$v^*(t) = v(t) \times P_{T_e}(t)$$

Un signal échantillonné est le produit du signal de départ par une suite périodique d'impulsion (peigne)



# Echantillonnage idéal

Un exemple : signal sinusoïdal



# Représentation fréquentielle

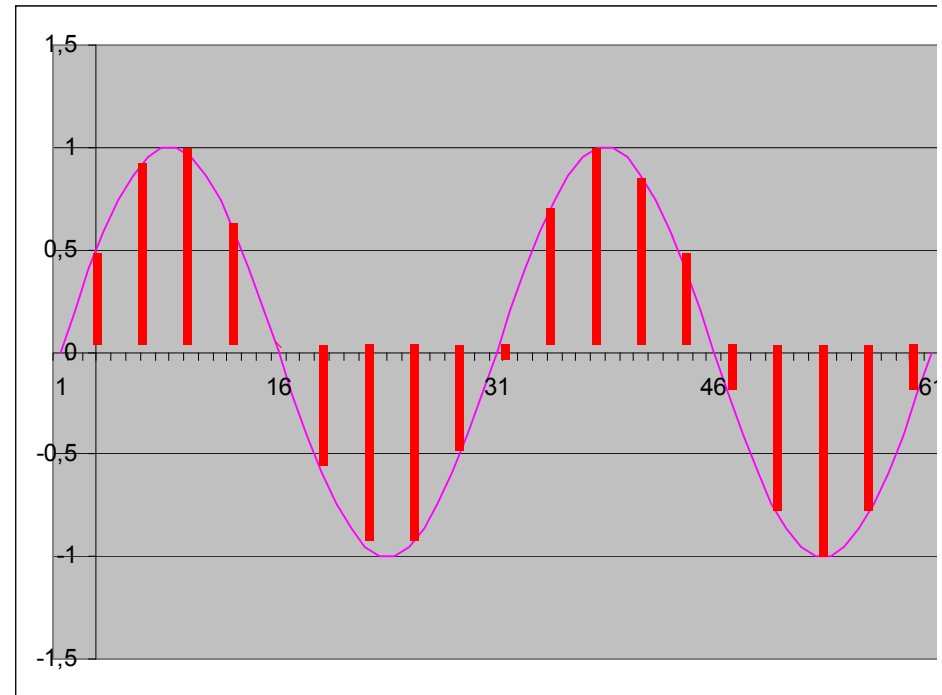
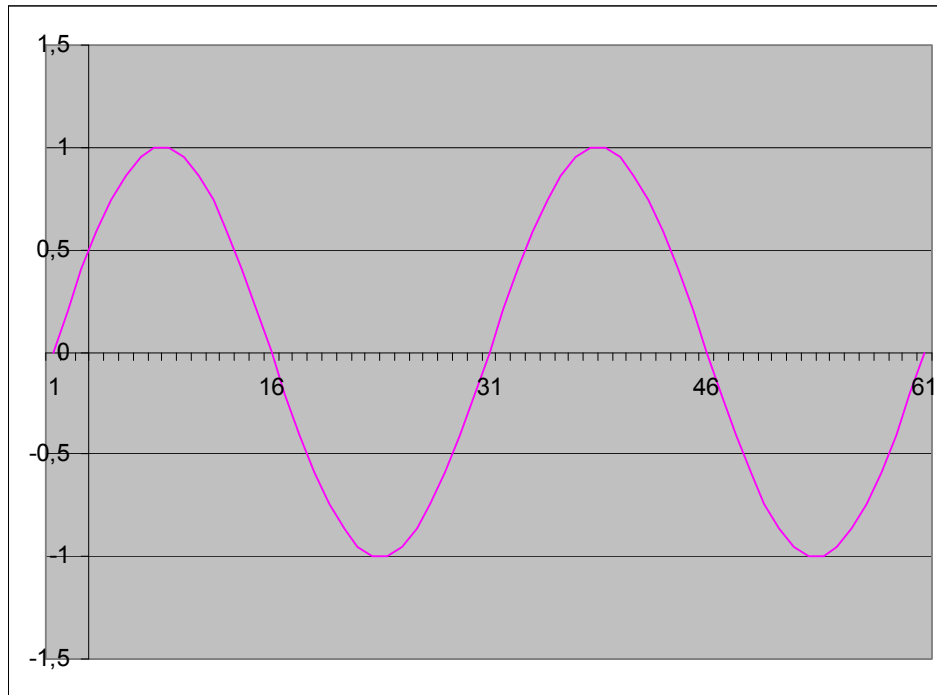
On admettra que la transformée de Fourier du signal échantillonné est donnée par :

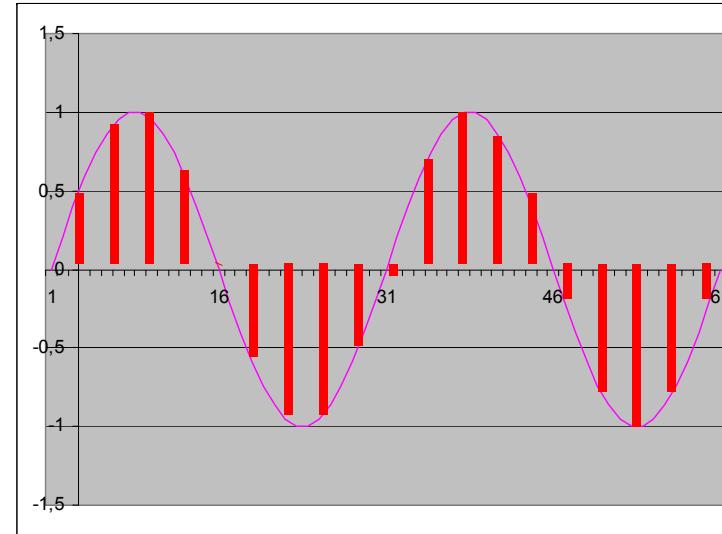
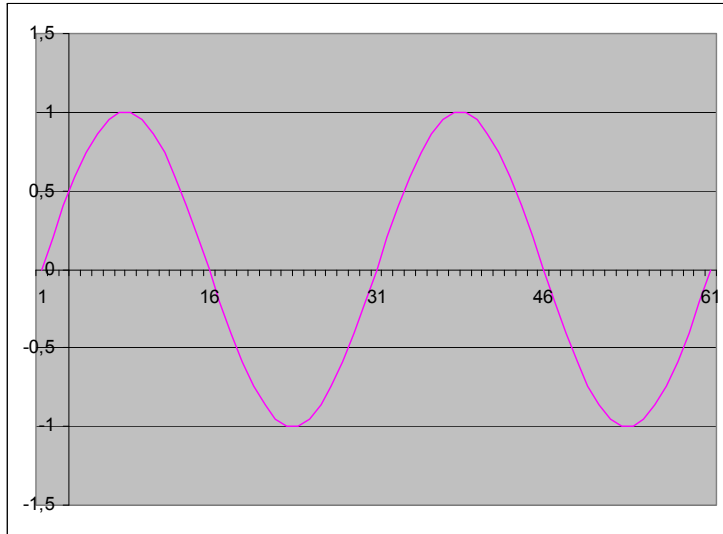
$$v^*(f) = f_e \times \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} v(f - nf_e)$$



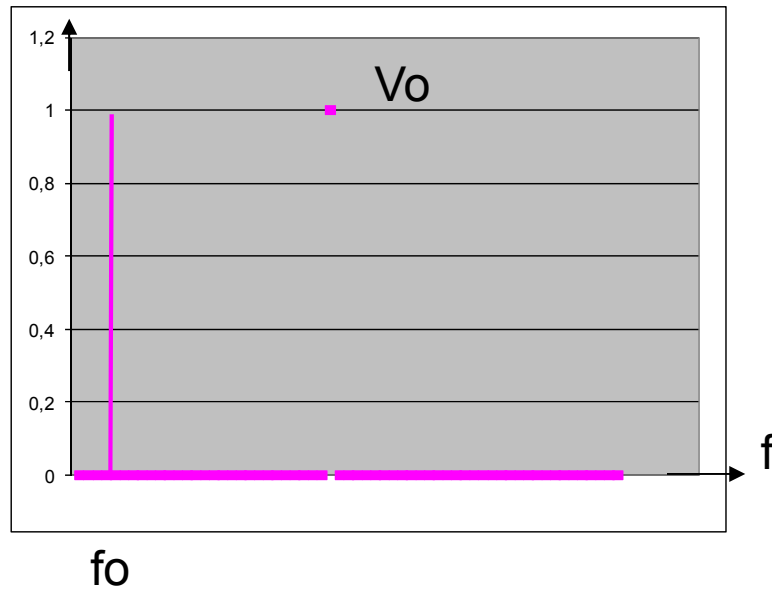
# Echantillonnage idéal

Un exemple : signal sinusoïdal

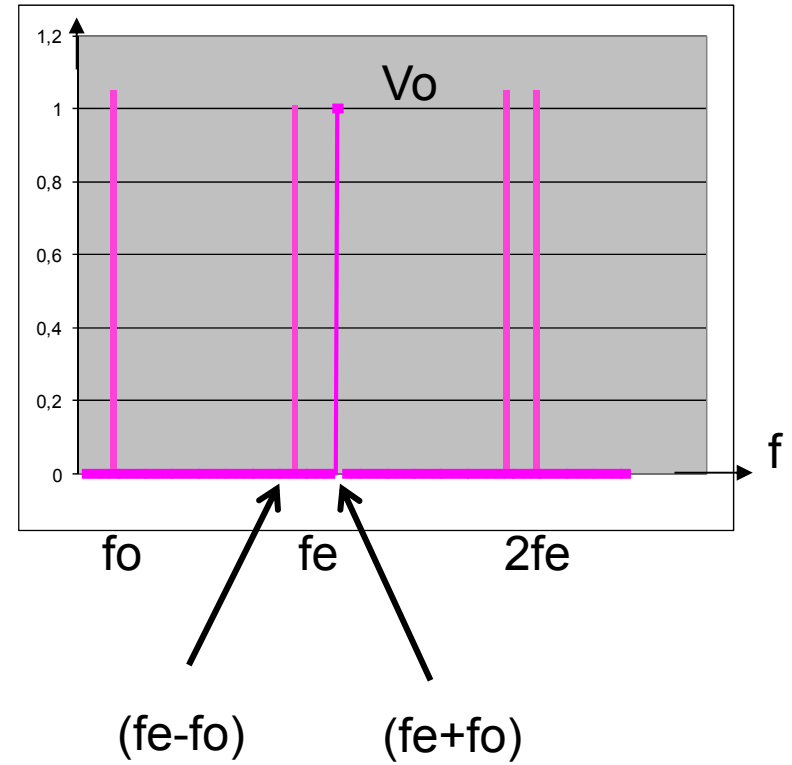




V

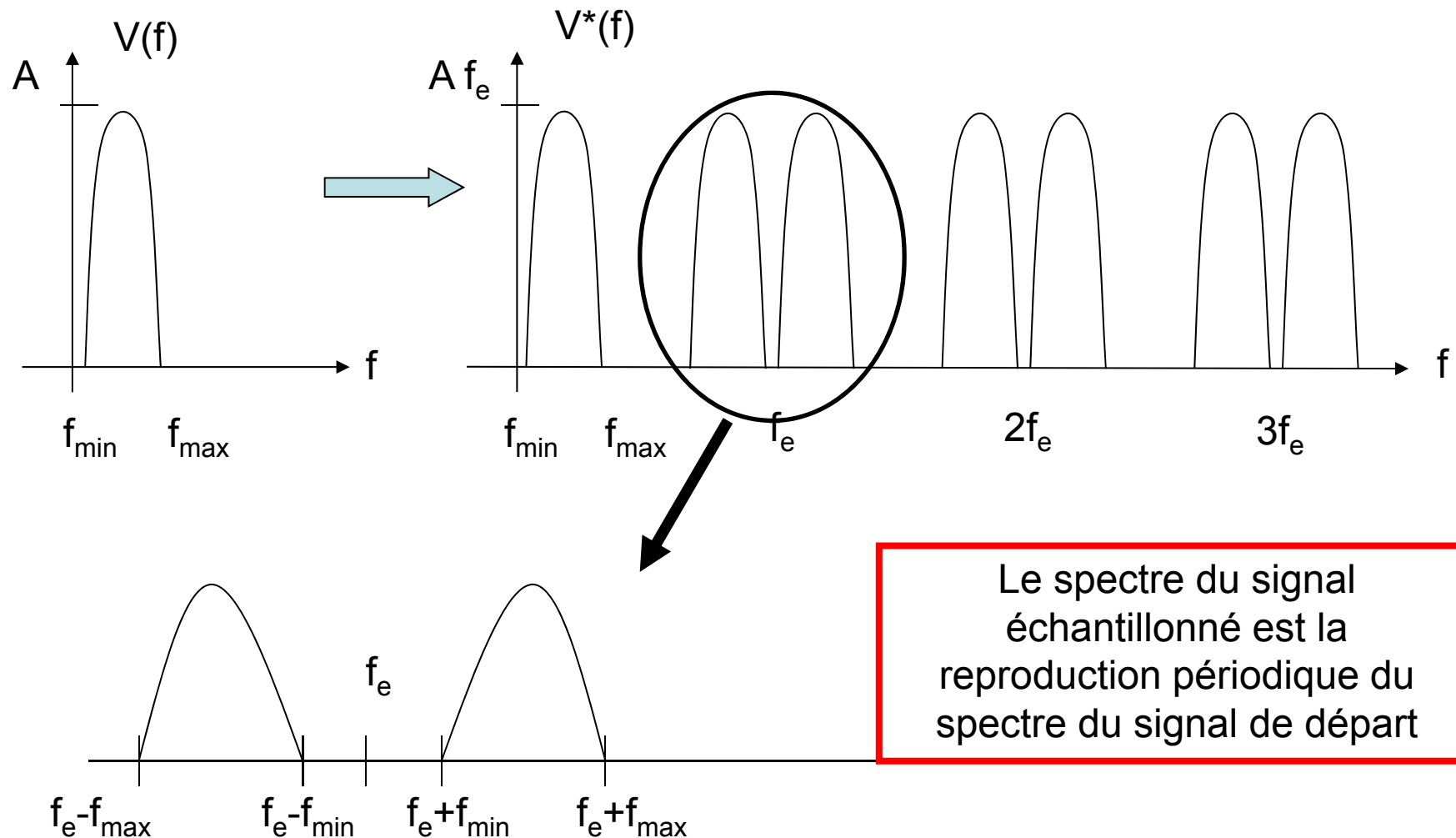


$V^*$



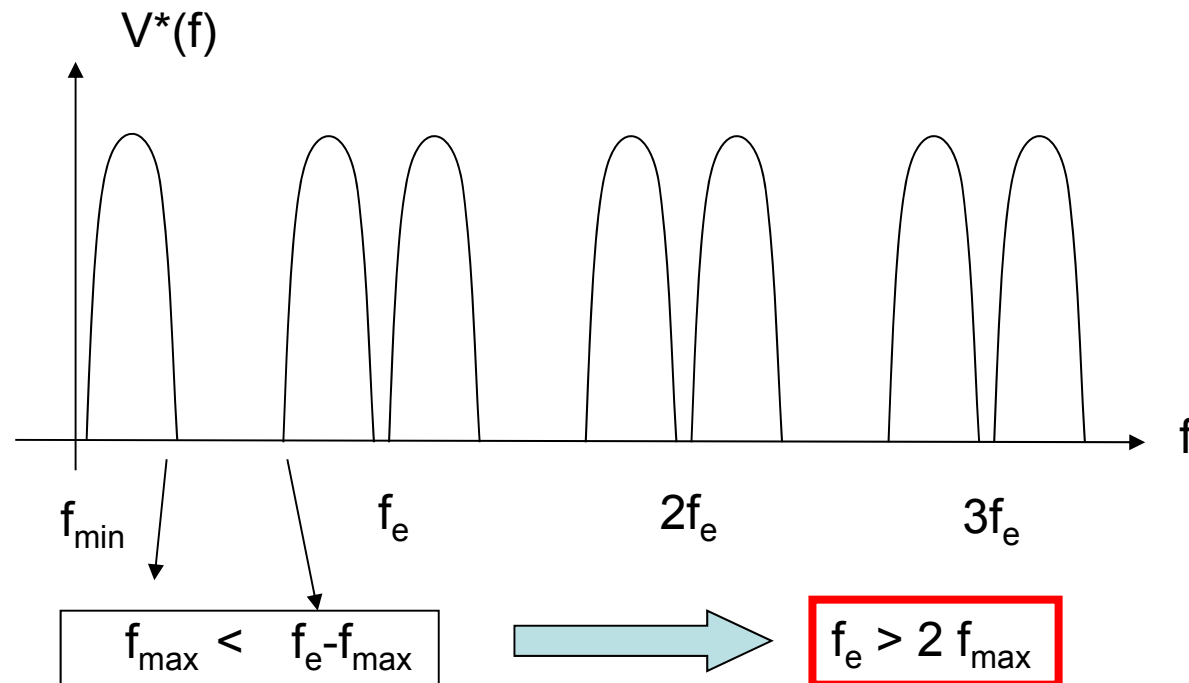
# Représentation fréquentielle

$$v^*(f) = f_e \times \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} v(f - nf_e)$$

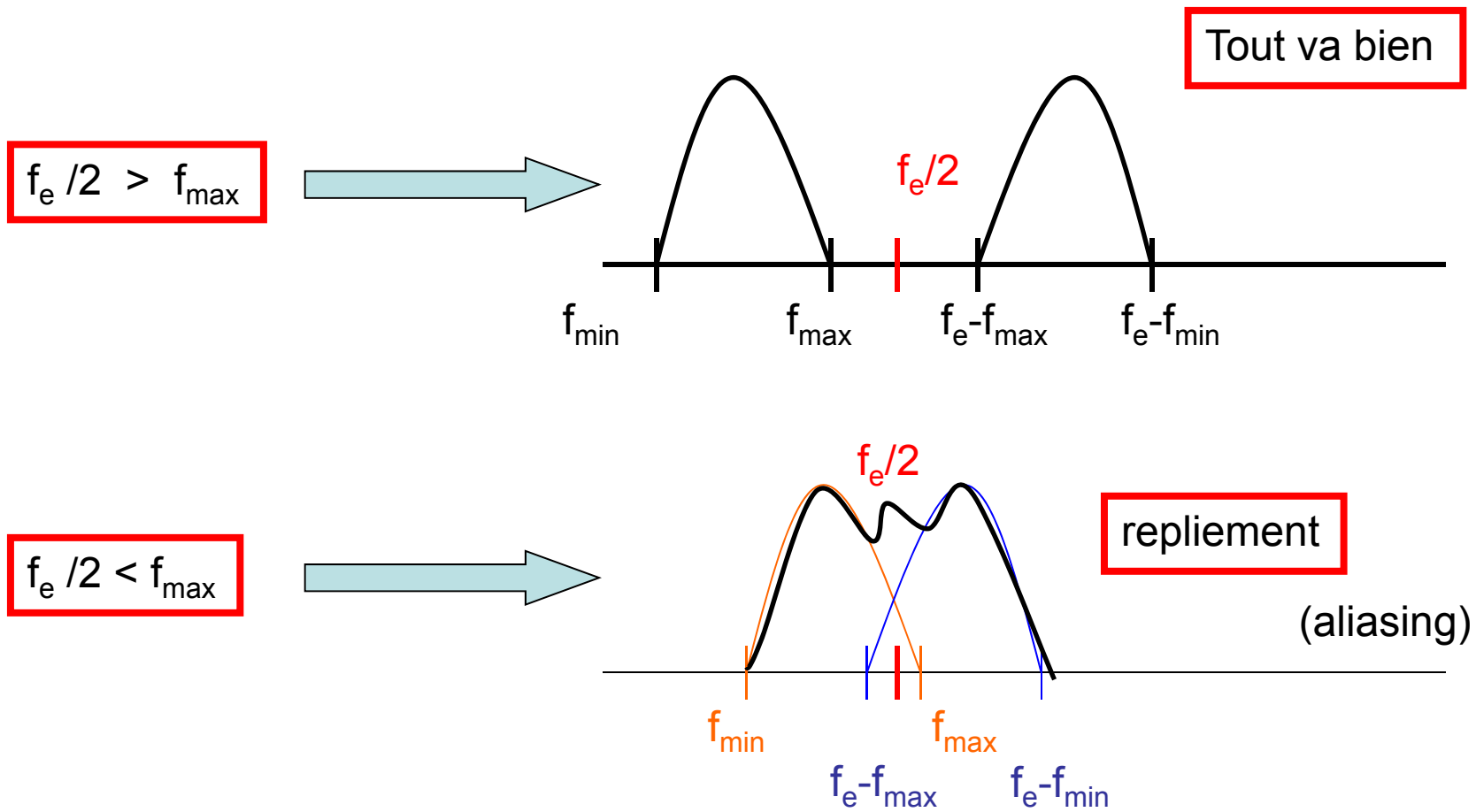


# Théorème de Shannon

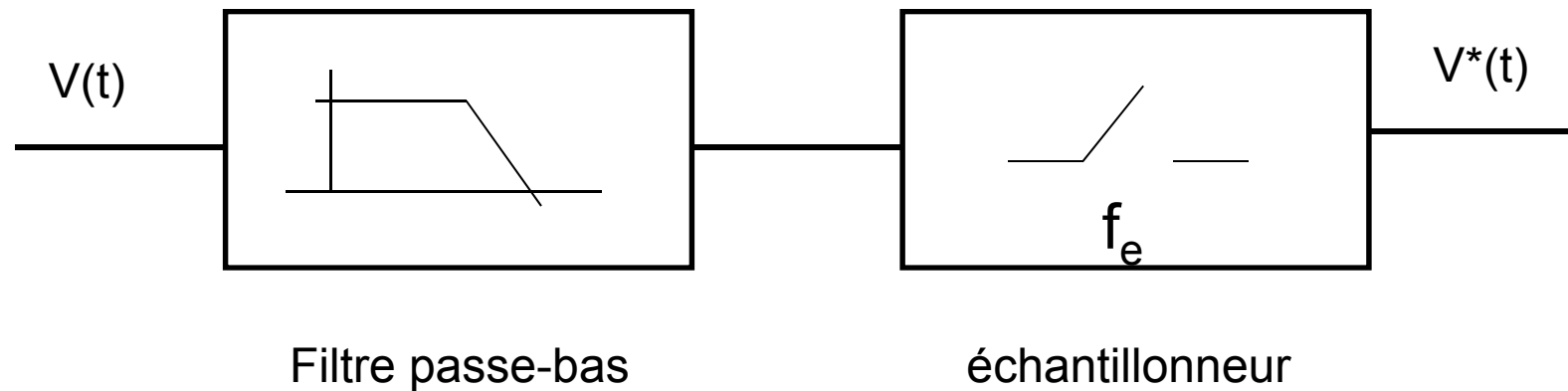
Le spectre du signal ne reproduit périodiquement le spectre du signal de départ si et seulement si la fréquence d'échantillonnage est supérieure ou égale au double de la fréquence maximale du signal de départ.



# Phénomène de repliement



# Filtre anti-repliement



$$f_c < f_e / 2$$

Pour être efficace le filtre anti-repliement doit avoir une fréquence de coupure inférieure à la moitié de la fréquence d'échantillonnage

# Téléphonie numérique

$f_e = 8 \text{ kHz}$ , alors que la voix couvre la gamme 20 Hz – 20 kHz



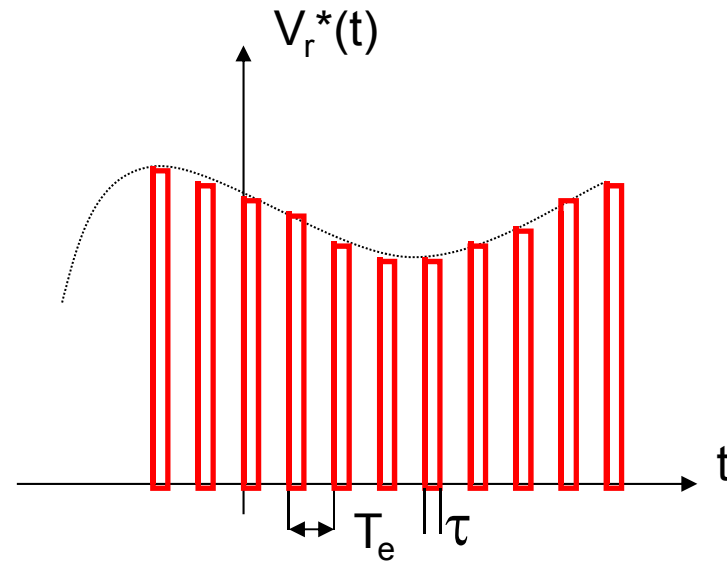
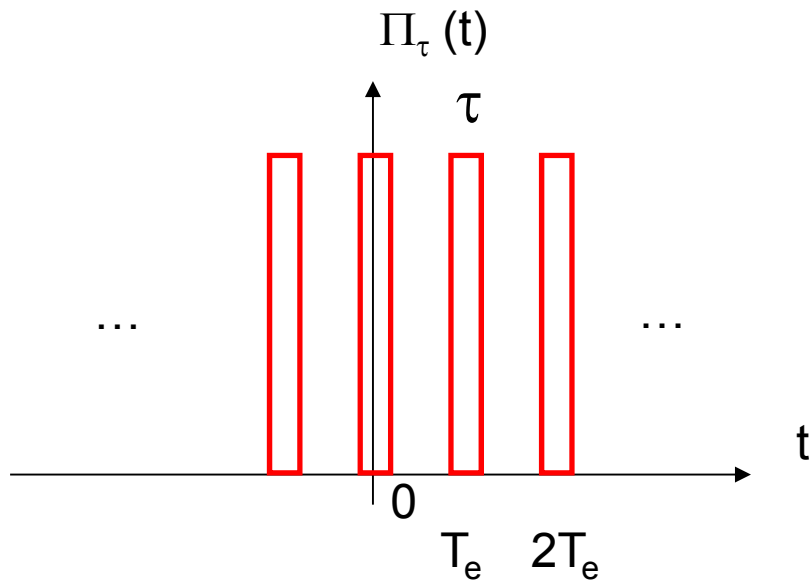
$f_{\max} = 20 \text{ kHz}$

Pour que le système fonctionne on a rajouté un filtre anti-repliement dont la fréquence de coupure est réglée à 3,4 kHz.

# Echantillonnage réel

En pratique on ne sait pas réaliser de Dirac !!

Les impulsions d'échantillonnage ont une durée notée  $\tau$





# Echantillonnage réel: notation mathématique

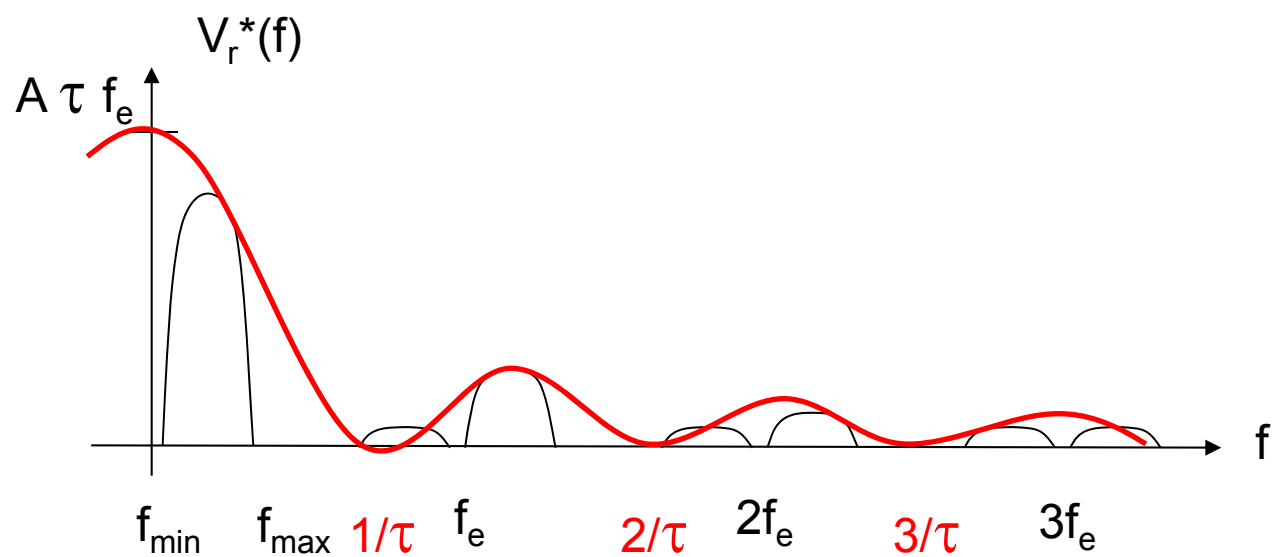
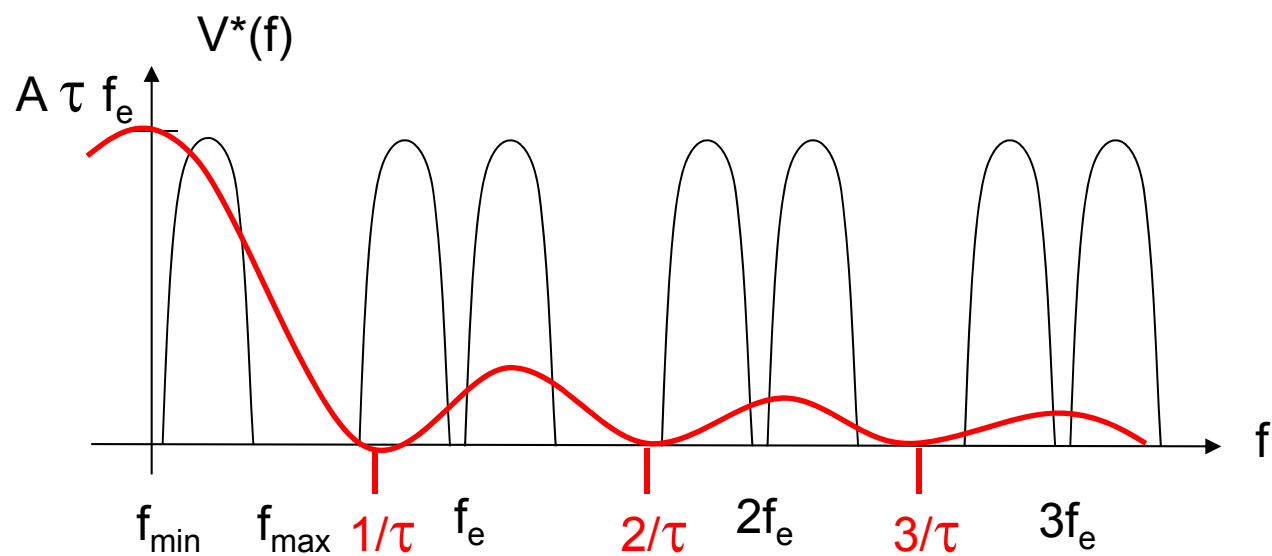
$$v_r^*(t) = v(t) \times \sum_{k=-\infty}^{k=+\infty} \Pi_{\tau}(t - kT_e)$$

$$v_r^*(f) = f_e \times \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} \tau \times \frac{\sin(\pi n f_e)}{\pi n f_e} \times v(f - n f_e)$$

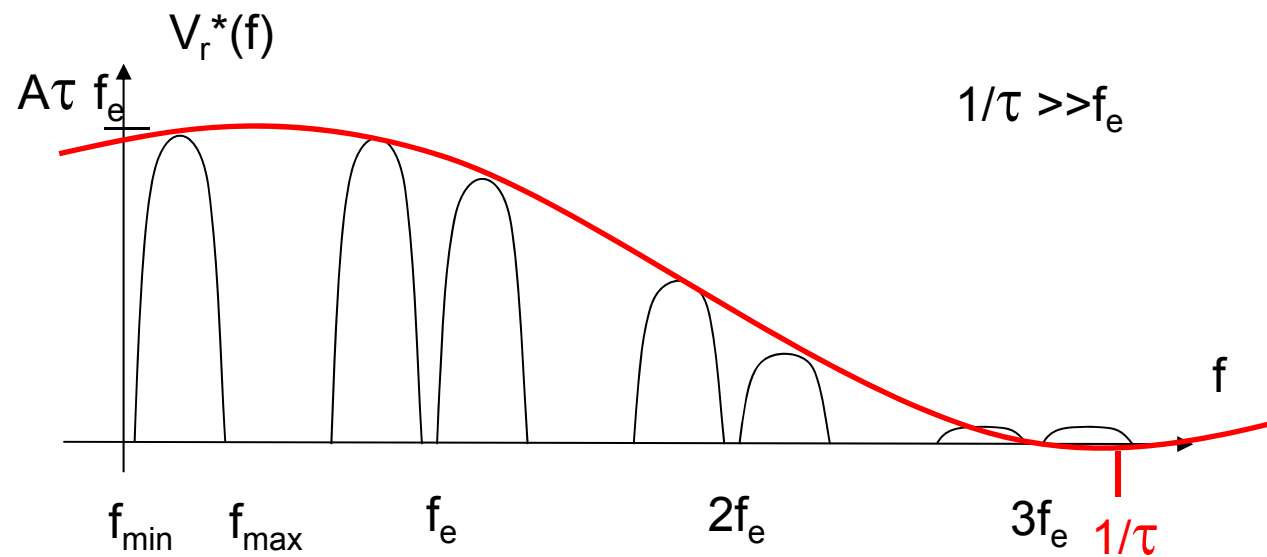


Terme supplémentaire

# Spectre du signal échantillonné réel



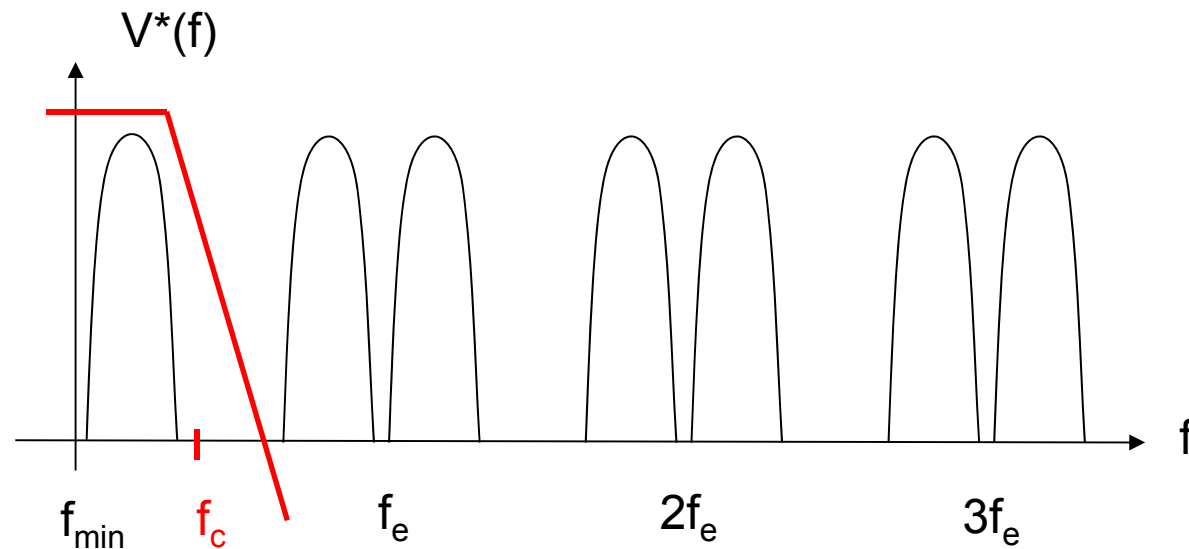
# Spectre du signal échantillonné réel



Il faut s'arranger pour avoir  $1/\tau \gg f_e$

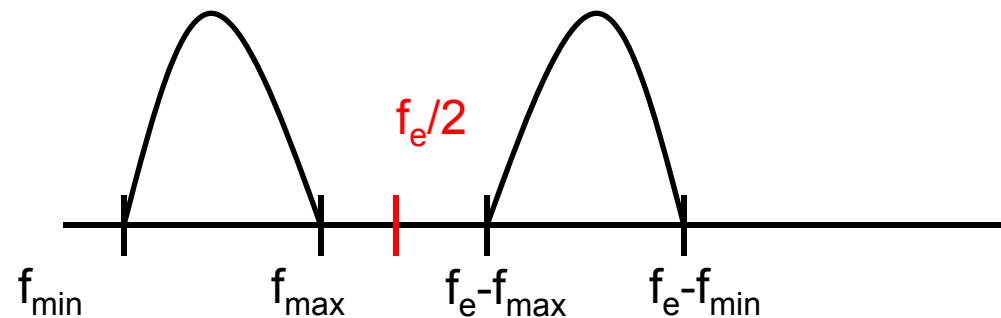
# Reconstruction

Si on respecte Shannon ( $f_e > 2 f_{\max}$ ), alors un simple filtrage passe bas permet de récupérer le signal de départ.



On choisit une fréquence de coupure telle que :  $f_c < f_e/2$   
Et on s'impose généralement une atténuation minimum pour  $(f_e - f_{\max})$

# Téléphonie numérique



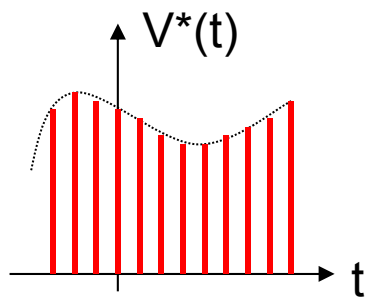
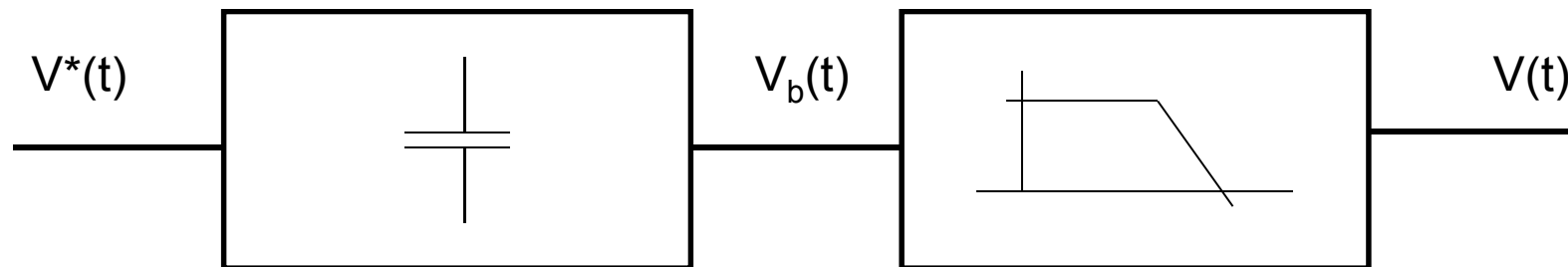
$$f_{\max} = 3.4 \text{ kHz}, (f_e / 2) = 4 \text{ kHz}, f_e - f_{\max} = 4.6 \text{ kHz}$$

1/ Déterminer l'ordre du filtre pour obtenir une atténuation de -100 à  $f_e - f_{\max}$  en supposant que  $f_c = 3.5 \text{ kHz}$

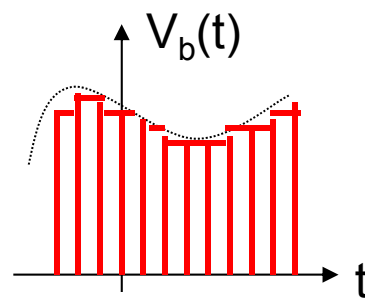
2/ conclusion

# Reconstruction

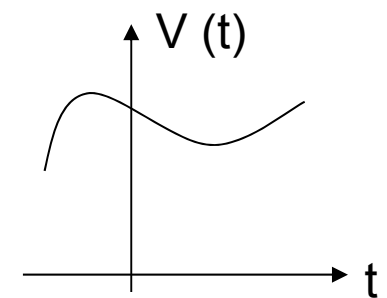
La plupart du temps on reconstruit le signal à l'aide d'un bloqueur suivi d'un filtrage passe-bas



bloqueur

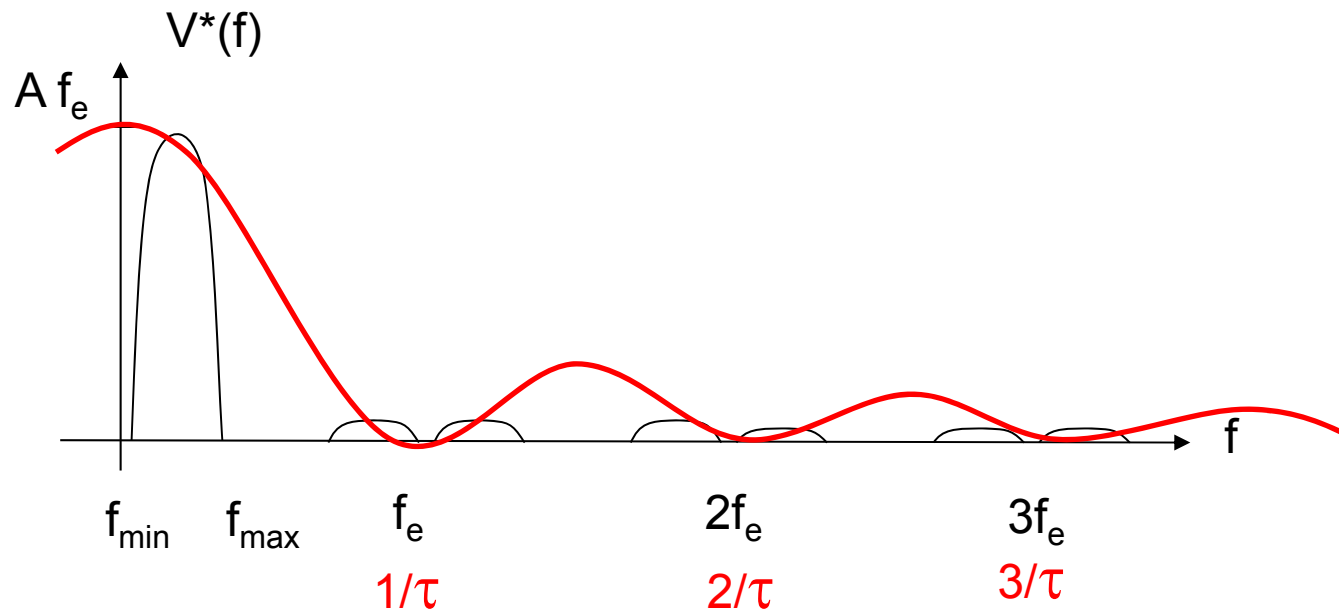


Filtre passe-bas



# Reconstruction

Le bloqueur maintient la valeur de l'échantillon entre deux valeurs de  $T_e$ , on a donc le même effet qu'un échantillonnage avec des impulsions de durée  $\tau = T_e$ . D'un point de vue spectral, on atténue très fortement les fréquence aux environs de  $f_e$ ,  $2 f_e$ ,  $3 f_e$ ,  $4 f_e, \dots$



Le filtrage sera en conséquence plus efficace

Pour vous amuser : <http://www.iict.ch/Tcom/Laboratoires/digivox2000/index.htm>

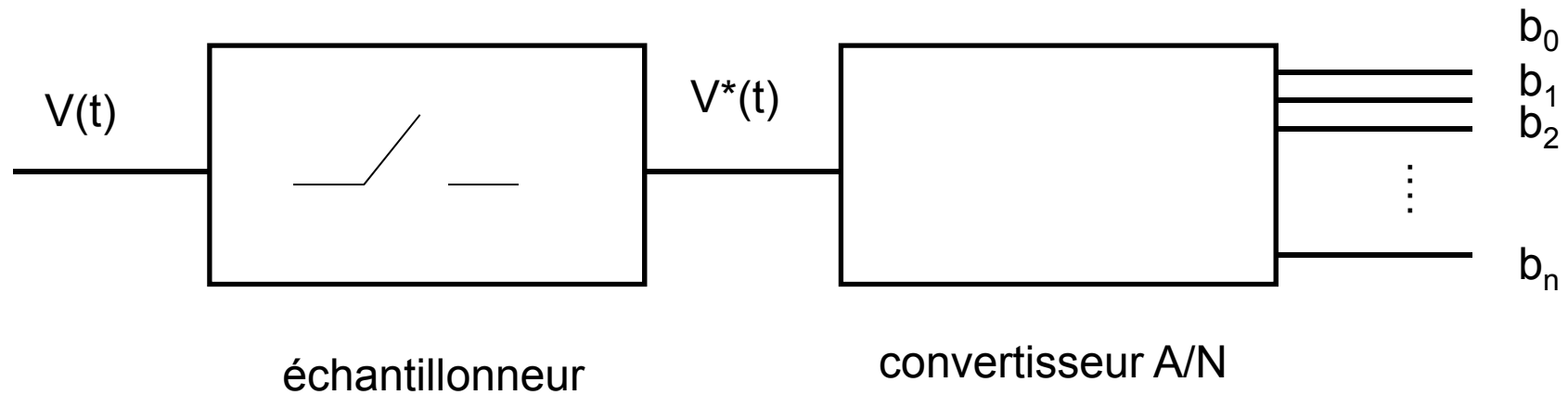
Digivox est un petit logiciel-didacticiel qui met en évidence les différences entre plusieurs méthodes de compression de données pour la transmission de la parole



# Convertisseurs Analogique - Numérique

# Conversion A/N

Transformation d'un signal analogique échantillonné en signal numérique



# Convertisseur A/N

Il existe de nombreux types de CAN:

- o les convertisseurs flash (ou parallèle)
- o les convertisseurs à approximations successives
- o les convertisseurs à comptage
- o les convertisseurs sigma-delta
- o ...

Nous présenterons dans un premier temps les caractéristiques générales d'un CAN, puis quelques exemples de CAN

# Caractéristiques générales

Full Scale Range (FSR) : dynamique d'entrée (ex: 0 – 10V, -5V – +5V)

Résolution (N) : nombre de bits en sortie

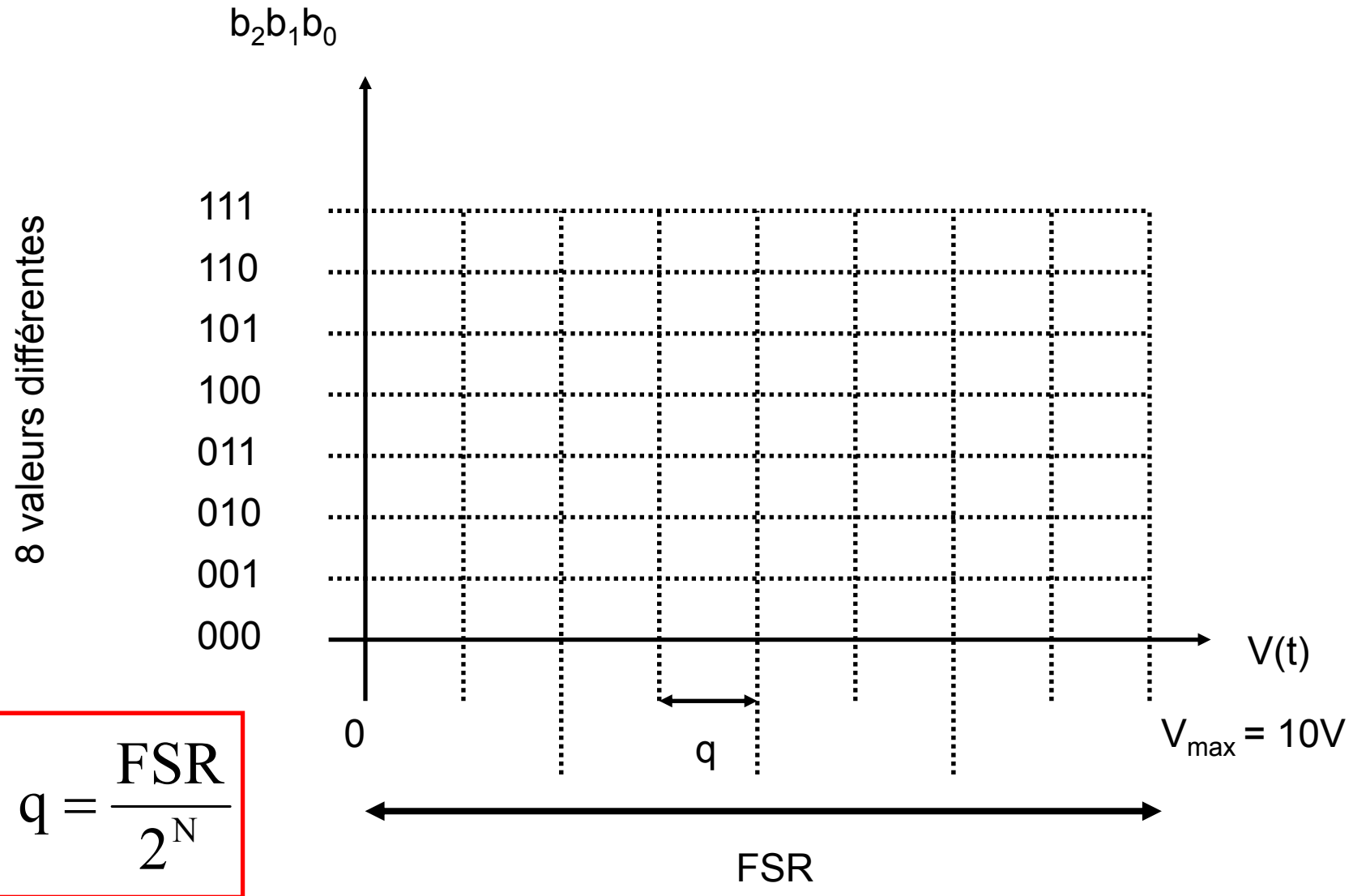
Least Significant Bit (LSB) : bit de poids faible

Most Significant Bit (MSB) : bit de poids fort

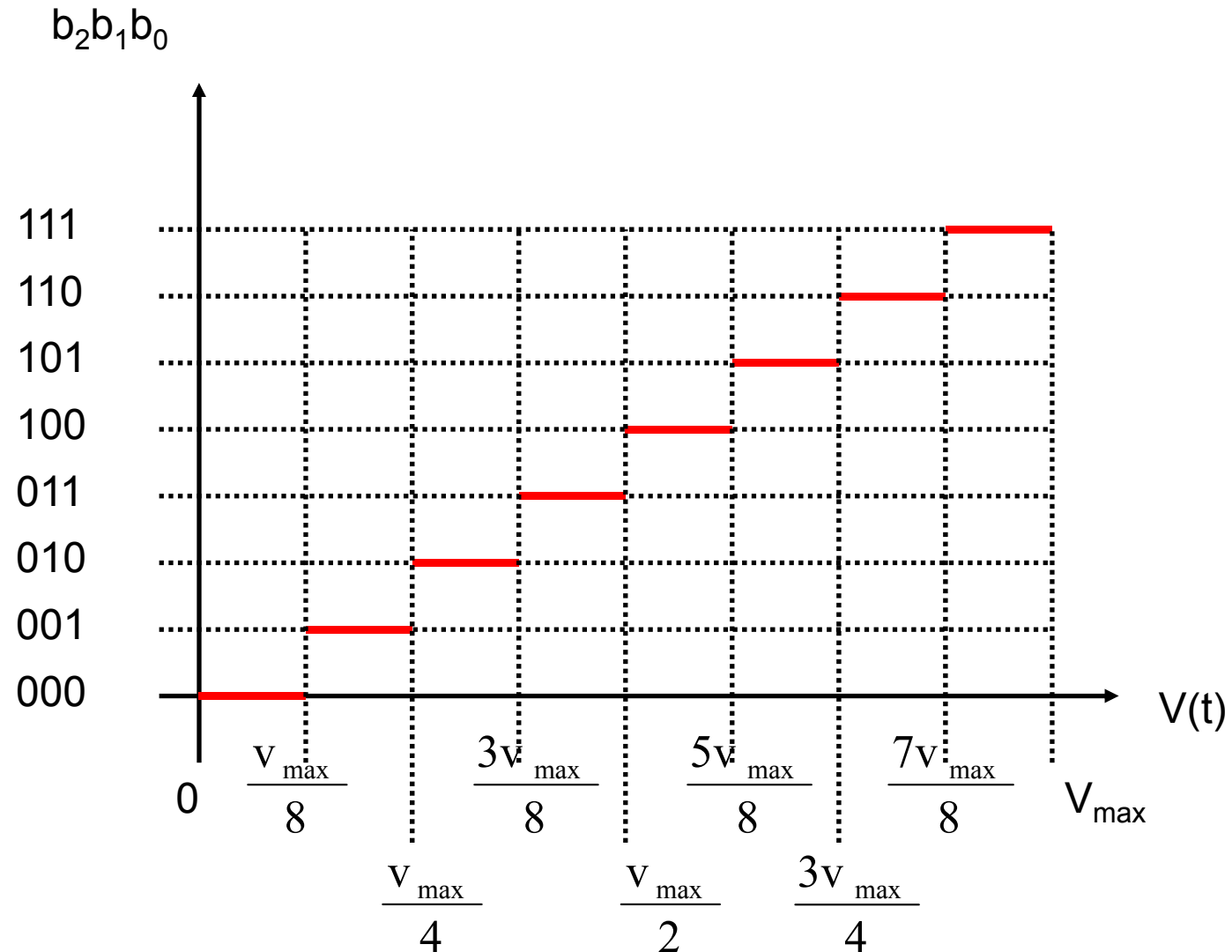
Quantum (q) : variation de la tension d'entrée qui correspond à un changement du bit de poids faible

On va illustrer ces définitions sur un exemple : convertisseur 3 bits, 0 – 10V

# la caractéristique de transfert



# la caractéristique de transfert



# Résolution / quantum

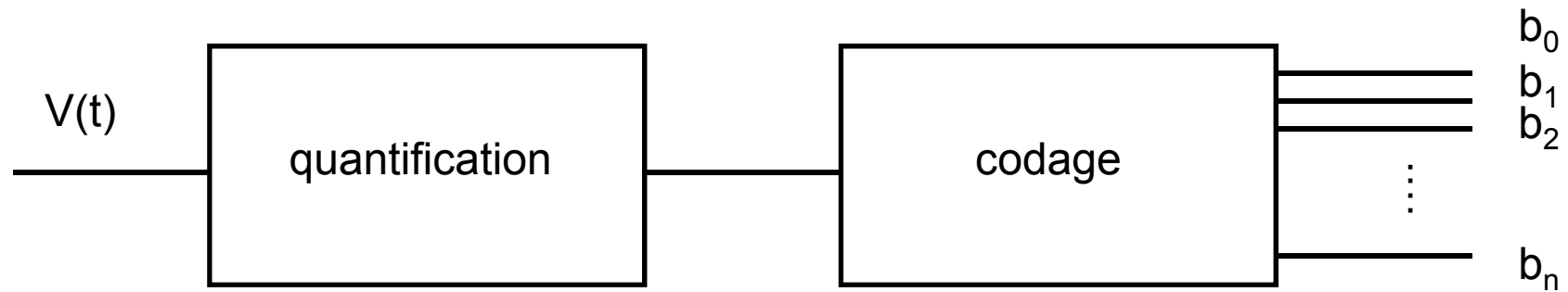
$$q = \frac{\text{FSR}}{2^N}$$

résolution (N)	4	8	12	16
nombre de niveaux	16	256	4096	65536
quantum/FSR	0,06	0,00391	0,00024	1,5E-05
quantum/FSR en %	6,25	0,391	0,024	0,002

# Conversion A/N

La conversion d'un signal analogique en signal numérique s'accompagne de 2 phénomènes :

- La quantification du signal
- son codage en numérique

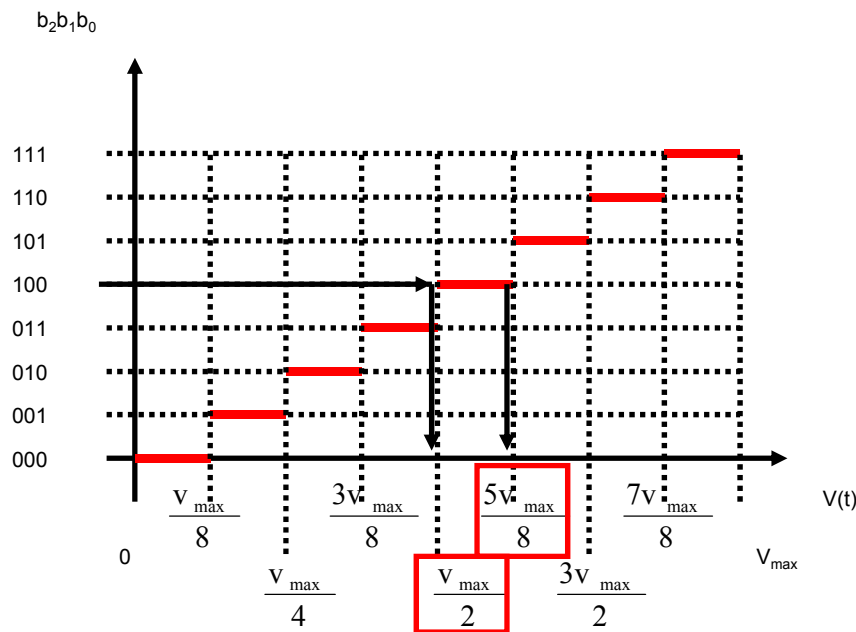




# Bruit de quantification

Si la caractéristique de transfert permet d'associer à chaque valeur du signal analogique une valeur du signal numérique, l'inverse n'est pas vraie :

A une valeur du signal de sortie correspond une plage de valeur du signal d'entrée



Par exemple pour  $b_2b_1b_0 = 100$

$$V_{max}/2 < v(t) < 5V_{max}/8$$

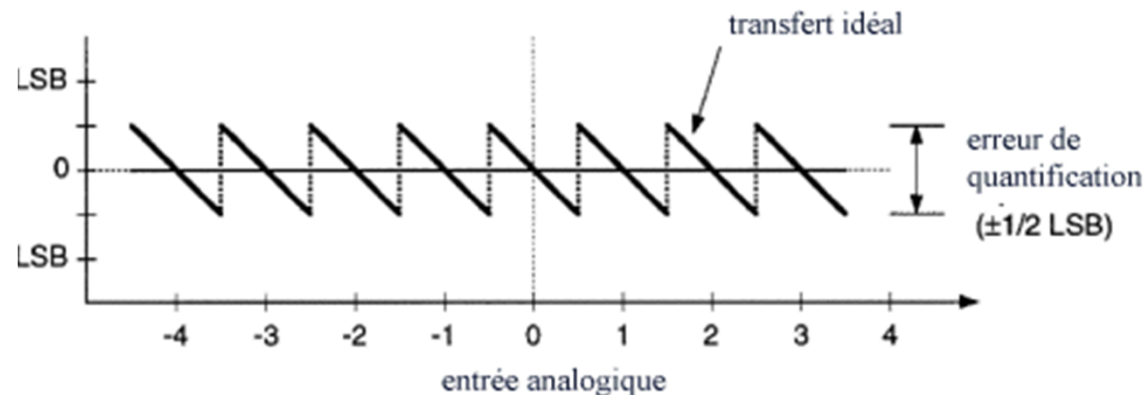
# Bruit de quantification

Connaissant le signal de sortie, on ne peut donc pas remonter à la valeur exacte de  $v(t)$ . On attribue en général la valeur médiane de l'intervalle à laquelle on associe l'erreur max potentiellement commise ou **bruit de quantification**.

$$\frac{V_{\max}}{2} < v(t) < \frac{5V_{\max}}{8} \quad \longleftrightarrow \quad v(t) = \frac{9V_{\max}}{16} \pm \frac{V_{\max}}{16}$$

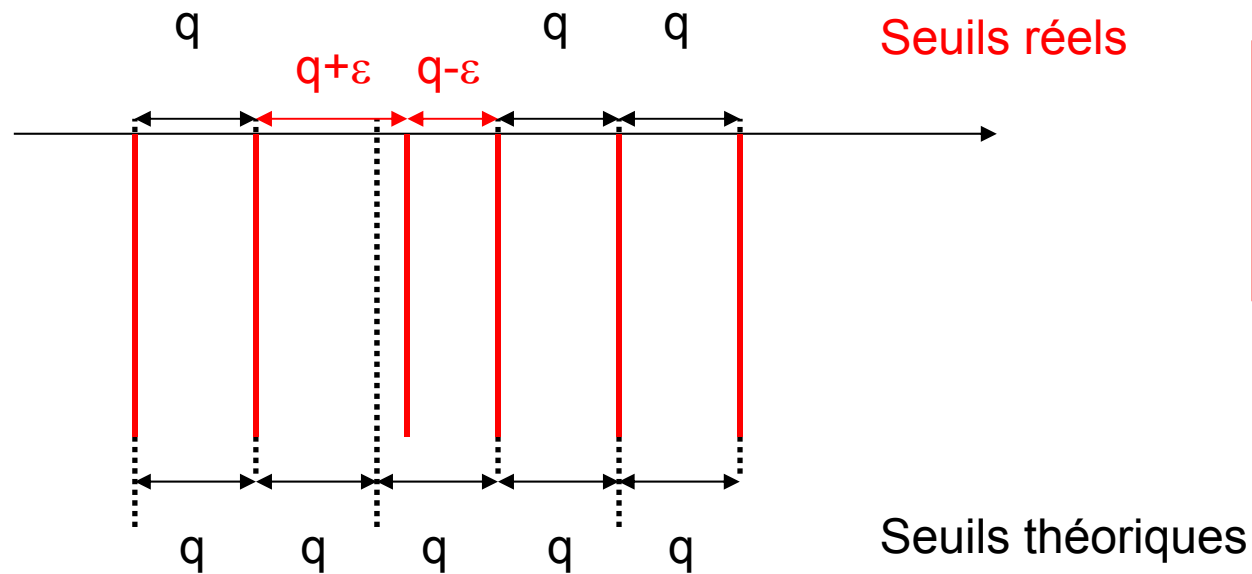
Dans notre exemple l'erreur max est de  $(V_{\max} / 16)$

en général on obtient :  $\frac{1}{2} q = \frac{1}{2} (FSR/2^N)$



# précision d'un CAN

En principe tous les seuils sont équidistants ( $q$ ), mais en pratique il arrive que des seuils soient décalés par rapport à leur position supposée. On appelle précision du CAN la valeur max garantie pour ce décalage.



Un bon convertisseur doit avoir une précision meilleure que  $\frac{1}{2}$  LSB ( $\frac{1}{2} q$ )

# Temps de conversion

On appelle temps de conversion, le temps nécessaire pour obtenir une sortie stable.

Ce temps est très variable selon les types de CAN, il varie de quelques ns à quelques ms.

On va illustrer par un exemple : le CAN AD7819



**ANALOG  
DEVICES**

**AD 7819**

## **FEATURES**

**8-Bit ADC with 4.5  $\mu$ s Conversion Time**

**On-Chip Track and Hold**

**Operating Supply Range: 2.7 V to 5.5 V**

**Specifications at 2.7 V – 3.6 V and 5 V  $\pm$  10%**

**8-Bit Parallel Interface**

**8-Bit Read**

**Power Performance**

**Normal Operation**

**10.5 mW,  $V_{DD} = 3$  V**

**Automatic Power-Down**

**57.75  $\mu$ W @ 1 kSPS,  $V_{DD} = 3$  V**

**Analog Input Range: 0 V to  $V_{REF}$**

**Reference Input Range: 1.2 V to  $V_{DD}$**

# AD 7819

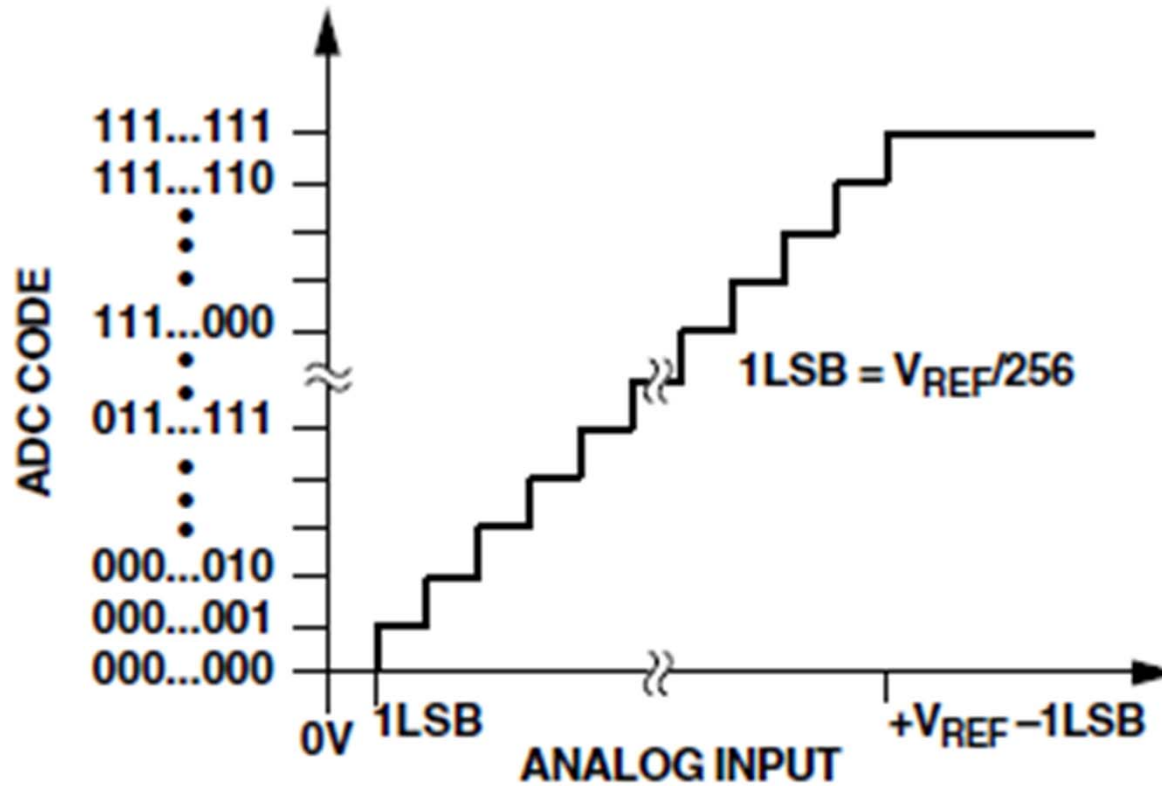


Figure 7. Transfer Characteristic

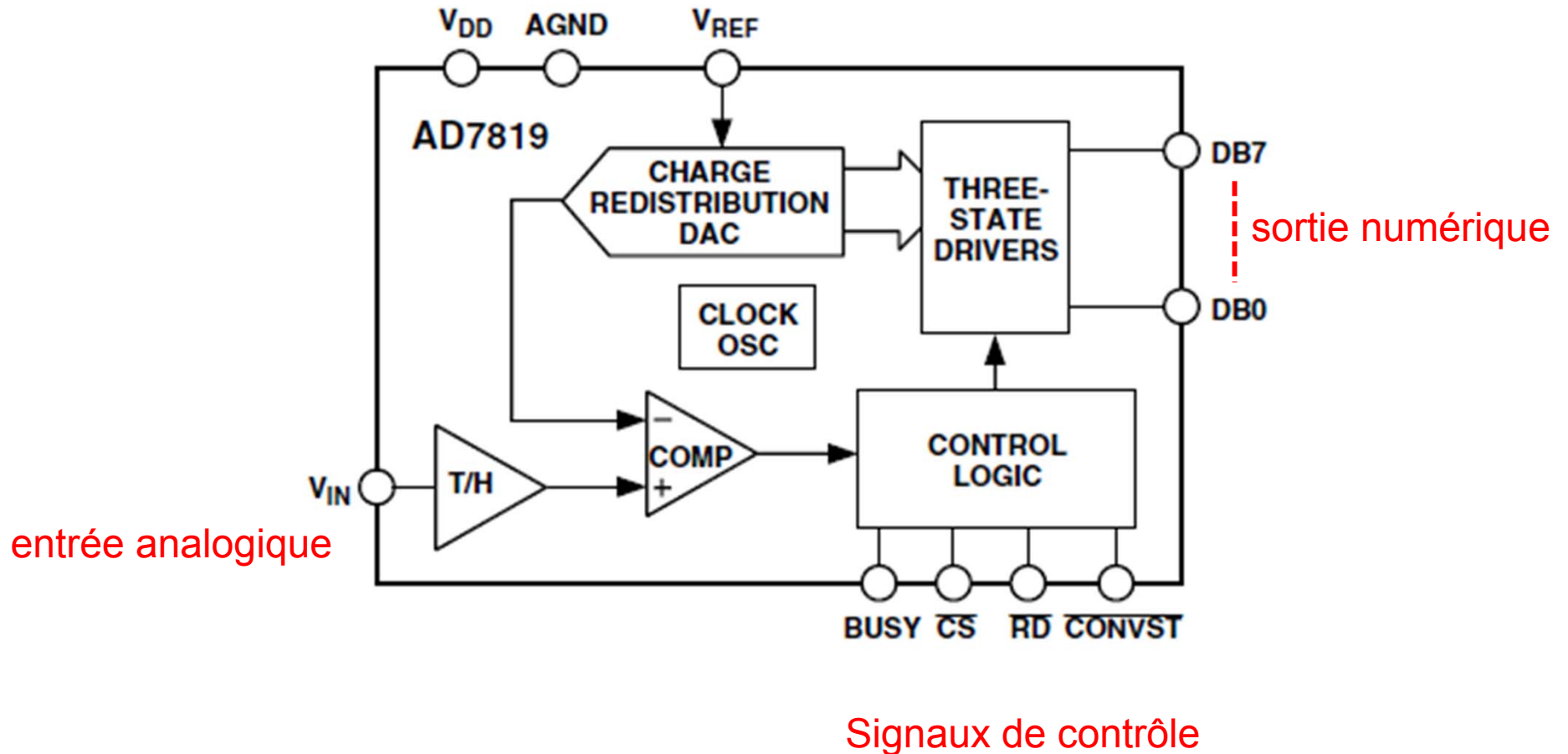
# AD 7819

## DC ACCURACY

Resolution	8	Bits
Minimum Resolution for Which No Missing Codes Are Guaranteed	8	Bits
Relative Accuracy <sup>1</sup>	$\pm 0.5$	LSB max
Differential Nonlinearity (DNL) <sup>1</sup>	$\pm 0.5$	LSB max
Total Unadjusted Error <sup>1</sup>	$\pm 1$	LSB max
Gain Error <sup>1</sup>	$\pm 0.5$	LSB max
Offset Error <sup>1</sup>	$\pm 0.5$	LSB max

# AD 7819

## FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



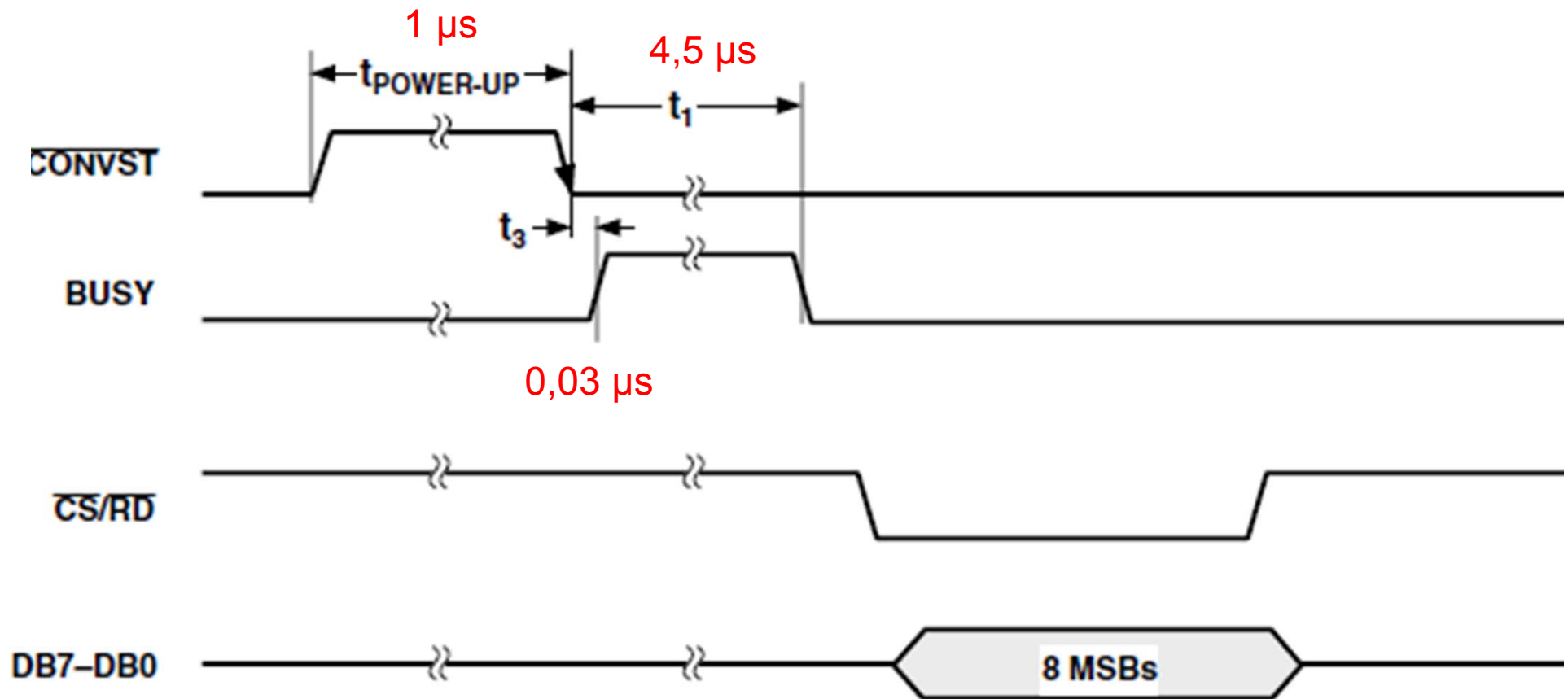


# AD 7819

## PIN FUNCTION DESCRIPTIONS

Mnemonic	Description
$V_{REF}$	Reference Input, 1.2 V to $V_{DD}$ .
$V_{IN}$	Analog Input, 0 V to $V_{REF}$ .
GND	Analog and Digital Ground.
$\overline{CONVST}$	Convert Start. A low-to-high transition on this pin initiates a 1.5 $\mu$ s pulse on an internally generated $\overline{CONVST}$ signal. A high-to-low transition on this line initiates the conversion process if the internal $\overline{CONVST}$ signal is low. Depending on the signal on this pin at the end of a conversion, the AD7819 automatically powers down.
$\overline{CS}$	Chip Select. This is a logic input. $\overline{CS}$ is used in conjunction with $\overline{RD}$ to enable outputs.
$\overline{RD}$	Read Pin. This is a logic input. When $\overline{CS}$ is low and $\overline{RD}$ goes low, the DB7–DB0 leave their high impedance state and data is driven onto the data bus.
BUSY	ADC Busy Signal. This is a logic output. This signal goes logic high during the conversion process.
DB0–DB7	Data Bit 0 to 7. These outputs are three-state TTL-compatible.
$V_{DD}$	Positive power supply voltage, 2.7 V to 5.5 V.

# séquencement



# Autres sources

[http://pagesperso-orange.fr/michel.hubin/physique/elec/chap\\_can1.htm#debut](http://pagesperso-orange.fr/michel.hubin/physique/elec/chap_can1.htm#debut)

[http://pagesperso-orange.fr/michel.hubin/physique/elec/chap\\_can2.htm#debut](http://pagesperso-orange.fr/michel.hubin/physique/elec/chap_can2.htm#debut)

[http://pagesperso-orange.fr/michel.hubin/physique/elec/chap\\_can3.htm#debut](http://pagesperso-orange.fr/michel.hubin/physique/elec/chap_can3.htm#debut)