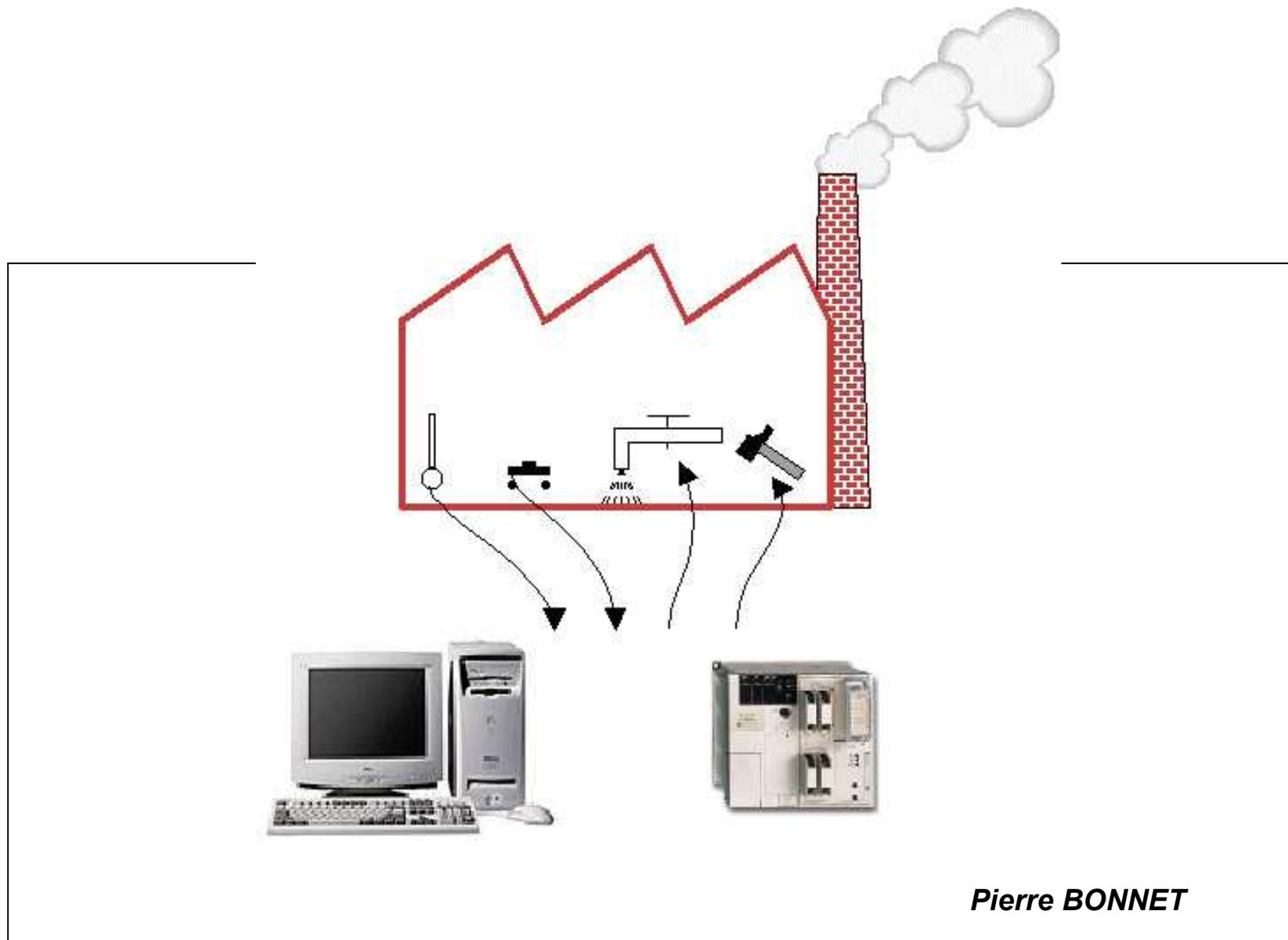


CAPTEURS - CHAINES DE MESURES



Pierre BONNET

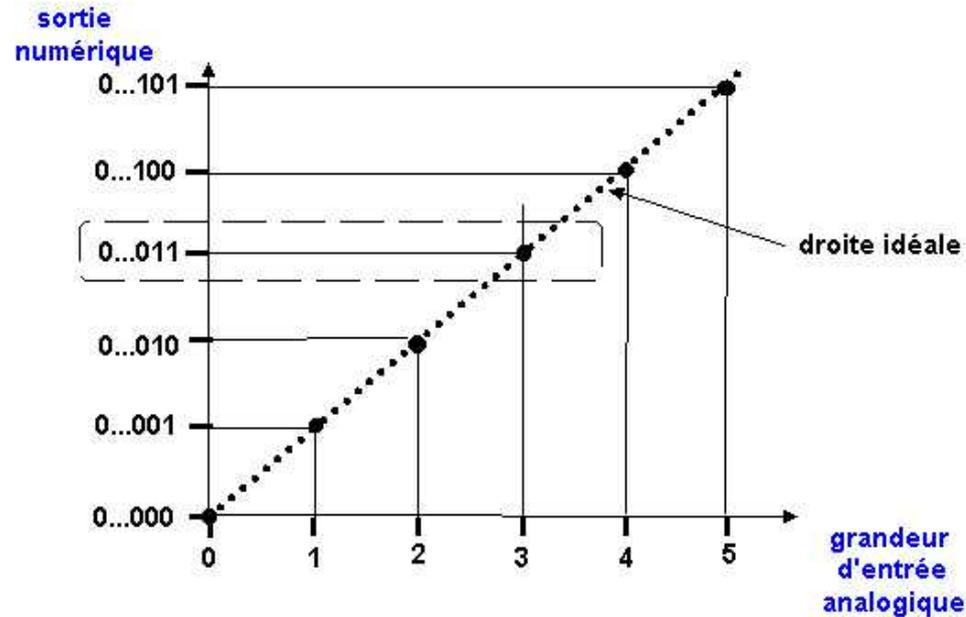
Plan du Cours

Propriétés générales des capteurs

- Notion de mesure
- Notion de capteur: principes, classes, caractéristiques générales
- Caractéristiques en régime statique
- Caractéristiques en régime dynamique
- Conditionnement et électronique de mesure
- **Conversion numérique**
- Transport, perturbations, protection, Isolation des signaux

Conversion Analogique-Numérique

Principe



Conversion Analogique-Numérique

Signal analogique

⇒ la variation continue peut être aussi petite que toute valeur fixée à l'avance

exemple : variation de $1 \mu V$ pour un signal $\{0, 1V\}$

Signal numérique

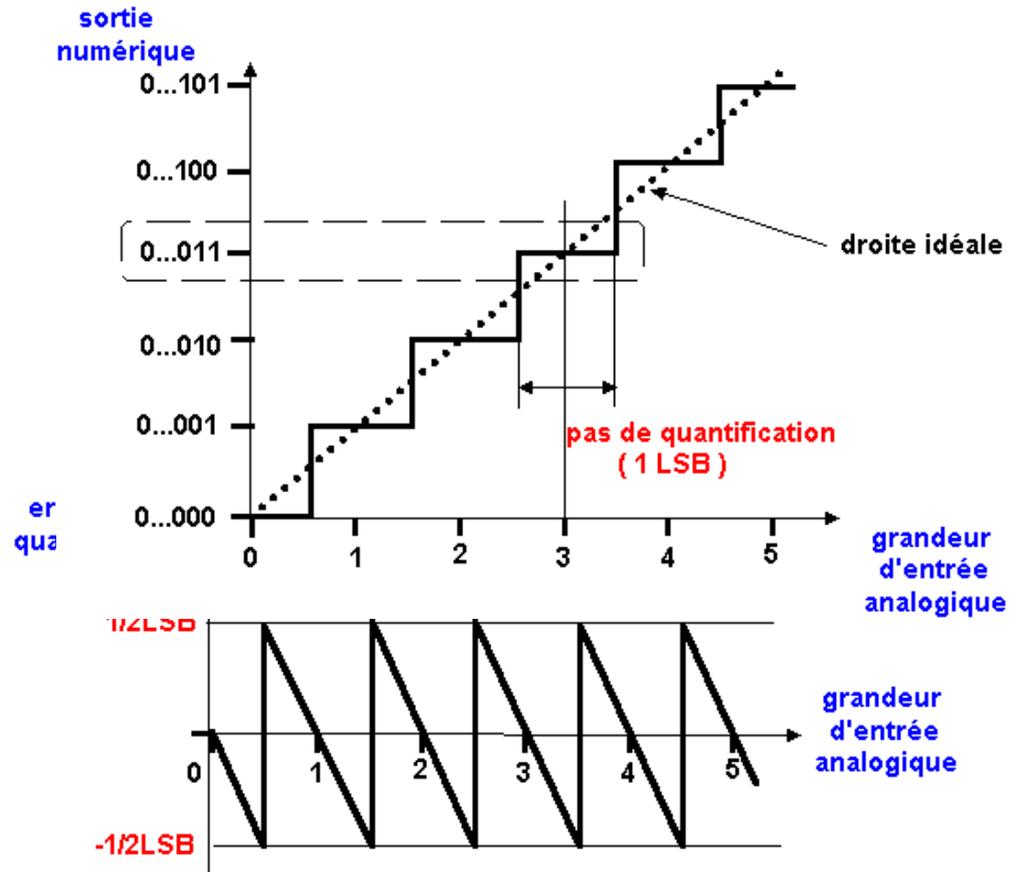
⇒ la variation minimale correspond à un pas dans l'échelle de définition du signal

pour un signal numérique représenté par un *nombre binaire*, la plus petite variation correspond au changement de valeur du bit de poids le plus faible ⇒ LSB (Least Significant Bit)

exemple : variation de 1 pas pour un signal $\{0, 100\}$
soit une précision relative de $1/100$

Conversion Analogique-Numérique

Quantification



⇒ La valeur analogique est quantifiée avec une incertitude de $\pm \frac{1}{2} \text{ LSB}$

Conversion Analogique-Numérique

Quantification

⇒ La conversion analogique digitale introduit une

incertitude relative d'amplitude crête égale à $\pm \frac{1}{2^{n+1}}$

exemple :

soit un signal analogique converti sur 12 bits

la dynamique du signal numérique est $[0, 2^{12}[$ soit $[0, 4096[$

l'incertitude relative de conversion est de $1/(2 \times 4096)$
soit 0,0125%

Conversion Analogique-Numérique

Quantification

Bruit de quantification: rapport Signal/Bruit

- ⇒ l'incertitude de quantification se traduit par un **bruit additif** superposé au signal
- ⇒ l'amplitude relative de ce bruit est appelé rapport **signal/bruit**
- ⇒ le rapport signal/bruit s'exprime en **décibel** (dB)

$$SNR_{dB} = 20 \text{ Log}_{10} \left(\frac{\text{signal efficace}}{\text{bruit efficace}} \right)$$

Conversion Analogique-Numérique

Quantification

Bruit de quantification : calcul du SNR

- soit un convertisseur n bits *parfait* caractérisé par une fonction de transfert idéale
- Soit q le pas de quantification correspondant au LSB (Least Significant Bit)

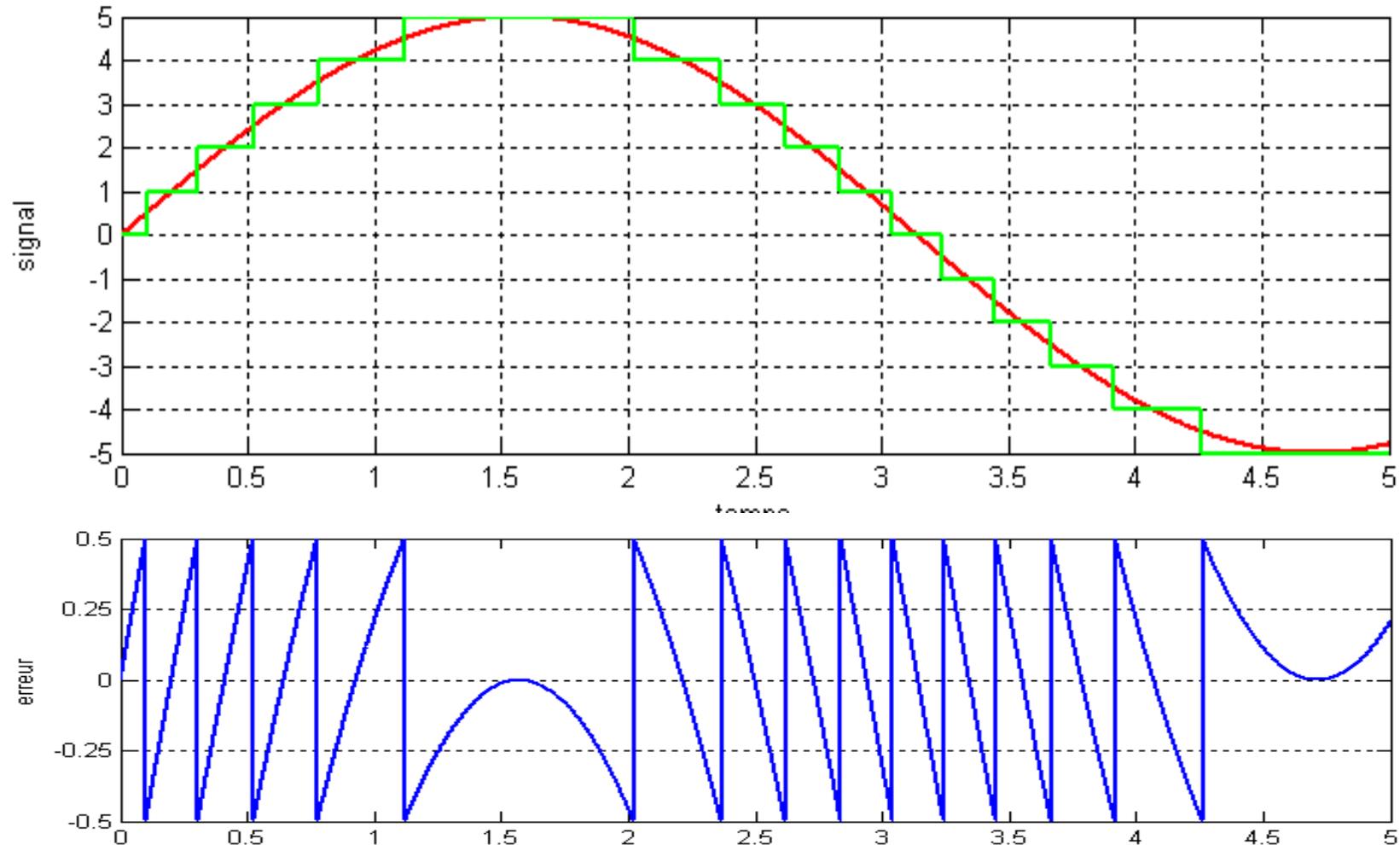
le pas q vaut $\frac{1}{2^n}$ de la pleine échelle de mesure.

- On applique un signal sinusoïdal d'amplitude crête $A =$ pleine échelle et de pulsation ω

Conversion Analogique-Numérique

Quantification

Bruit de quantification : calcul du SNR



Conversion Analogique-Numérique

Quantification

Bruit de quantification : calcul du SNR

- On remarque que l'erreur de quantification ε présente une densité de probabilité uniforme dans l'intervalle $[-q/2, +q/2]$. En normalisant la probabilité de ε , on aura:

$$p(\varepsilon) = 1/q \text{ pour } -q/2 < \varepsilon < +q/2$$

$$p(\varepsilon) = 0 \text{ ailleurs}$$

- La moyenne quadratique de ε ou puissance de bruit sera :

$$E(\varepsilon^2) = \frac{1}{q} \int_{-q/2}^{+q/2} \varepsilon^2 d\varepsilon = \frac{q^2}{12}$$

- La puissance du signal sinusoïdal d'amplitude A est :

$$f_{eff} = \frac{1}{T} \int_0^T A^2 \sin^2 \omega t dt = \frac{A^2}{2}$$

- La valeur crête à crête du signal est $2A$; elle est convertie sur une échelle de 2^n valeurs.

Le pas de conversion q vaut donc $\frac{2A}{2^n}$

Conversion Analogique-Numérique

Quantification

Bruit de quantification : SNR d'un convertisseur

- Le rapport de puissance entre le signal et le bruit est :

$$Q = \frac{A^2}{q^2/12} = 3 \cdot 2^{2n-1}$$

$$SNR_{dB} = 10 \log_{10}(Q) = 1,76 + 6,02 n$$

avec n nombre de bits de conversion

Equivalent Number of Bit ENOB

-

$$ENOB = \frac{SNR_{dB} - 1,76}{6,02}$$

Un convertisseur parfait présente un ENOB de n

Conversion Analogique-Numérique

Sources d'erreur de la conversion A/D

- Tout traitement sur une variable analogique est source d'erreurs

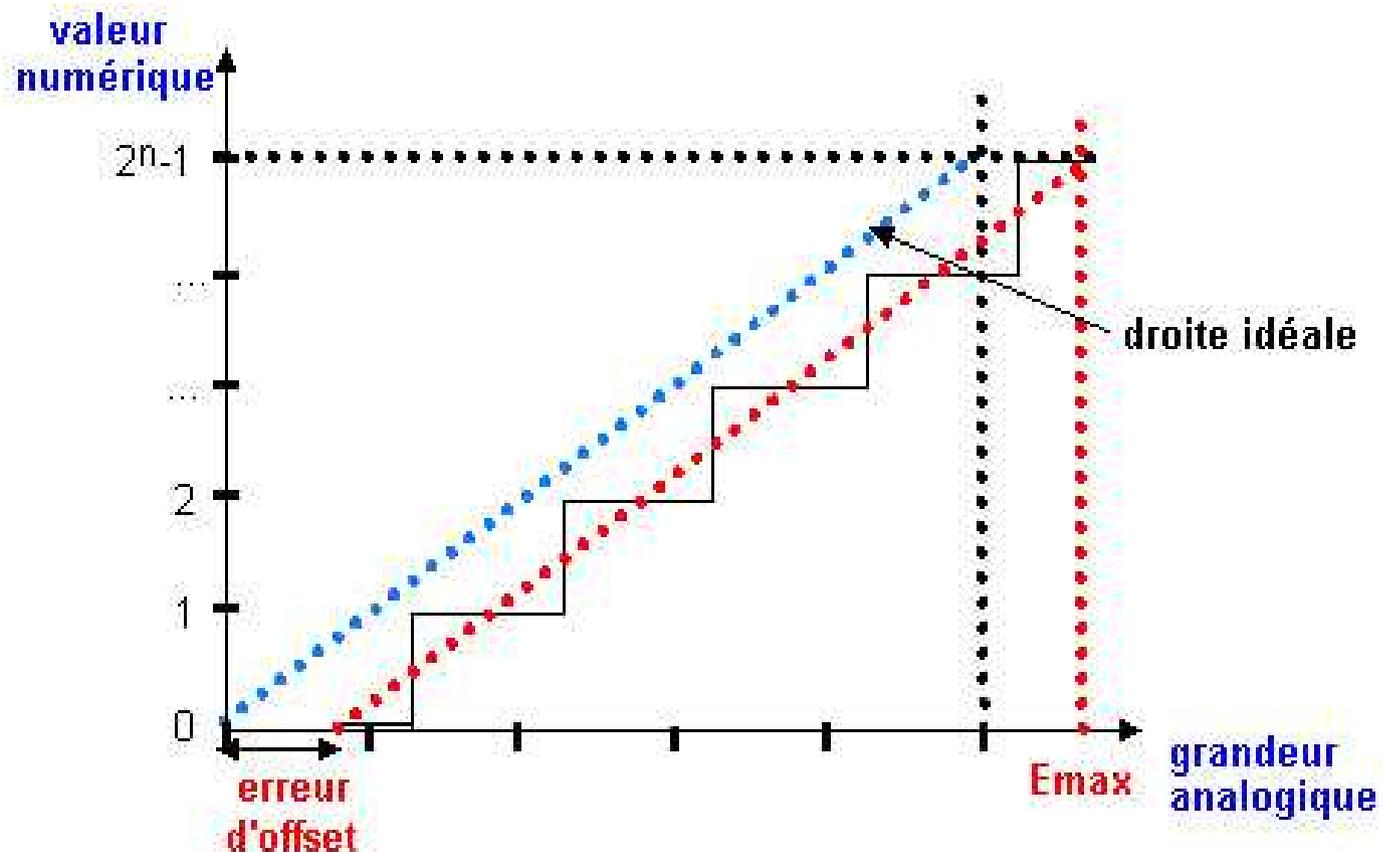


- Sources d'erreurs (autres que la quantification)
 - erreur offset
 - erreur de gain
 - erreur de linéarité
 - autres erreurs

Conversion Analogique-Numérique

Sources d'erreur de la conversion A/D

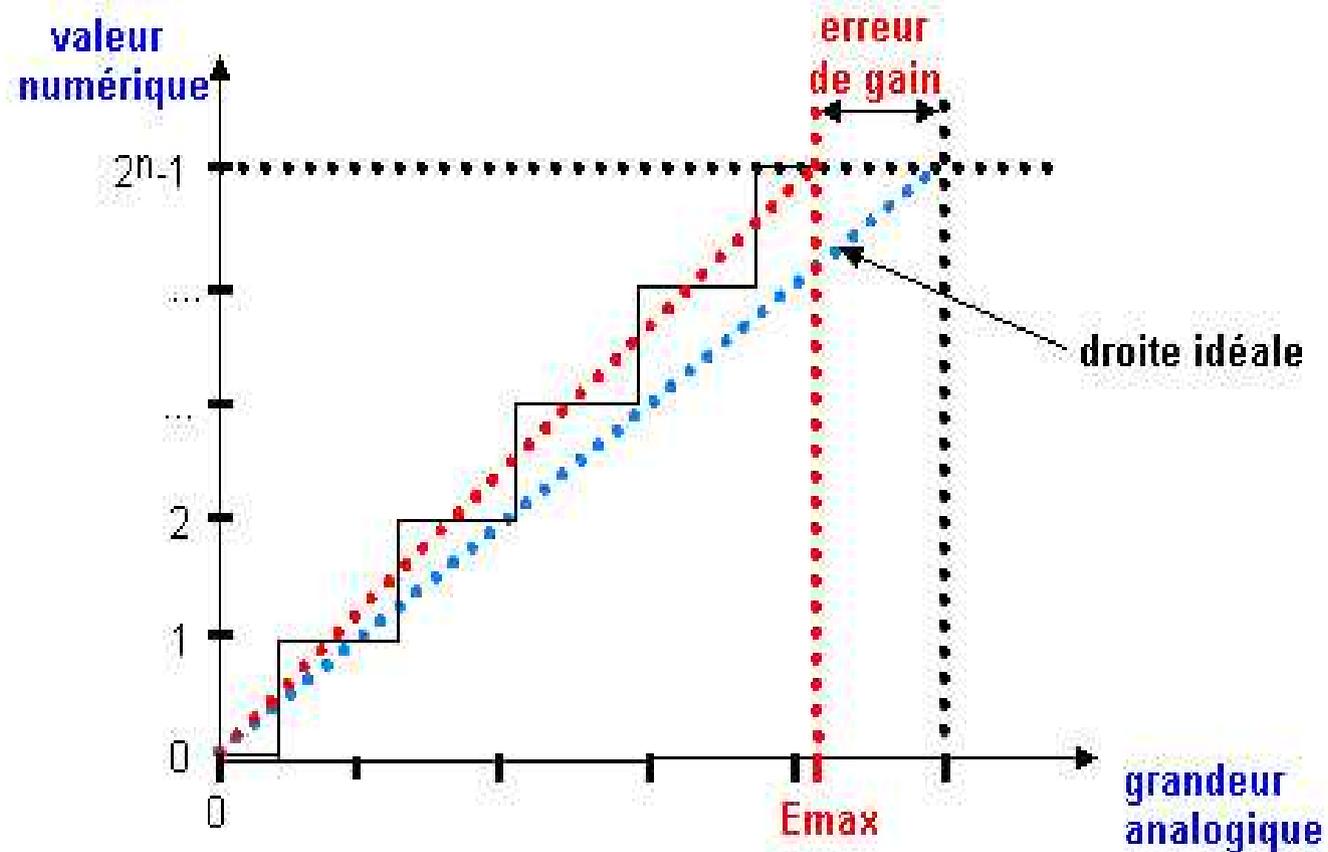
- Offset ou décalage d'origine



Conversion Analogique-Numérique

Sources d'erreur de la conversion A/D

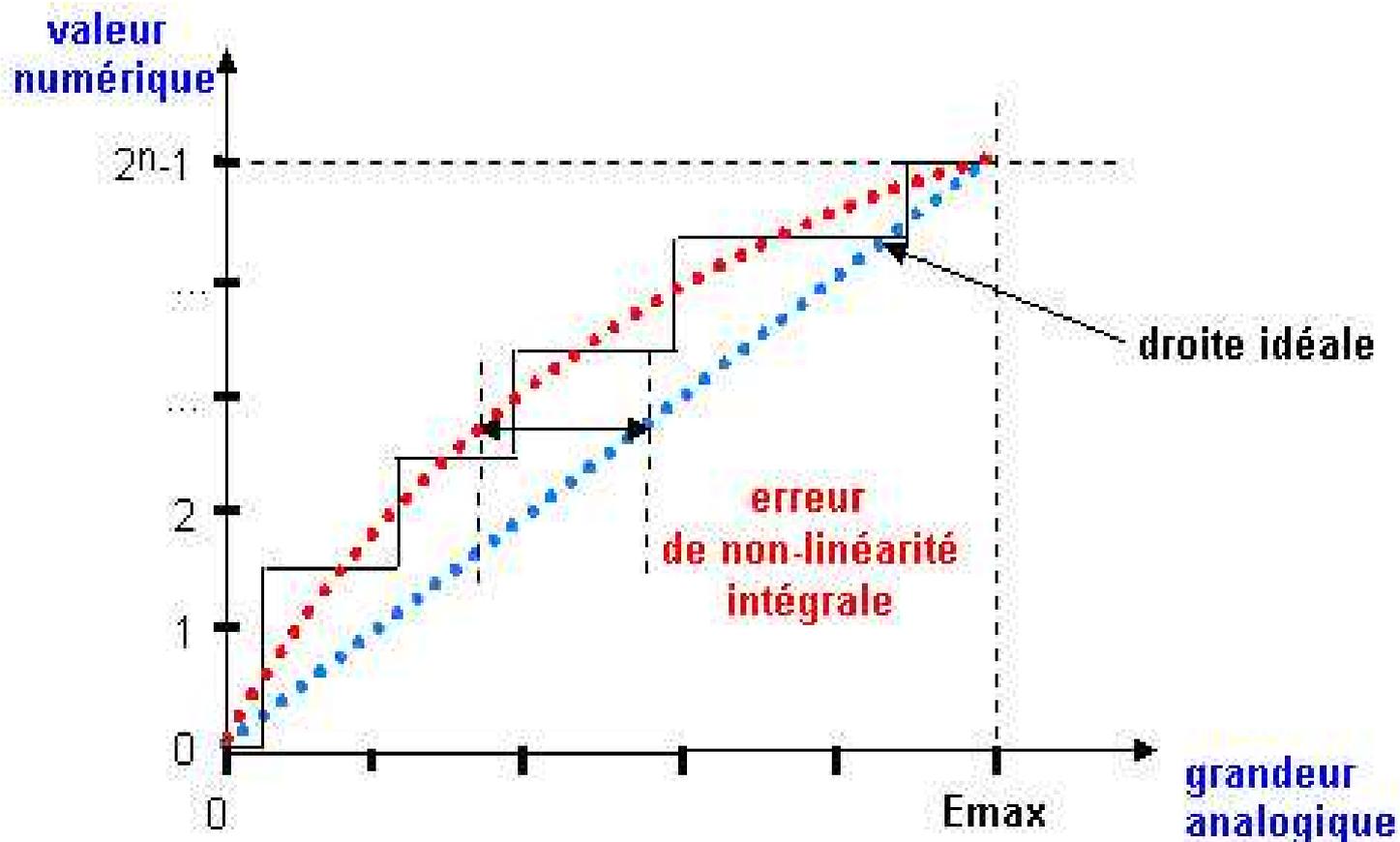
- erreur de gain



Conversion Analogique-Numérique

Sources d'erreur de la conversion A/D

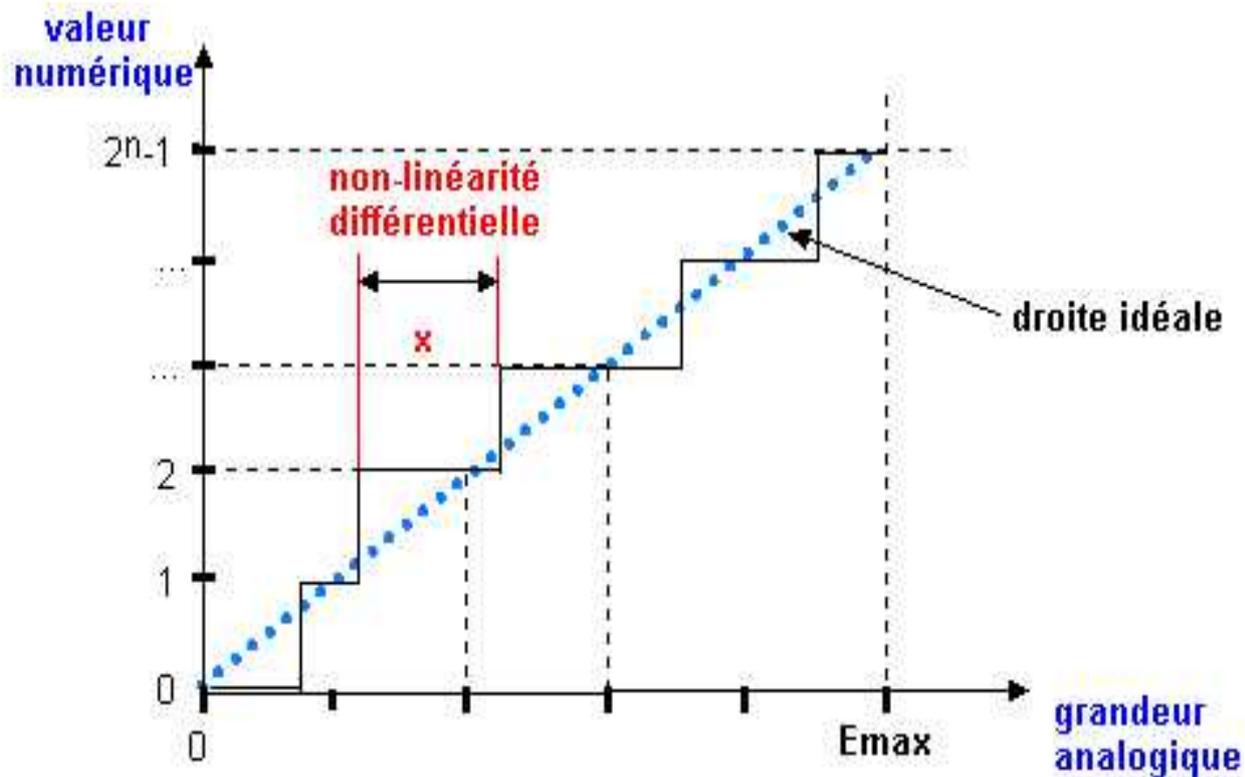
- erreur de linéarité intégrale



Conversion Analogique-Numérique

Sources d'erreur de la conversion A/D

- erreur de linéarité différentielle



⇒ l'erreur de linéarité différentielle est $x - q$

Conversion Analogique-Numérique

Sources d'erreur de la conversion A/D

Autres sources d'erreur de la conversion A/D

- codes manquants
- non-mono tonicité du codage
- dérive de la référence
- grandeurs d'influence externes (température, tension alimentation...)

Conversion Analogique-Numérique

Exemple de convertisseur

- Convertisseur Sigma/Delta



Low Voltage, Low Power,
Factory-Calibrated 16-/24-Bit Dual Σ - Δ ADC

AD7719

FEATURES

HIGH RESOLUTION Σ - Δ ADCs
2 Independent ADCs (16- and 24-Bit Resolution)
Factory-Calibrated (Field Calibration Not Required)
Output Settles in 1 Conversion Cycle (Single Conversion Mode)
Programmable Gain Front End
Simultaneous Sampling and Conversion of 2 Signal Sources
Separate Reference Inputs for Each Channel
Simultaneous 50 Hz and 60 Hz Rejection at 20 Hz Update Rate

ISOURCE Select™

24-Bit No Missing Codes—Main ADC

APPLICATIONS

Sensor Measurement
Temperature Measurement
Pressure Measurement
Weigh Scales
Portable Instrumentation
4 to 20 mA Transmitters

Conversion Analogique-Numérique

Exemple de convertisseur

- Convertisseur Sigma/Delta

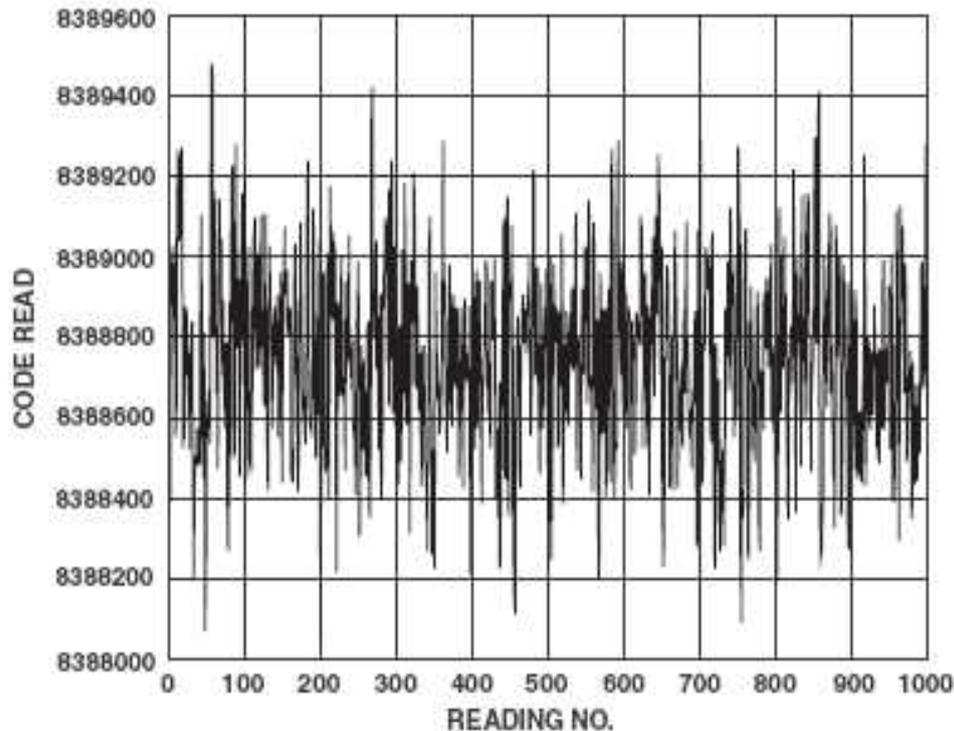
AD7719–SPECIFICATIONS¹ ($V_{DD} = 2.7\text{ V to }3.6\text{ V or }4.75\text{ V to }5.25\text{ V}$, $DV_{DD} = 2.7\text{ V to }3.6\text{ V or }4.75\text{ V to }5.25\text{ V}$, $REFIN(+)=2.5\text{ V}$; $REFIN(-)=AGND$; $AGND=DGND=0\text{ V}$; $XTAL1/XTAL2=32.768\text{ kHz Crystal}$; all specifications T_{MIN} to T_{MAX} unless otherwise noted.)

Parameter	AD7719B	Unit	Test Conditions
ADC CHANNEL SPECIFICATION			
Output Update Rate	5.4 105	Hz min Hz max	Both Channels Synchronized 0.732 ms Increments
MAIN CHANNEL			
No Missing Codes ²	24	Bits min	20 Hz Update Rate
Resolution	13 18	Bits p-p Bits p-p	$\pm 20\text{ mV Range}$, 20 Hz Update Rate $\pm 2.56\text{ V Range}$, 20 Hz Update Rate
Output Noise and Update Rates	See Tables II to V		
Integral Nonlinearity	± 10	ppm of FSR max	Typically 2 ppm. $FSR = \frac{2 \times 1.024 REFIN1}{Gain}$
Offset Error ³	± 3	$\mu\text{V typ}$	
Offset Error Drift vs. Temperature ⁴	± 10	$\text{nV}/^\circ\text{C typ}$	
Full-Scale Error ^{5, 8, 9}	± 10	$\mu\text{V typ}$	At the Calibrated Conditions
Gain Drift vs. Temperature ⁴	± 0.5	$\text{ppm}/^\circ\text{C typ}$	
Power Supply Rejection (PSR)	80	dB min	Input Range = $\pm 2.56\text{ V}$, 100 dB typ. 110 dB typ on $\pm 20\text{ mV Range}$

Conversion Analogique-Numérique

Exemple de convertisseur

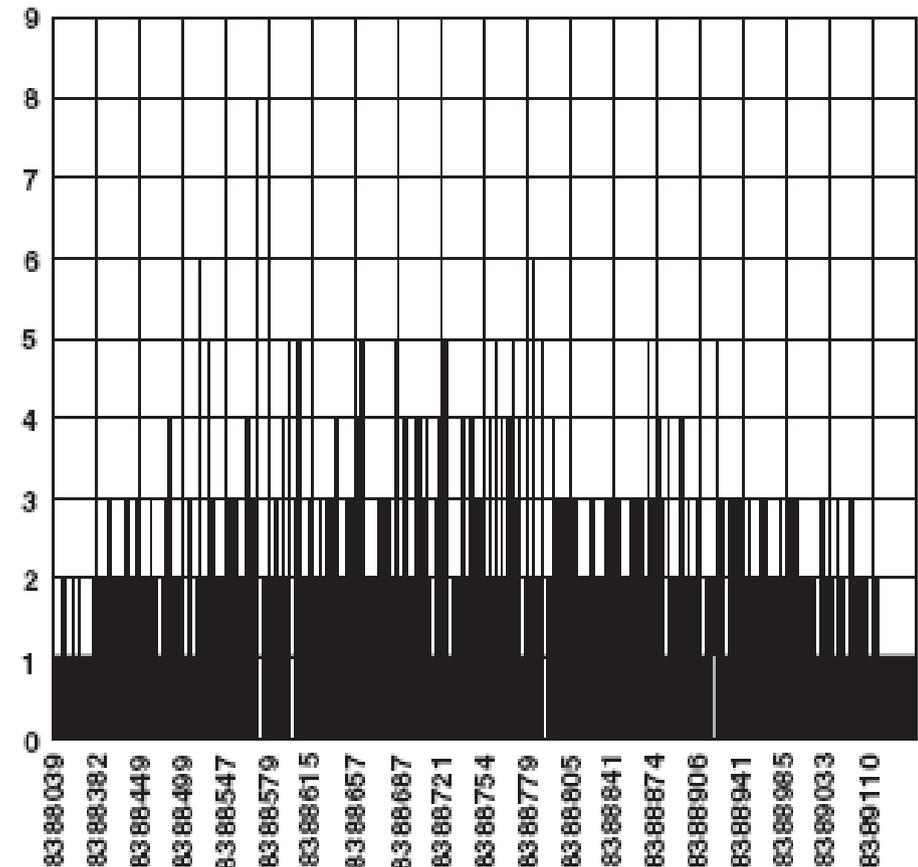
● Convertisseur Sigma/Delta



AV_{DD} = DV_{DD} = 5V
INPUT RANGE = ± 20 mV
REFIN1(+)-REFIN1(-) = 2.5V
UPDATE RATE = 19.79Hz

MAIN ADC IN BUFFERED MODE
RMS NOISE = 0.58 μ V rms
T_A = 25°C
V_{REF} = 2.5V

TPC 1. Typical Noise Plot on ± 20 mV Input Range with 19.79 Hz Update Rate

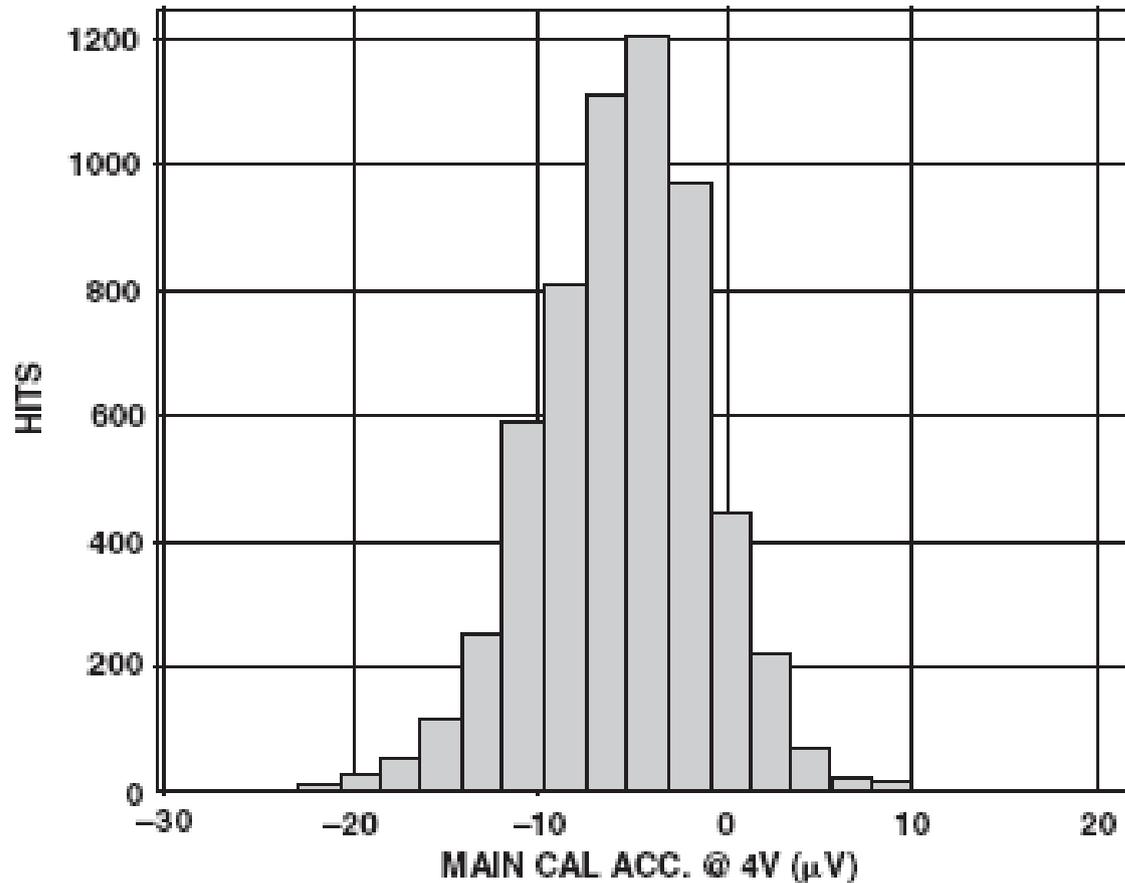


TPC 2. Noise Distribution Histogram

Conversion Analogique-Numérique

Exemple de convertisseur

- Convertisseur Sigma/Delta

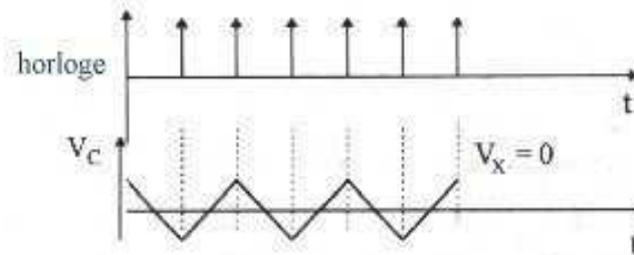
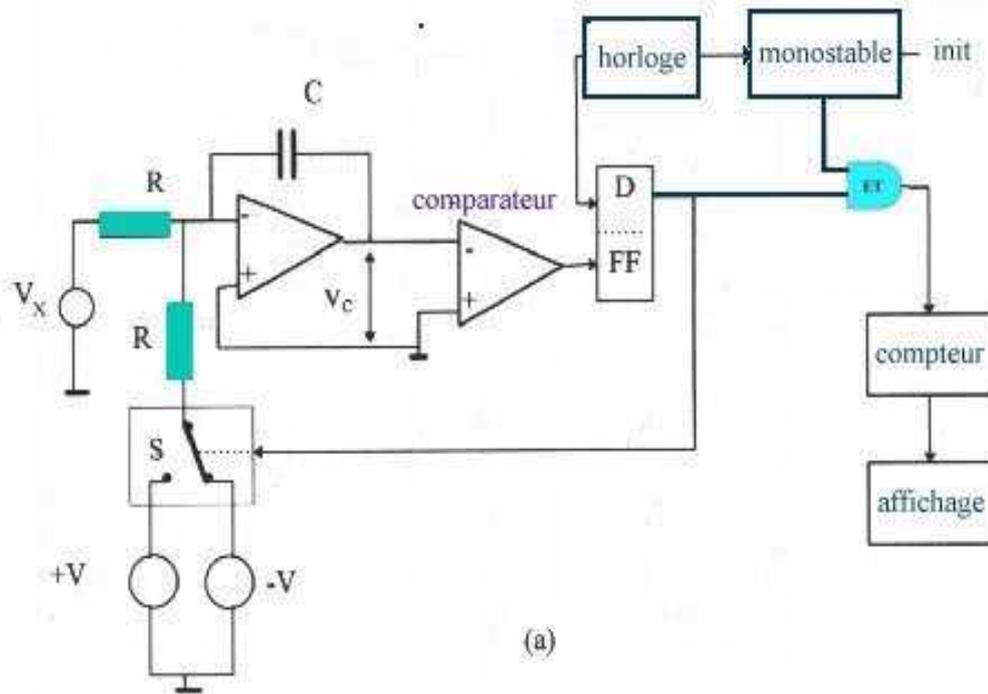


TPC 6. Full-Scale Error Distribution

Conversion Analogique-Numérique

Principe des convertisseurs modernes

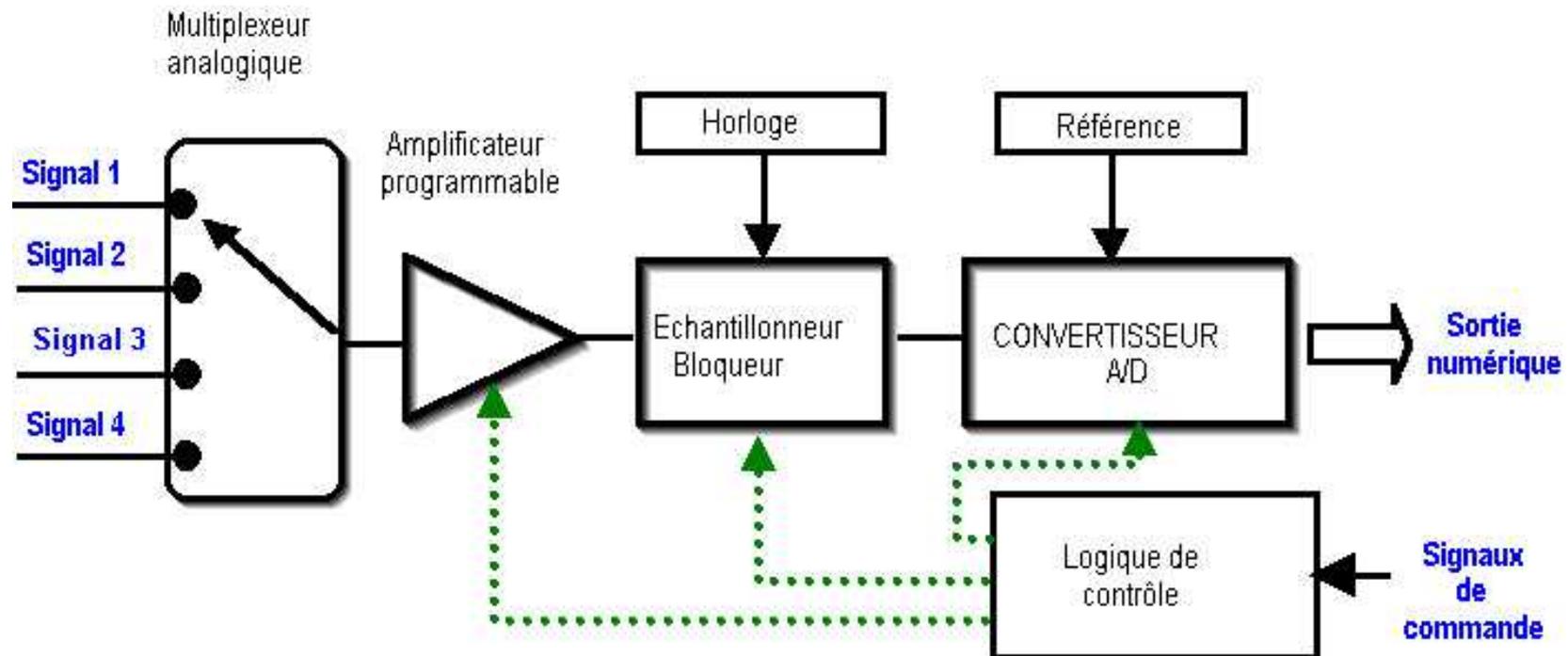
- Convertisseur Sigma/Delta



Conversion Analogique-Numérique

Systeme d'acquisition analogique multiplexé

⇒ Les voies analogiques sont converties avec la même précision

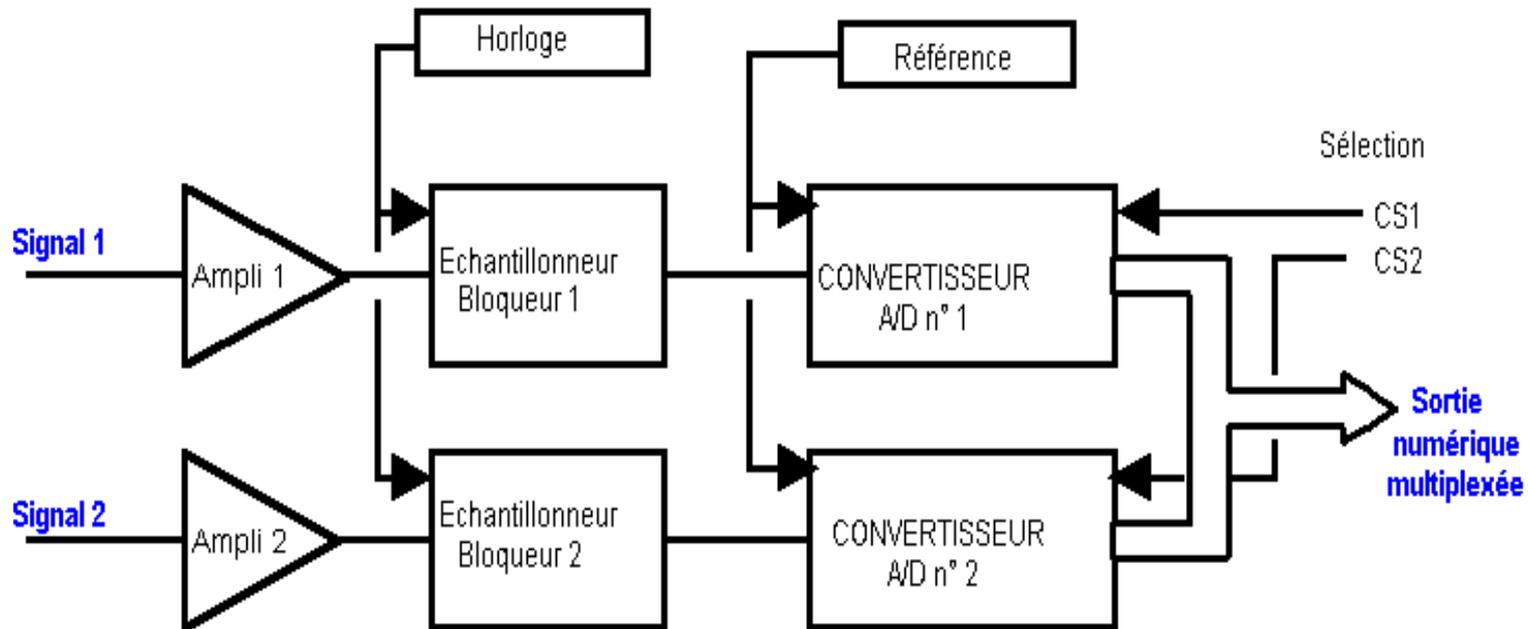


⇒ Les acquisitions sont décalées dans le temps

Conversion Analogique-Numérique

Système d'acquisition analogique parallèle

⇒ Les voies analogiques sont converties en synchronisme



⇒ **Les acquisitions ont des sources d'erreur séparées**