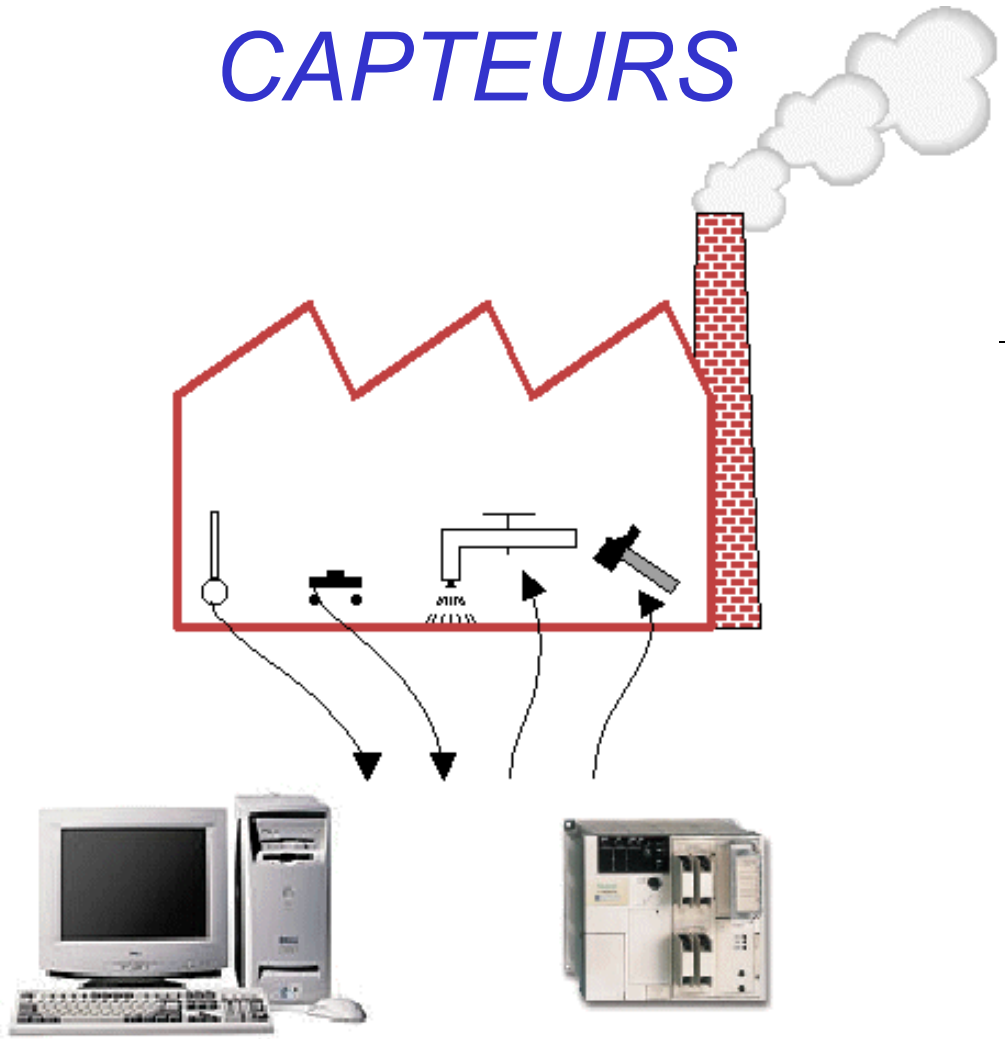
CAPTEURS



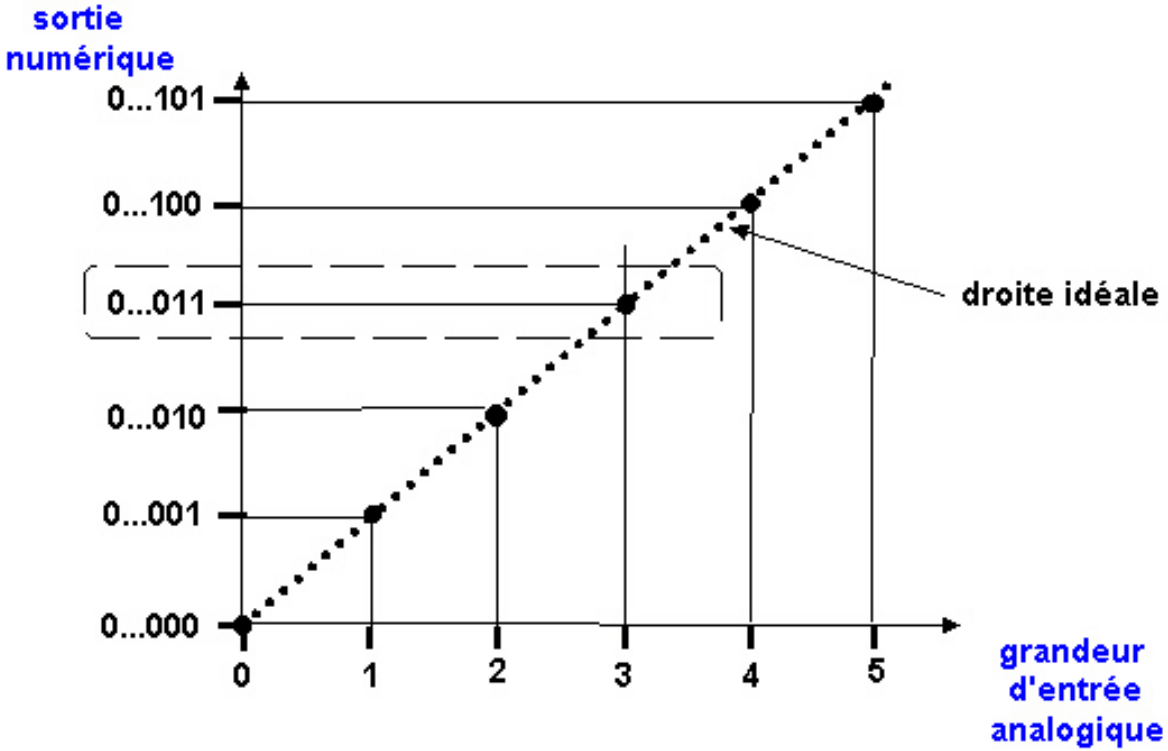
Pierre BONNET

Plan du Cours

Numérisation et transport des signaux

- Conversion numérique
- Isolation des signaux
- Transport, perturbations, protection
- Standards industriels

PRECISION DE LA CONVERSION ANALOGIQUE/NUMERIQUE



CONVERSION ANALOGIQUE/NUMERIQUE

Signal analogique

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

exemple : variation de 1 μV pour un signal {0 , 1V}

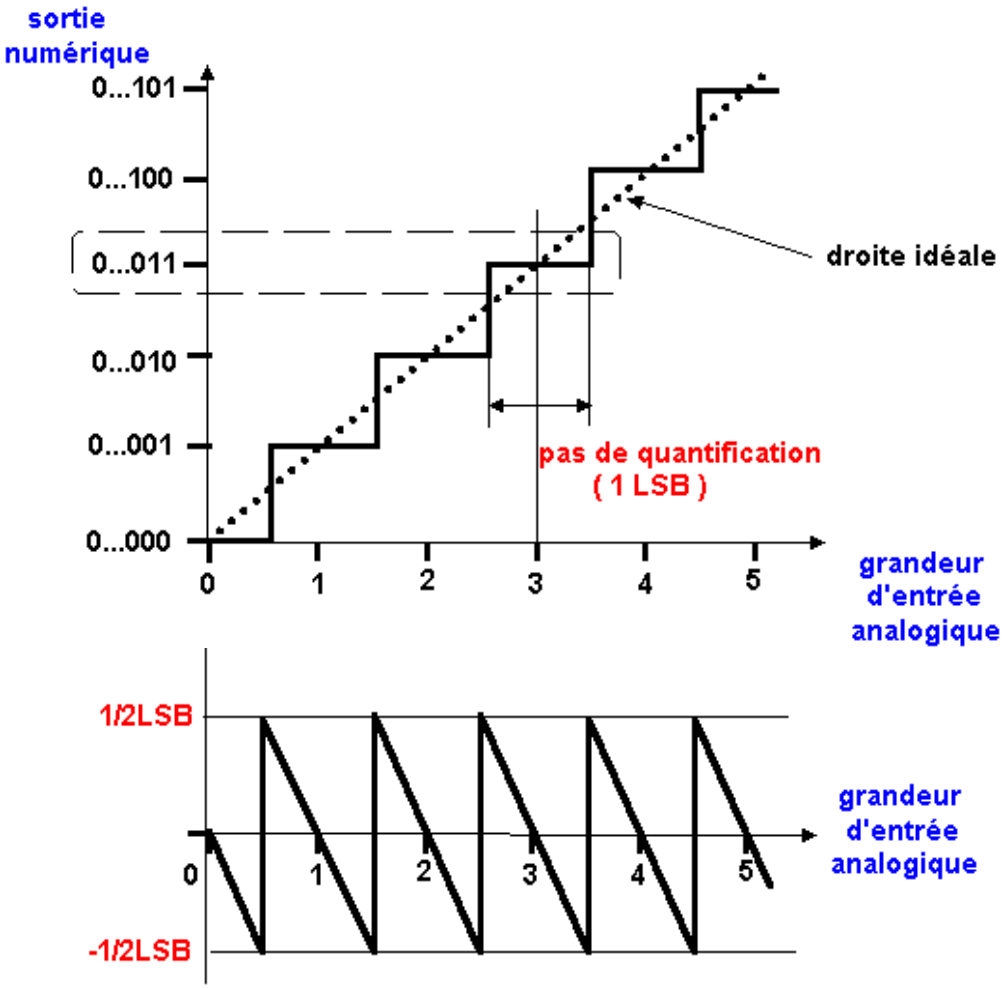
Signal numérique

⇨ 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/NUMERIQUE



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

⇨ 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 1/2x4096
soit 0,0125%

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

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

Bruit de quantification : calcul du SNR

- soit un convertisseur parfait caractérisé par une fonction de transfert idéale
- Soit *q* le pas de quantification correspondant au LSB (Least Significant Bit) le pas *q* vaut $1/2^n$ de la pleine échelle de mesure.
- On applique un signal sinusoïdal d 'amplitude crête A et de pulsation ω
- Calcul

Bruit de quantification : SNR d 'un convertisseur

- $$SNR_{dB} = 1,76 + 6\,.02\,n$$

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*

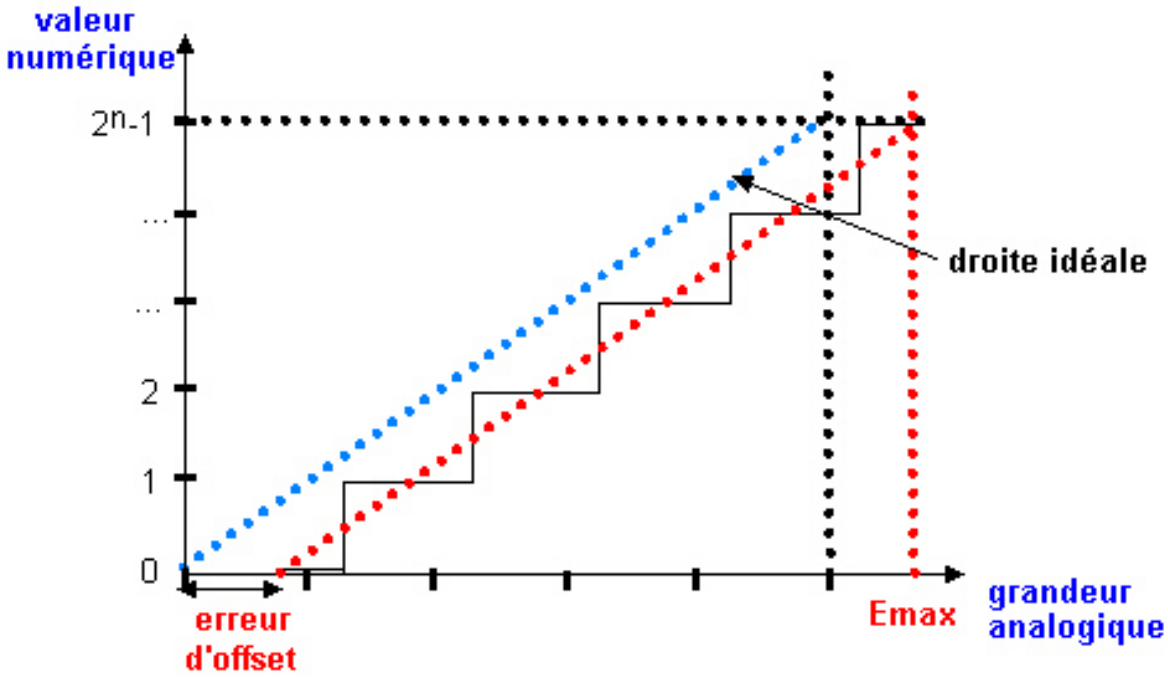
Sources d 'erreur de la conversion A/D

- 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

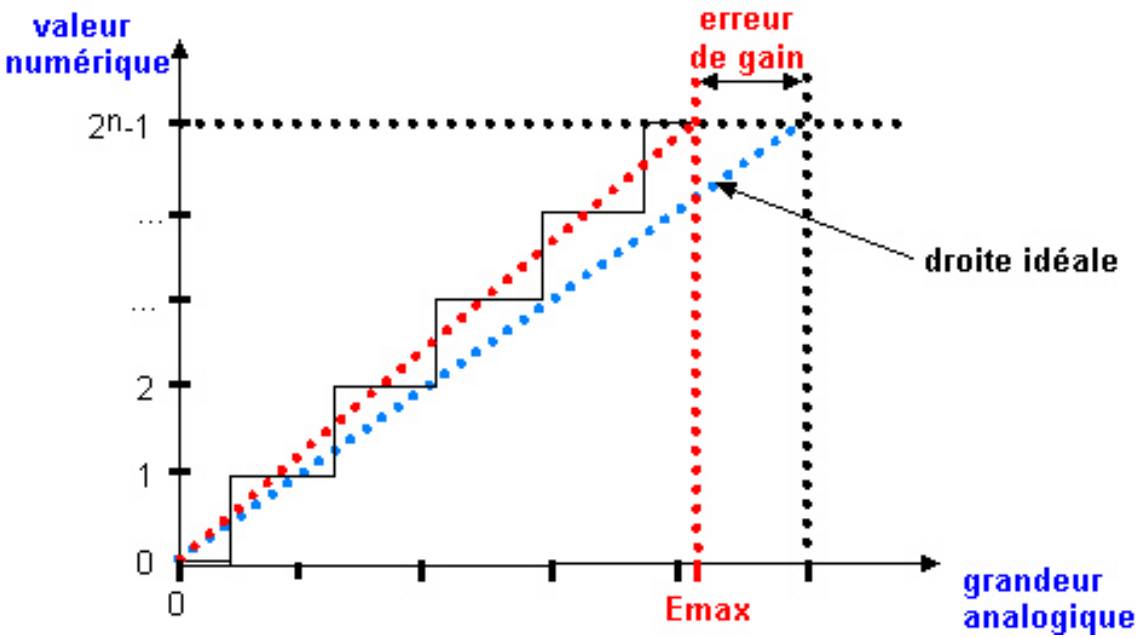
Sources d 'erreur de la conversion A/D

- Offset ou décalage d 'origine



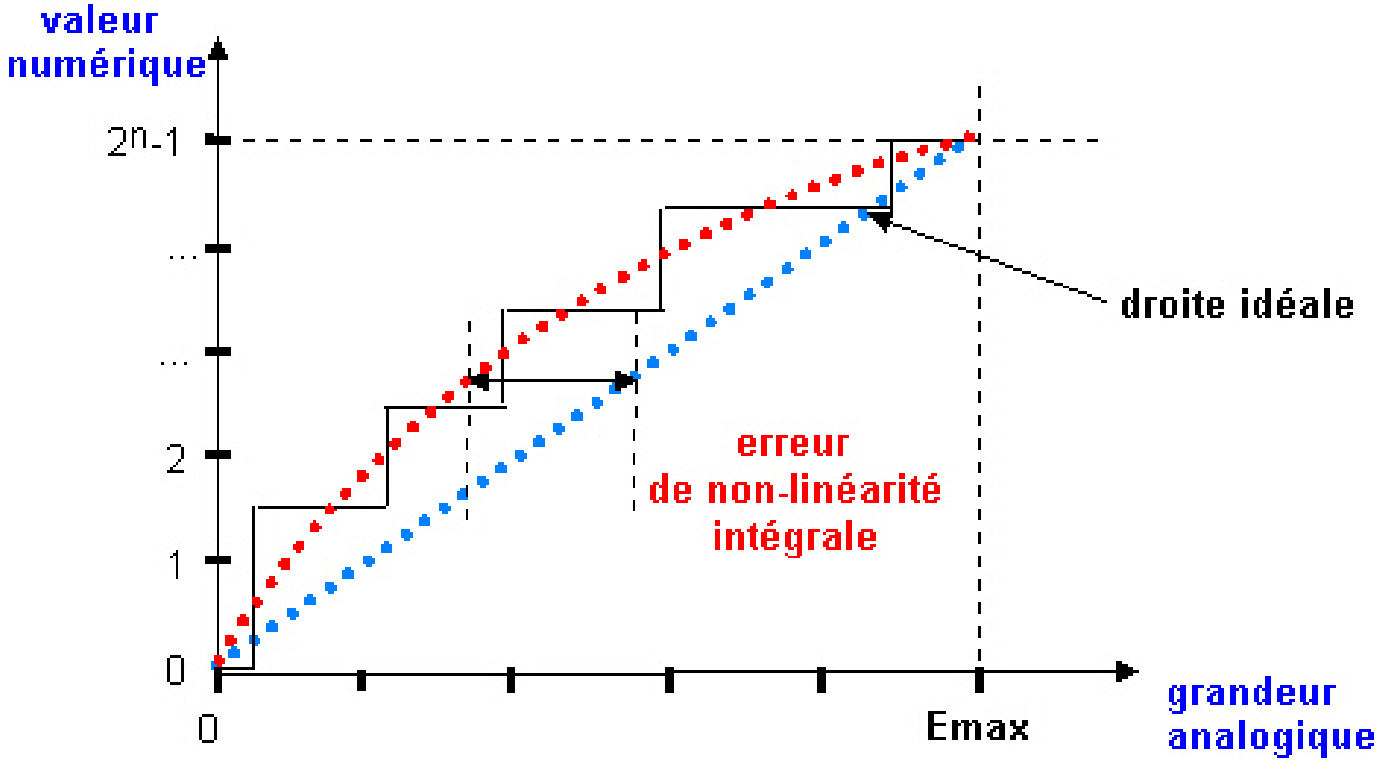
Sources d 'erreur de la conversion A/D

- erreur de gain



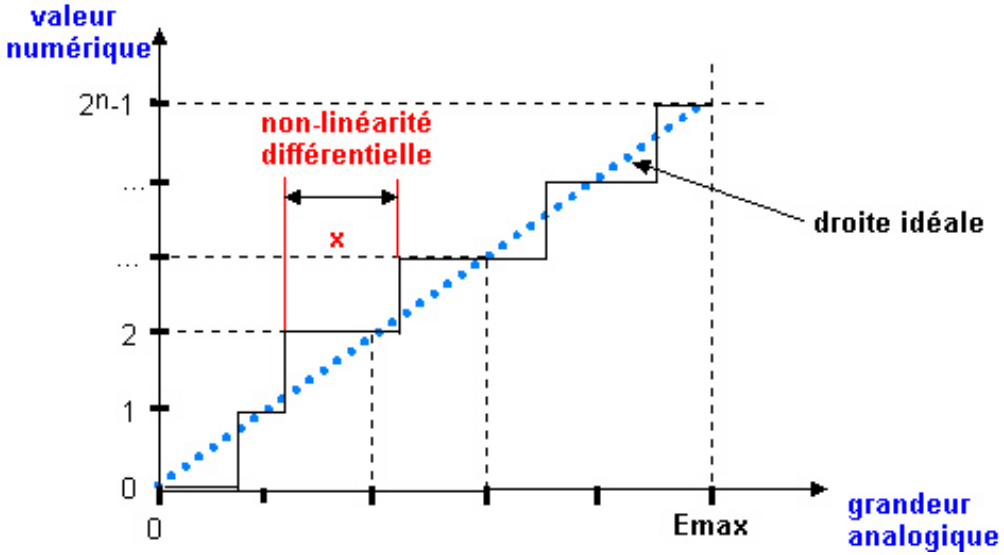
Sources d 'erreur de la conversion A/D

- erreur de linéarité intégrale



Sources d 'erreur de la conversion A/D

- erreur de linéarité différentielle



⇨ l 'erreur de linéarité différentielle est x - q

Autres sources d 'erreur de la conversion A/D

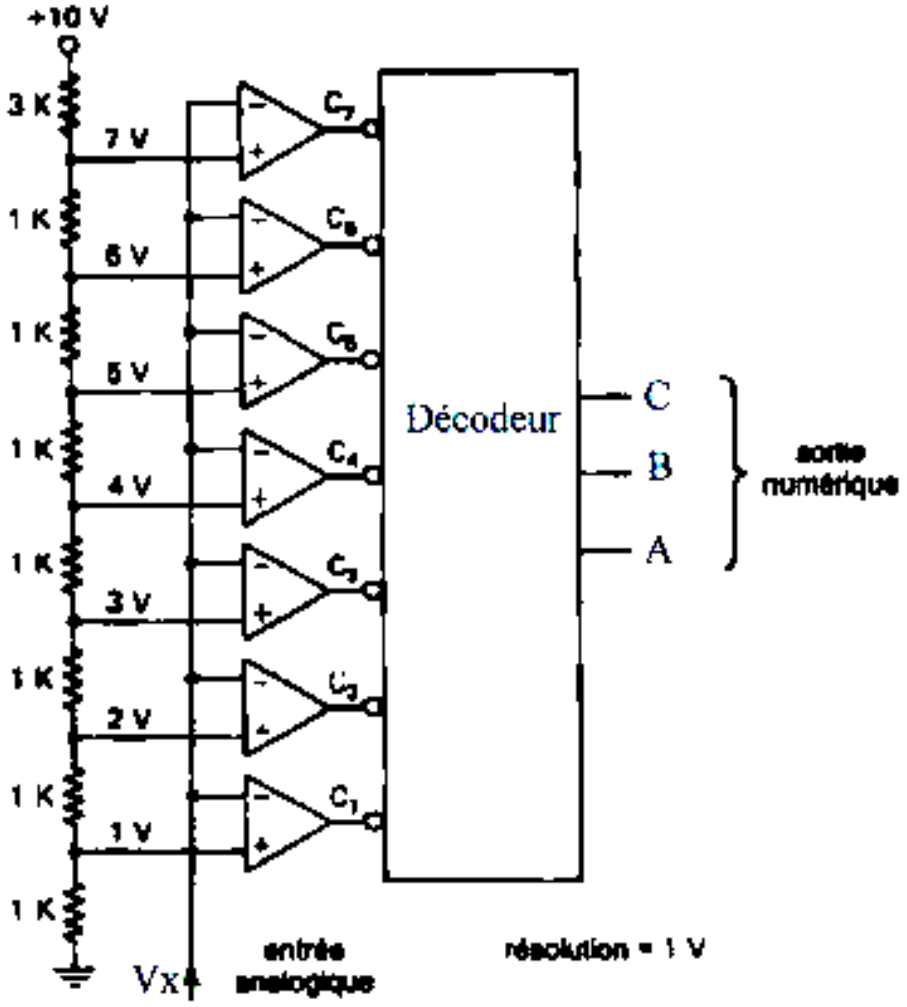
- codes manquants
- non-mono tonicité du codage
- dérive de la référence
- grandeurs d 'influence externes (température, tension alimentation...)

Évaluation globale des performances de conversion

- mesure de l ' ENOB

Principe des convertisseurs A/D

- Convertisseur Flash



Principe des convertisseurs A/D

- Convertisseur Flash

ANALOG DEVICES

8-Bit, 250 MSPS 3.3 V A/D Converter

AD9481

FEATURES

DNL = ±0.35 LSB
INL = ±0.26 LSB
Single 3.3 V supply operation (3.0 V to 3.6 V)
Power dissipation of 439 mW at 250 MSPS
1 V p-p analog input range
Internal 1.0 V reference
Single-ended or differential analog inputs
De-multiplexed CMOS outputs
Power-down mode
Clock duty cycle stabilizer

APPLICATIONS

Digital oscilloscopes
Instrumentation and measurement
Communications
  Point-to-point radios
  Digital predistortion loops

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM

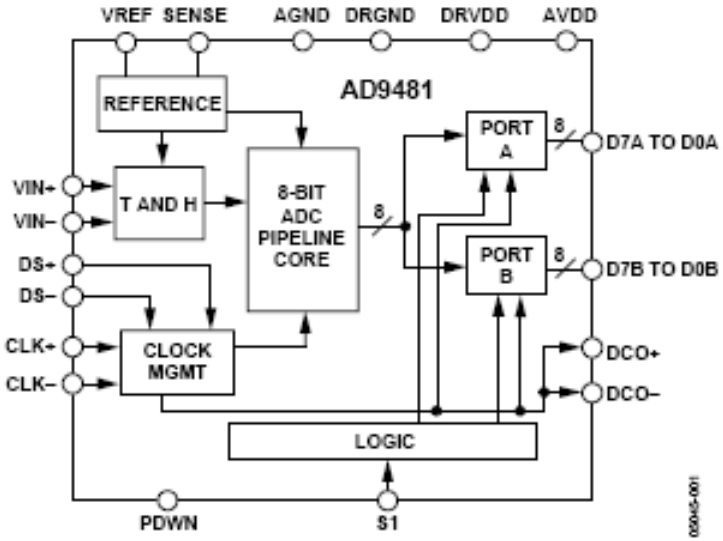


Figure 1.

Principe des convertisseurs A/D

- Convertisseur Flash

AD9481

DC SPECIFICATIONS

AVDD = 3.3 V, DRVDD = 3.3 V; T_{MIN} = –40°C, T_{MAX} = +85°C, A_{IN} = –1 dBFS, full scale = 1.0 V, internal reference, differential analog and clock inputs, unless otherwise noted.

Table 1.

			AD9481-250			
Parameter	**Temp**	**Test Level**	**Min**	**Typ**	**Max**	**Unit**
RESOLUTION				8		Bits
ACCURACY						
No Missing Codes	Full	VI		Guaranteed		
Offset Error	25°C	I	–40		40	mV
Gain Error[1]	25°C	I	–6.0		6.0	% FS
Differential Nonlinearity (DNL)	Full	VI	–0.85	±0.35	0.85	LSB
Integral Nonlinearity (INL)	Full	VI	–0.9	±0.26	0.9	LSB
TEMPERATURE DRIFT						
Offset Error	Full	V		30		µV/°C
Gain Error	Full	V		0.03		% FS/°C
Reference	Full	V		±0.025		mV/°C

Principe des convertisseurs A/D

- Convertisseur Flash

AC SPECIFICATIONS

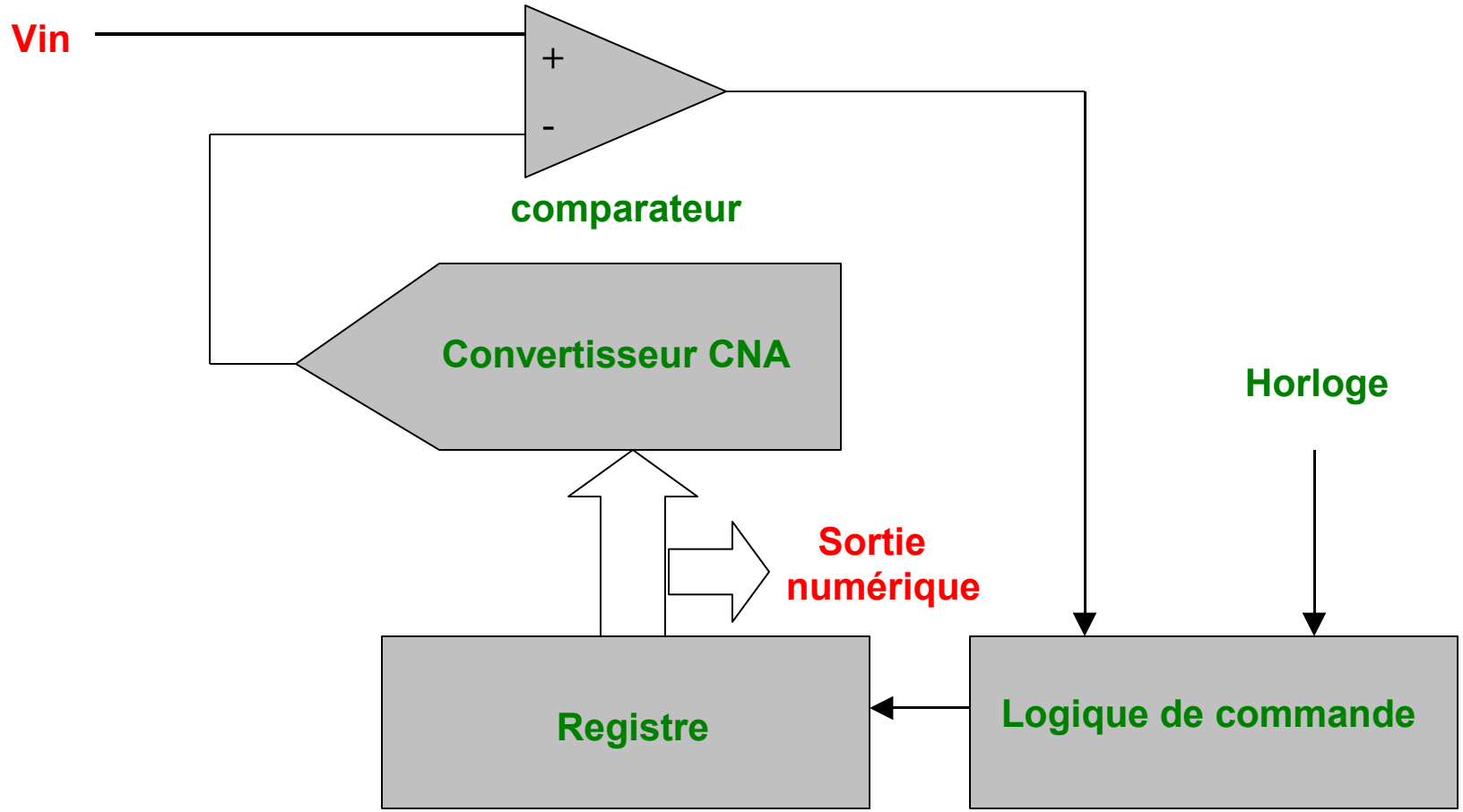
AVDD = 3.3 V, DRVDD = 3.3 V; T_{MIN} = −40°C, T_{MAX} = +85°C, A_{IN} = −1 dBFS, full scale = 1.0 V, internal reference, differential analog and clock inputs, unless otherwise noted.

Table 3.

Parameter	Temp	Test Level	AD9481-250 Min	Typ	Max	Unit
SIGNAL-TO-NOISE RATIO (SNR)						
f_{IN} = 19.7 MHz	25°C	V		46		dB
f_{IN} = 70.1 MHz	25°C	I	44.5	45.7		dB
SIGNAL-TO-NOISE AND DISTORTION (SINAD)						
f_{IN} = 19.7 MHz	25°C	V		45.9		dB
f_{IN} = 70.1 MHz	25°C	I	44.4	45.7		dB
EFFECTIVE NUMBER OF BITS (ENOB)						
f_{IN} = 19.7 MHz	25°C	V		7.5		Bits
f_{IN} = 70.1 MHz	25°C	I	7.2	7.5		Bits
WORST SECOND OR THIRD HARMONIC DISTORTION						
f_{IN} = 19.7 MHz	25°C	V		−64.8		dBc
f_{IN} = 70.1 MHz	25°C	I		−64.8	−54	dBc
WORST OTHER						
f_{IN} = 19.7 MHz	25°C	V		−68		dBc
f_{IN} = 70.1 MHz	25°C	I		−65.8	−56	dBc

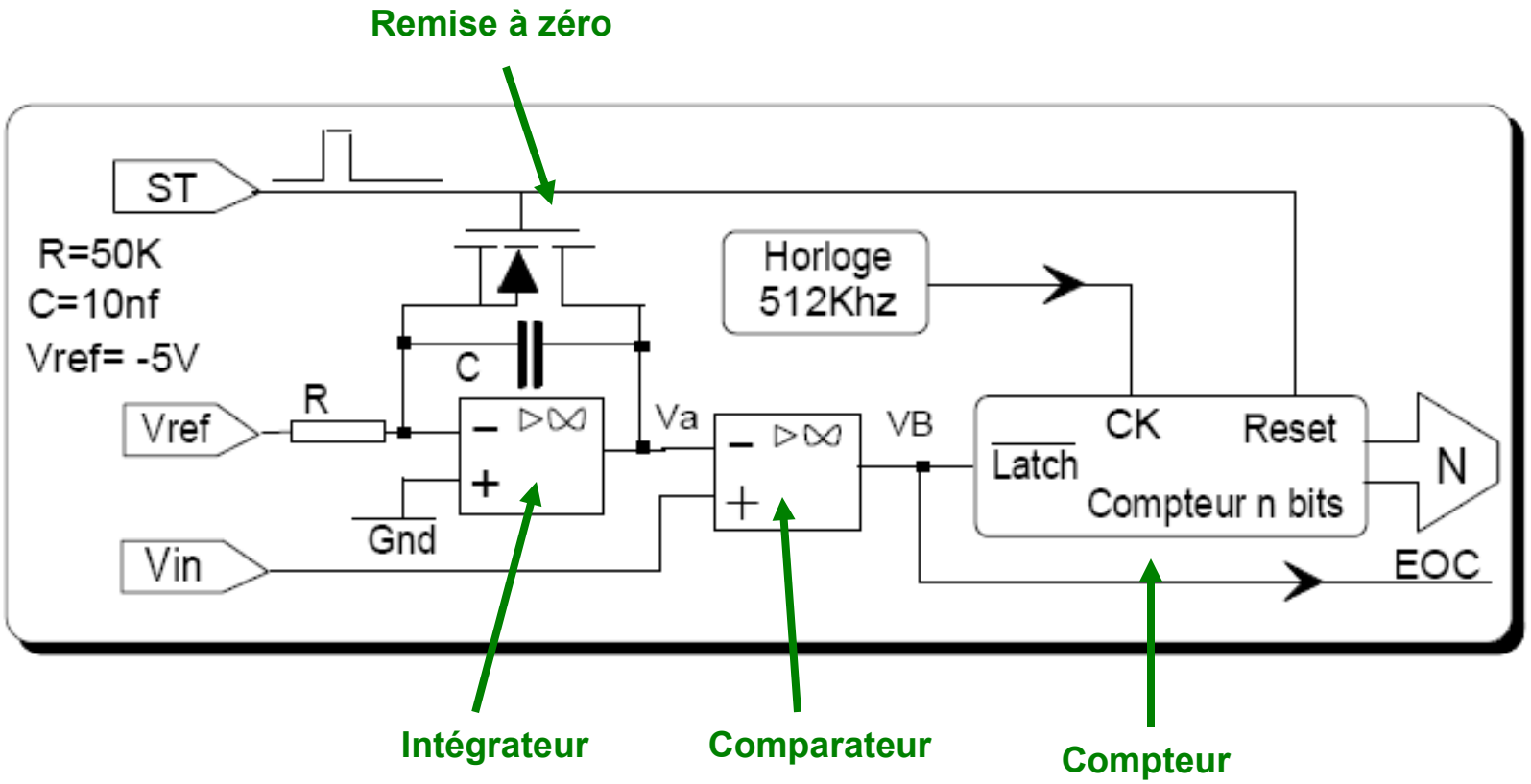
Principe des convertisseurs A/D

- Convertisseur par approximation



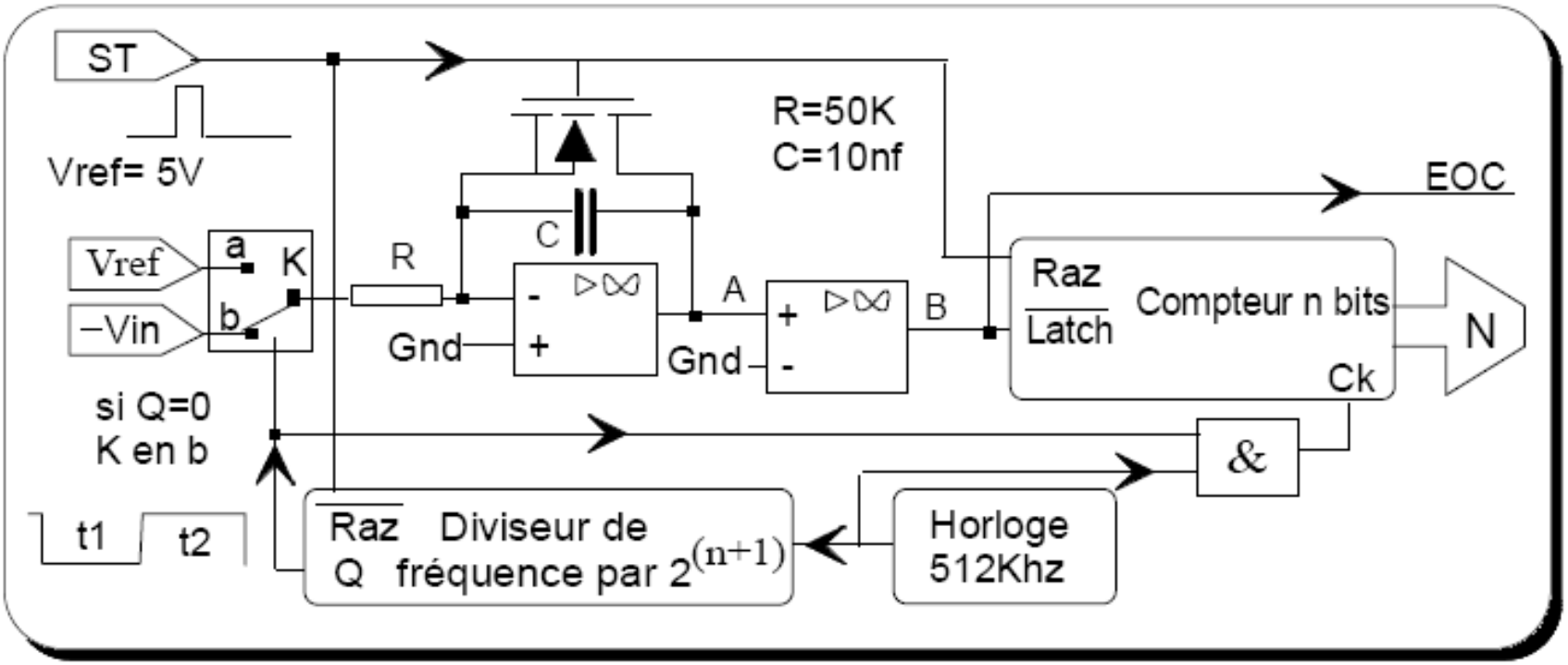
Principe des convertisseurs A/D

- Convertisseur à simple rampe



Principe des convertisseurs A/D

- Convertisseur à double rampe



Principe des convertisseurs A/D

- Convertisseur à double rampe

Phase 1:

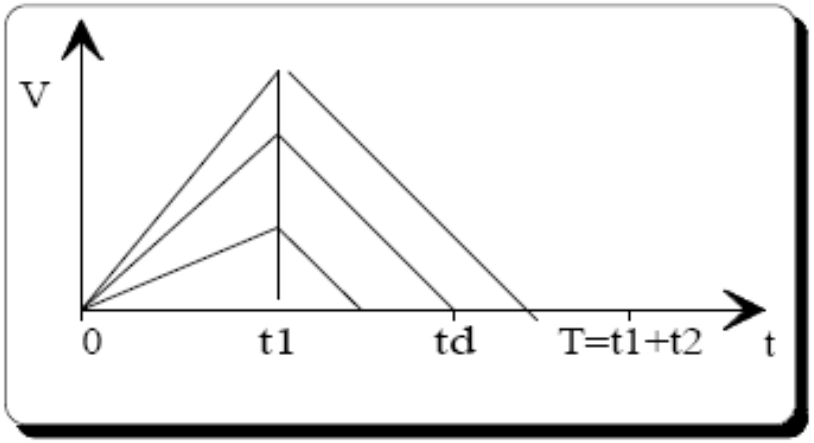
L'inverseur K est positionné sur -Vin .Le condensateur C se charge pendant toute la durée t1 , la pente de charge dépend de la valeur de Vin le compteur ne reçoit pas les impulsions de l'horloge.

Phase 2:

L'inverseur K est positionné sur Vref. Le condensateur C se décharge à pente constante et la durée de décharge dépend de la condition initiale au temps t1. Le compteur reçoit les impulsions de l'horloge.

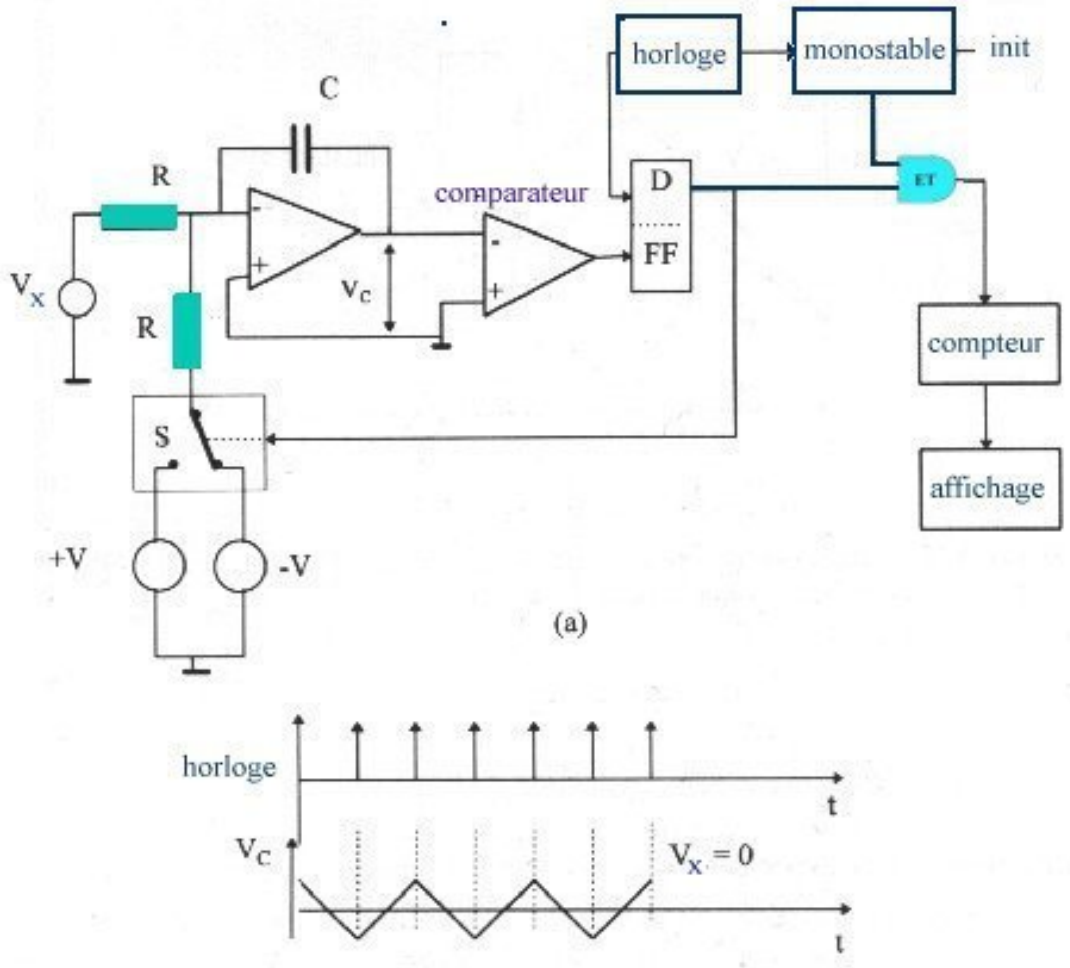
Phase 3:

Lorsque la tension VA devient négative, le comparateur bascule mémorisant le nombre N et activant le signal de fin de conversion.



Principe des convertisseurs A/D

- Convertisseur Sigma/Delta



Principe des convertisseurs A/D

- Convertisseur Sigma/Delta

ANALOG DEVICES

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

Principe des convertisseurs A/D

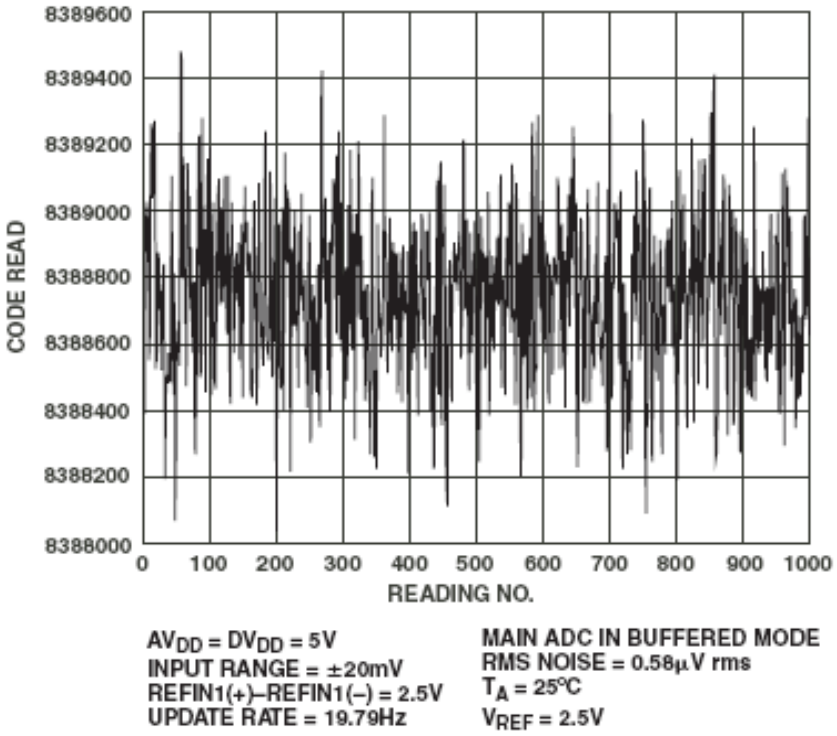
- Convertisseur Sigma/Delta

AD7719—SPECIFICATIONS[1] (AV_{DD} = 2.7 V to 3.6 V or 4.75 V to 5.25 V, DV_{DD} = 2.7 V to 3.6 V or 4.75 V to 5.25 V, REFIN(+) = 2.5 V; REFIN(–) = AGND; AGND = DGND = 0 V; XTAL1/XTAL2 = 32.768 kHz Crystal; all specifications T_{MIN} to T_{MAX} unless otherwise noted.)

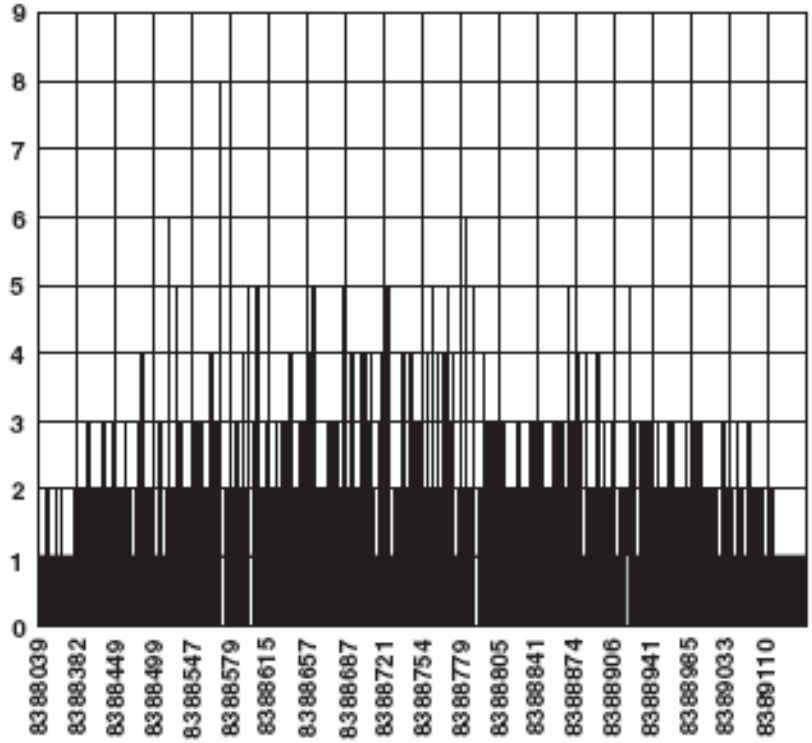
Parameter	AD7719B	Unit	Test Conditions
ADC CHANNEL SPECIFICATION			
Output Update Rate	5.4	Hz min	Both Channels Synchronized
	105	Hz max	0.732 ms Increments
MAIN CHANNEL			
No Missing Codes[2]	24	Bits min	20 Hz Update Rate
Resolution	13	Bits p-p	±20 mV Range, 20 Hz Update Rate
	18	Bits p-p	±2.56 V Range, 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	µV typ	
Offset Error Drift vs. Temperature[4]	±10	nV/°C typ	
Full-Scale Error[5, 8, 9]	±10	µV typ	At the Calibrated Conditions
Gain Drift vs. Temperature[4]	±0.5	ppm/°C typ	
Power Supply Rejection (PSR)	80	dB min	Input Range = ±2.56 V, 100 dB typ. 110 dB typ on ±20 mV Range

Principe des convertisseurs A/D

- Convertisseur Sigma/Delta



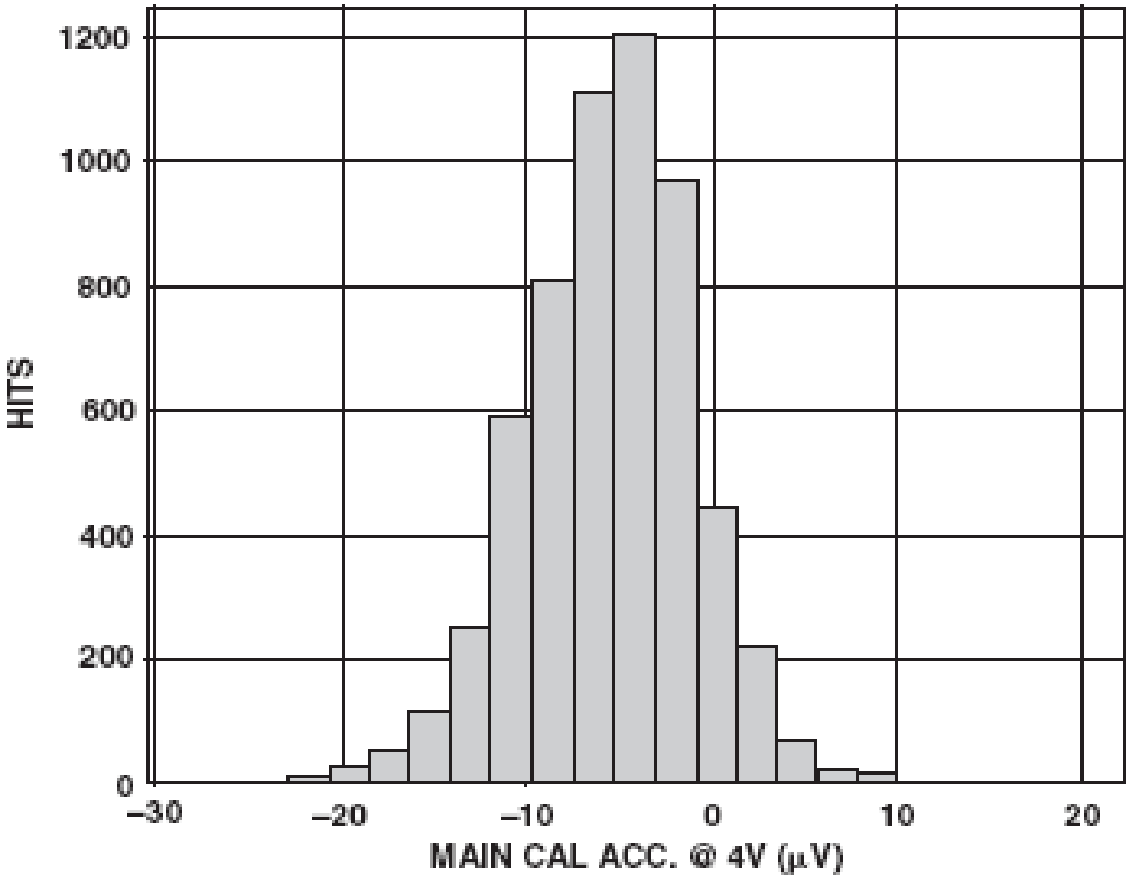
TPC 1. Typical Noise Plot on ±20 mV Input Range with 19.79 Hz Update Rate



TPC 2. Noise Distribution Histogram

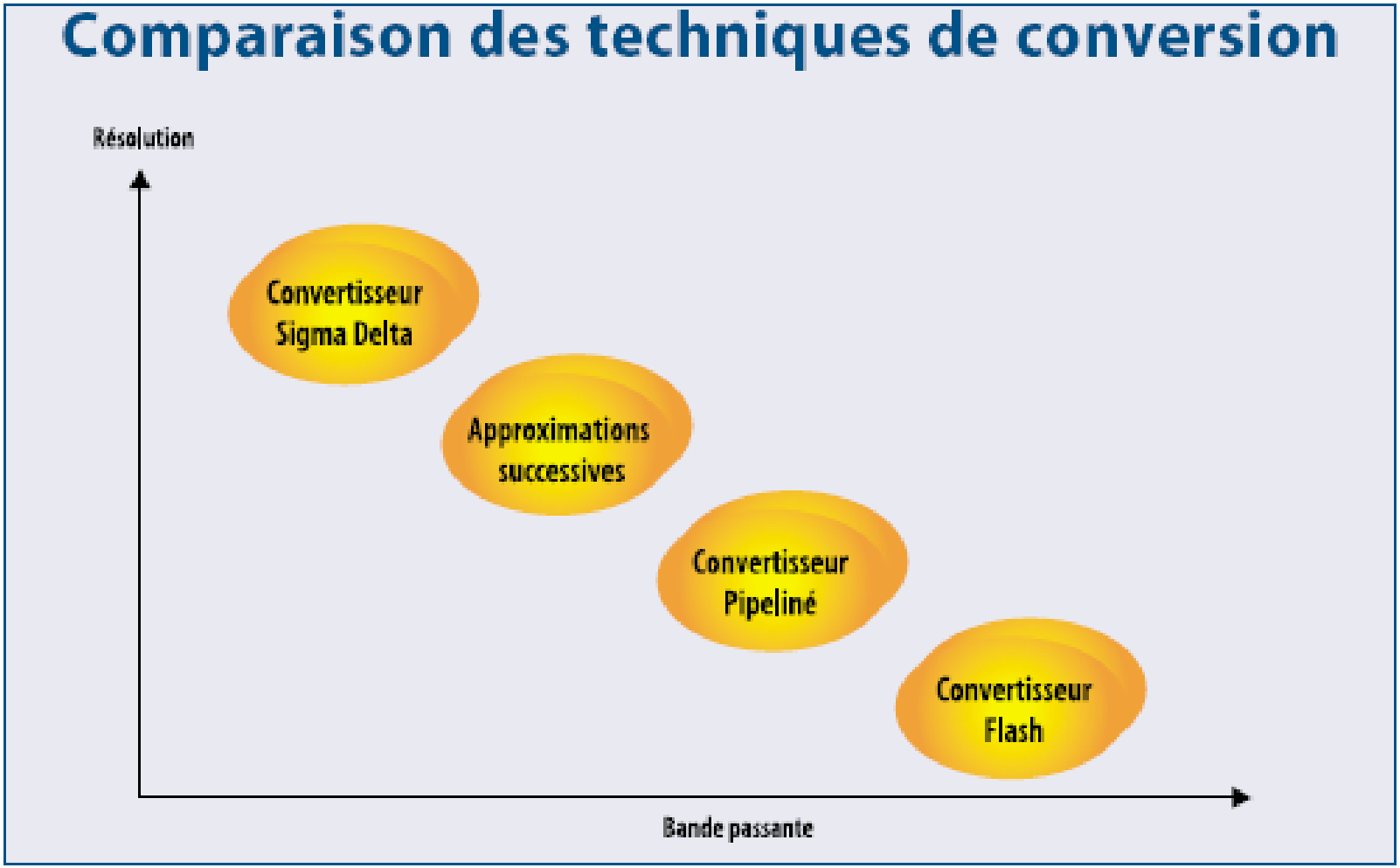
Principe des convertisseurs A/D

- Convertisseur Sigma/Delta



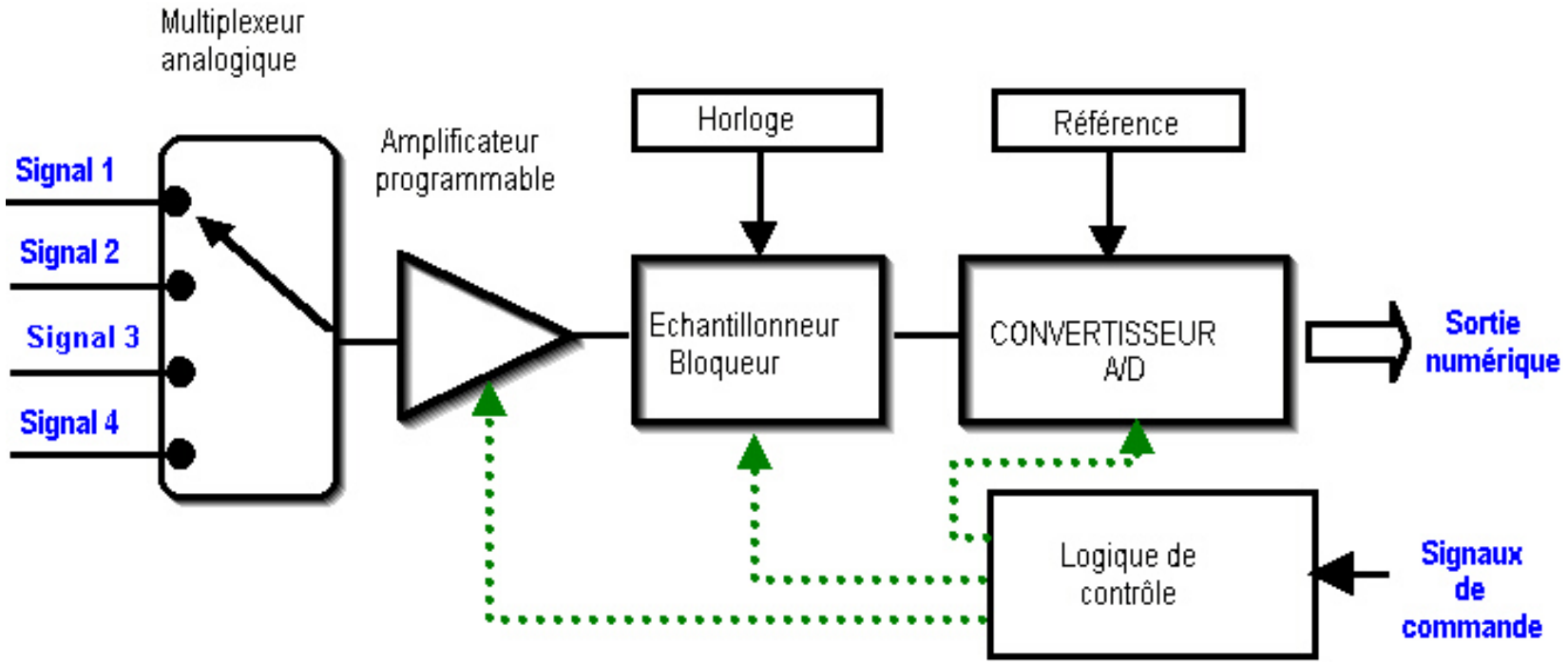
TPC 6. Full-Scale Error Distribution

Principe des convertisseurs A/D



EXEMPLE : Système d 'acquisition analogique multiplexé

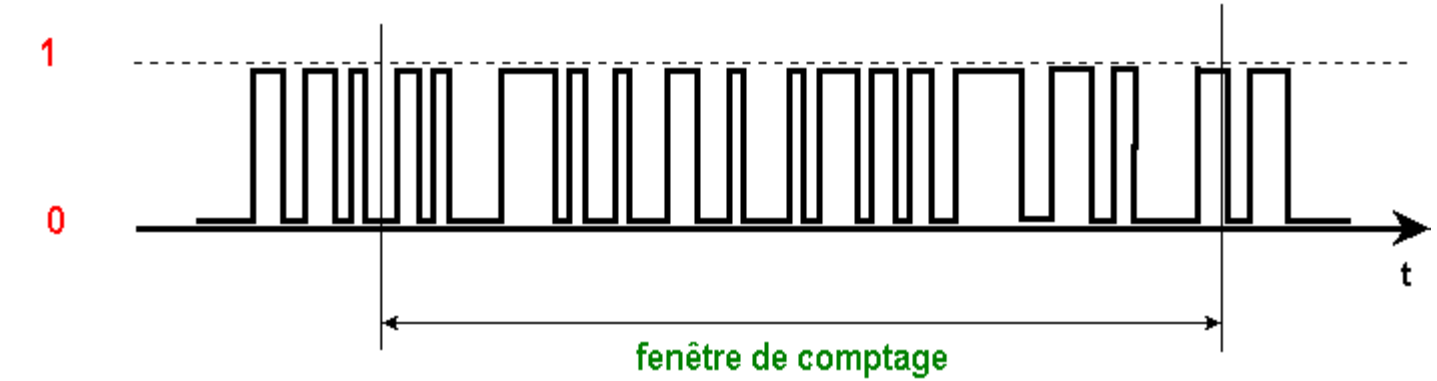
⇨ Les voies analogiques sont converties avec la même précision

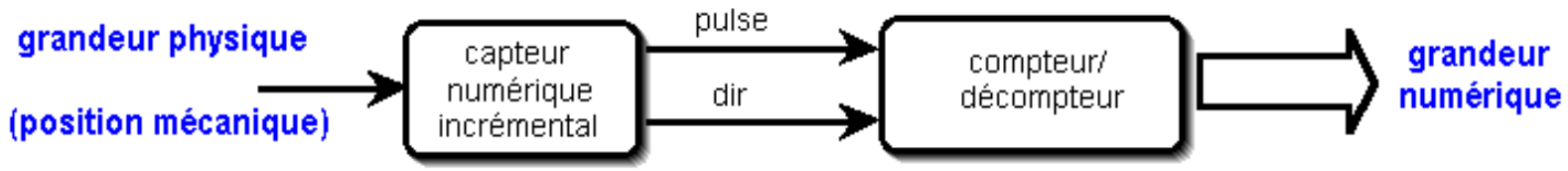


⇨ **Les acquisitions sont décalées dans le temps**

Signal numérique incrémental

⇨ La valeur numérique est l 'intégration des incréments



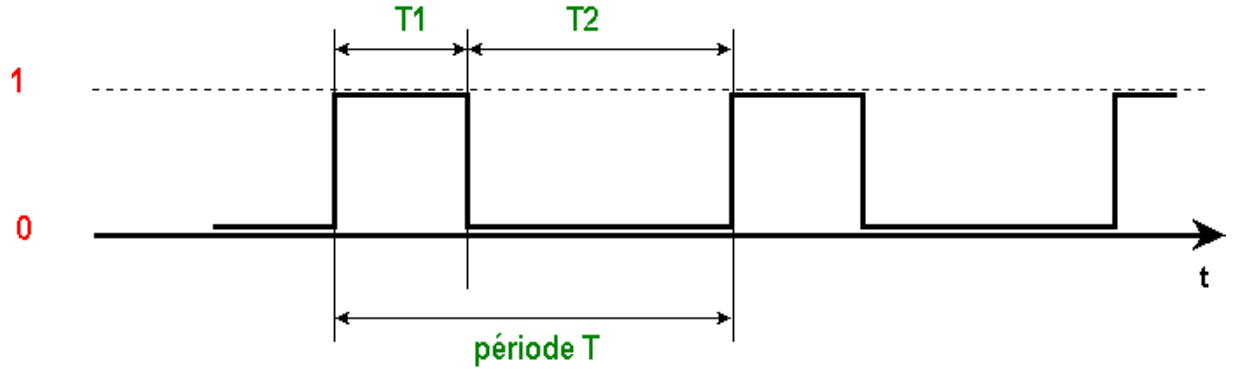


⇨ **Le temps d 'acquisition est proportionnel à la valeur accumulée**

SUPPORT TEMPOREL DES SIGNAUX

Signal analogique PWM

⇨ La valeur est définie par les intervalles de temps



Grandeurs évaluables:

⇨ période T

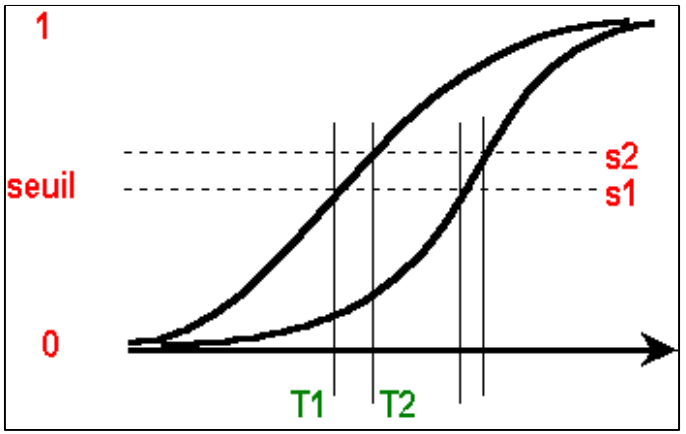
⇨ fréquence F = 1/T

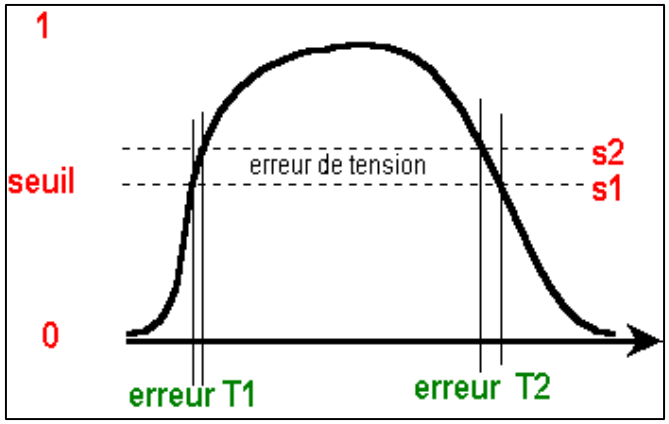
⇨ rapport cyclique $\alpha = \frac{T_1}{T_1 + T_2}$

⇨ **Détection de l 'absence de signal**
évaluation des temps par simple comptage

Précision de mesure

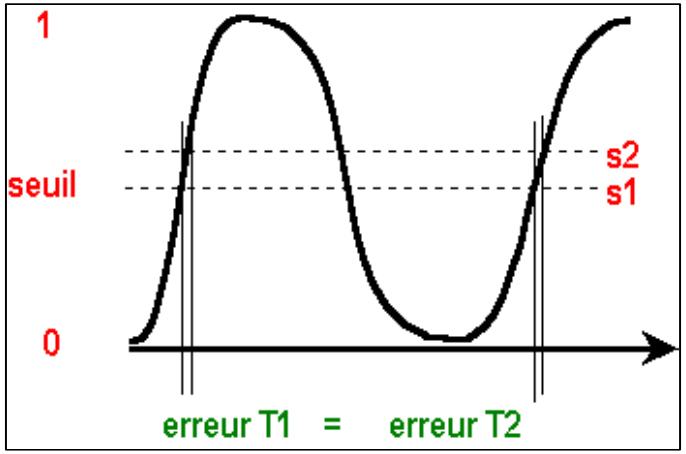
Erreur sur front ⇨





⇦ E rreur sur durée

Erreur sur période ⇨

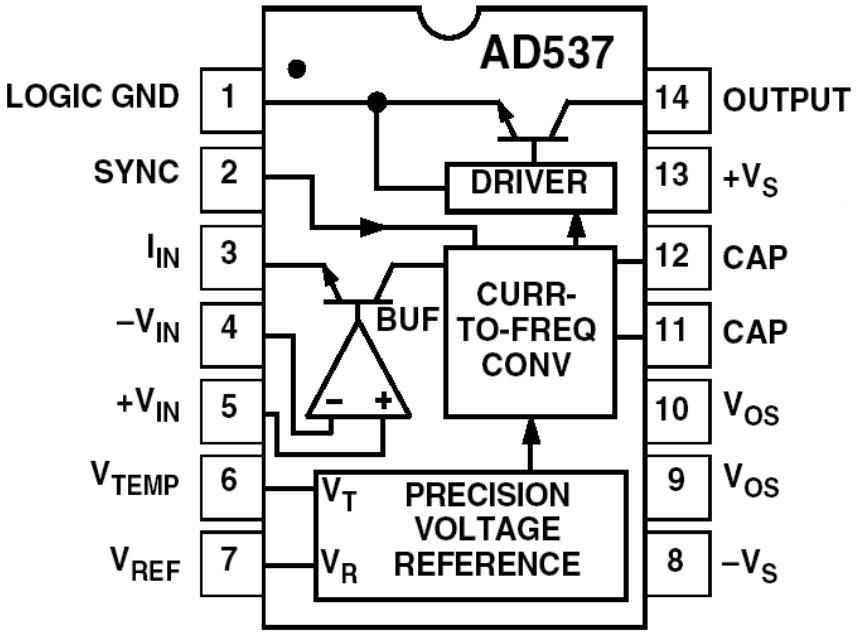


SUPPORT TEMPOREL DES SIGNAUX

Exemple de conversion tension <---> fréquence

FEATURES

- ⇨Low Cost A–D Conversion
- ⇨ Versatile Input Amplifier
- ⇨ Positive or Negative Voltage Modes
- ⇨ High Input Impedance, Low Drift
- ⇨ Single Supply, 5 V to 36 V
- ⇨ Linearity: _0.05% FS
- ⇨ Low Power: 1.2 mA Quiescent Current
- ⇨ Full-Scale Frequency up to 100 kHz



COMPARATIF DES DIFFERENTS SUPPORTS

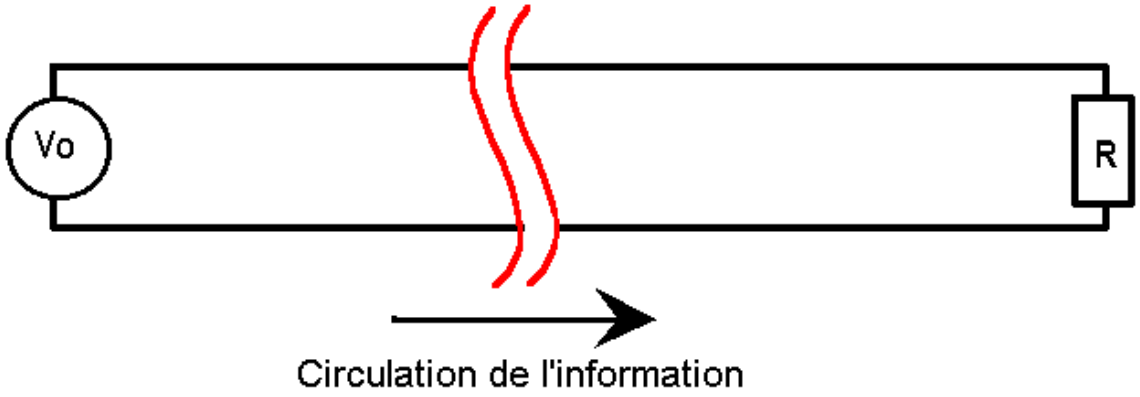
Signal	Numérique parallèle	Numérique série	Numérique temporel	Analogique tension	Analogique temporel
précision					
résistance au bruit					
vitesse de transmission					
multiplexage					
coût matériel					
outil de conversion en signal analogique					
outil de conversion en signal numérique					
outil de conversion en signal temporel					

Symboles: ++ très favorable, + favorable, o moyen, - défavorable, -- très défavorable , na non disponible

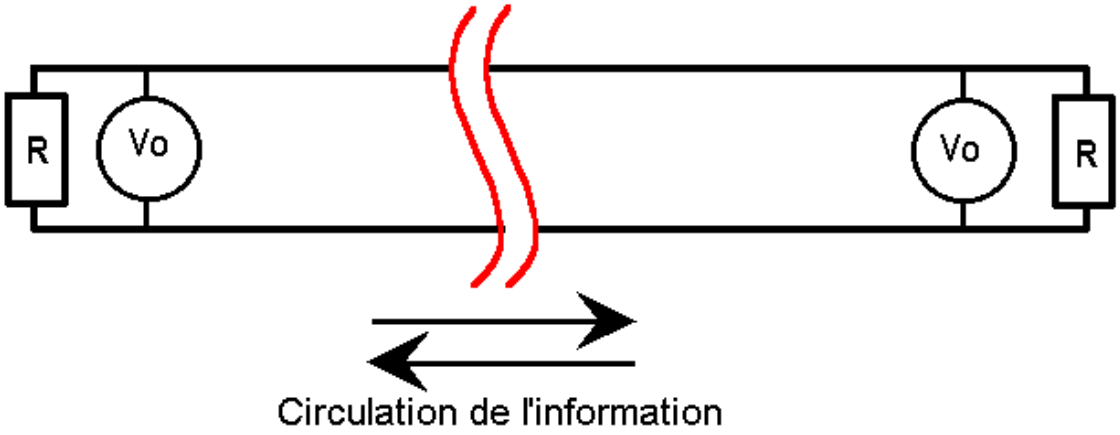
ISOLATION DES SIGNAUX INDUSTRIELS

ISOLATION GALVANIQUE DES SIGNAUX

LIAISON UNIDIRECTIONNELLE

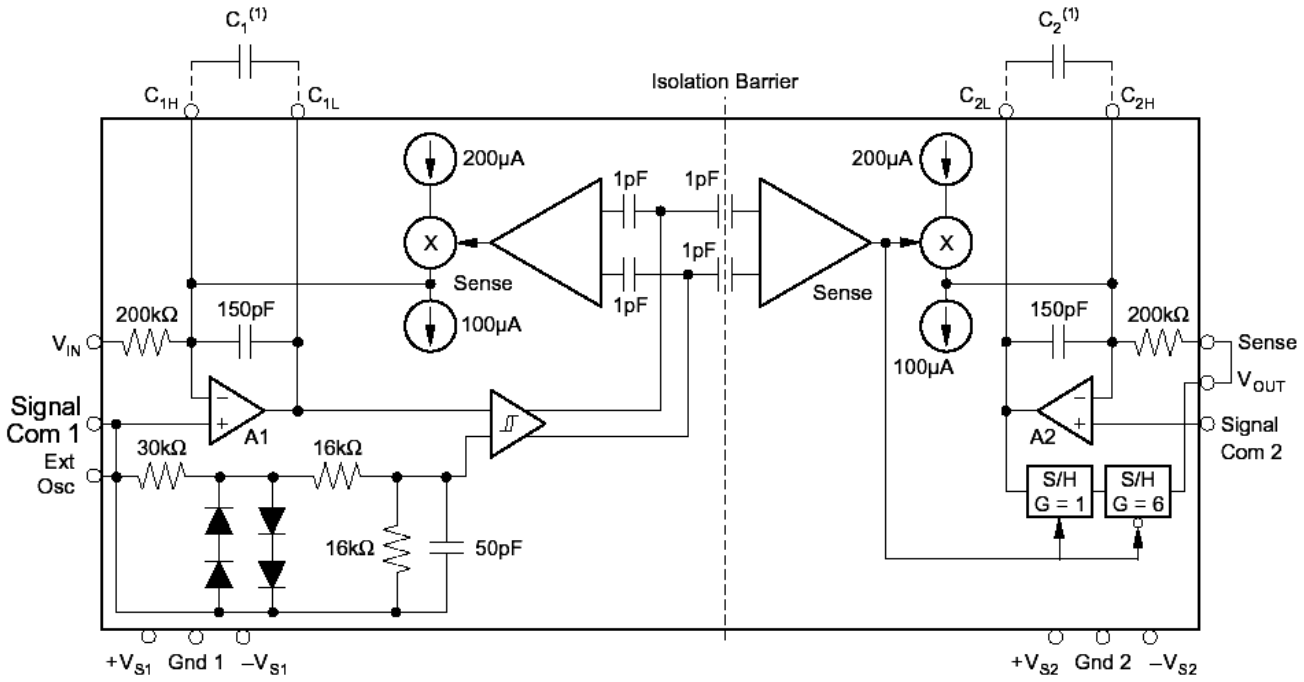


LIAISON BIDIRECTIONNELLE



OUTILS POUR I 'ISOLATION GALVANIQUE DES SIGNAUX

Amplificateur analogique isolé capacitivement

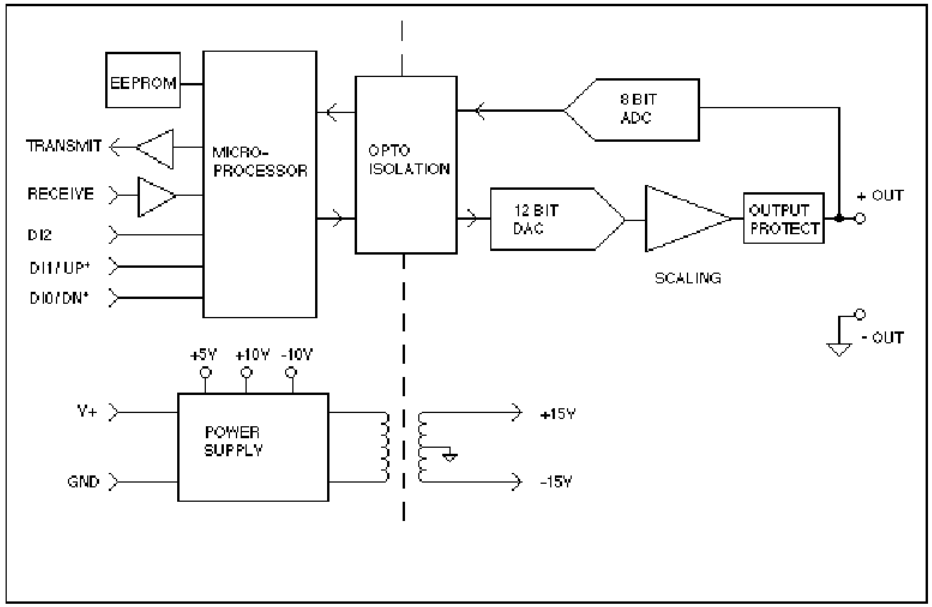


- ⇨ **Isolation : Rated 3500Vrms**
- ⇨ **High IMR: 115dB at 60Hz**
- ⇨ **Leakage Current : 0,5µA @ 240VAC**
- ⇨ **Low NonLinearity : ±0.01% max**
- ⇨ **Bipolar Operation: VO = ±10V**

- ⇨ **INDUSTRIAL PROCESS CONTROL: Transducer Isolator for Thermocouples, RTDs, Pressure Bridges, and Flow Meters, 4mAto 20mA Loop Isolation**
- ⇨ **Motor and SCR control Power Monitoring**

OUTILS POUR I 'ISOLATION GALVANIQUE DES SIGNAUX

Module intelligent opto-isolé



⇨ Single channel analog output.
Voltage: 0-1V, ±1V, 0-5V, ±5V, 0-10V, ±10V.

Current: 0-20mA, 4-20mA.

Output isolation: 500V rms.

12-bit output resolution.

⇨ Accuracy: 0.1% FSR max (Integral & Differential Non-linearity.

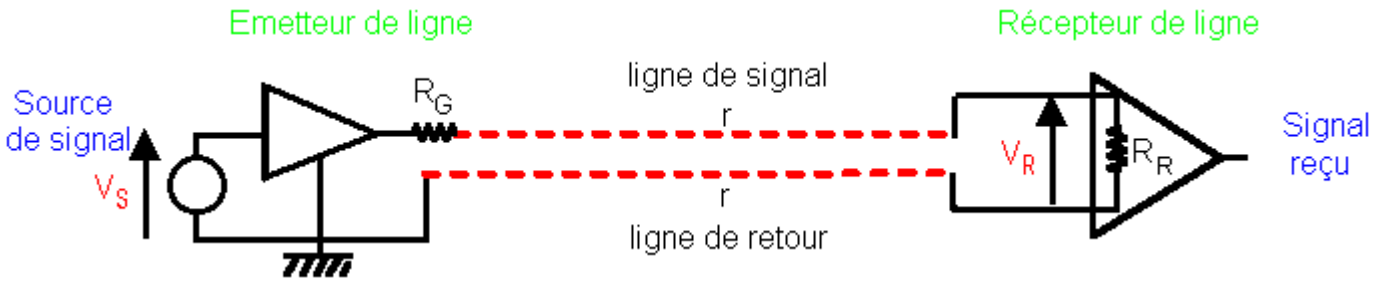
Zero drift: ±30µV/°C (Voltage Output) ±1.0µA/°C (Current Output).

1000 conversions per second.

TRANSPORT DES SIGNAUX

LIGNE DE TRANSMISSION

Pertes Ohmiques



$$\Rightarrow \quad V_R = V_G \frac{R_R}{R_G + 2\,r + R_R}$$

⇨ La perte ohmique provoque un affaiblissement du signal reçu

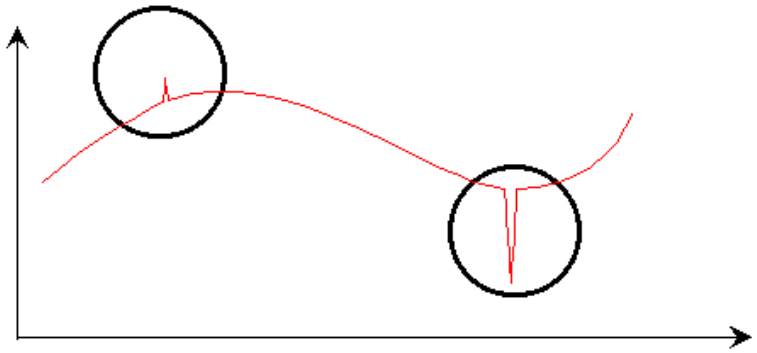
⇨ La perte ohmique est d'autant plus faible que

- la résistance de la ligne est faible

- l'impédance du récepteur est forte

PERTURBATION DU SIGNAL

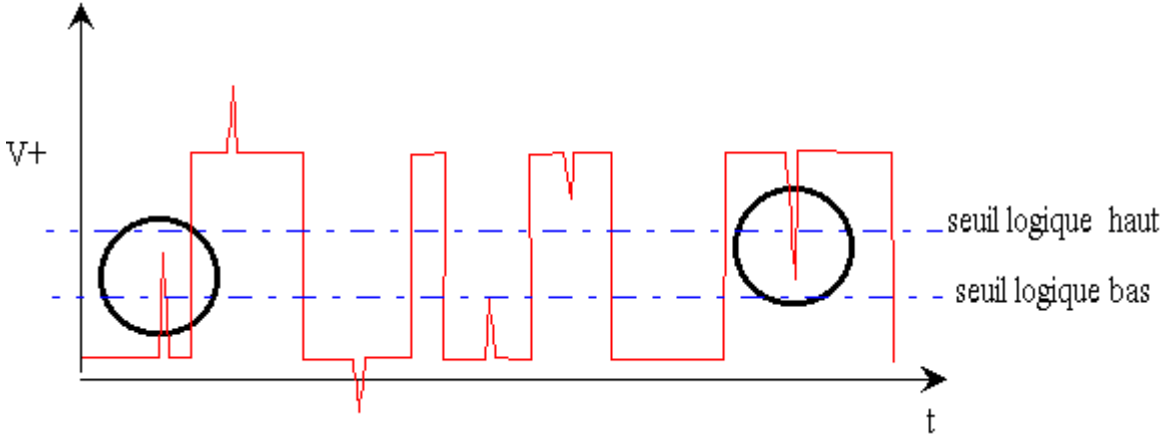
Signal analogique



⇨ **toute perturbation provoque une erreur sur le signal analogique**

⇨ **la perturbation est admissible si elle est inférieure à la précision admissible (évaluée par rapport au pas de quantification)**

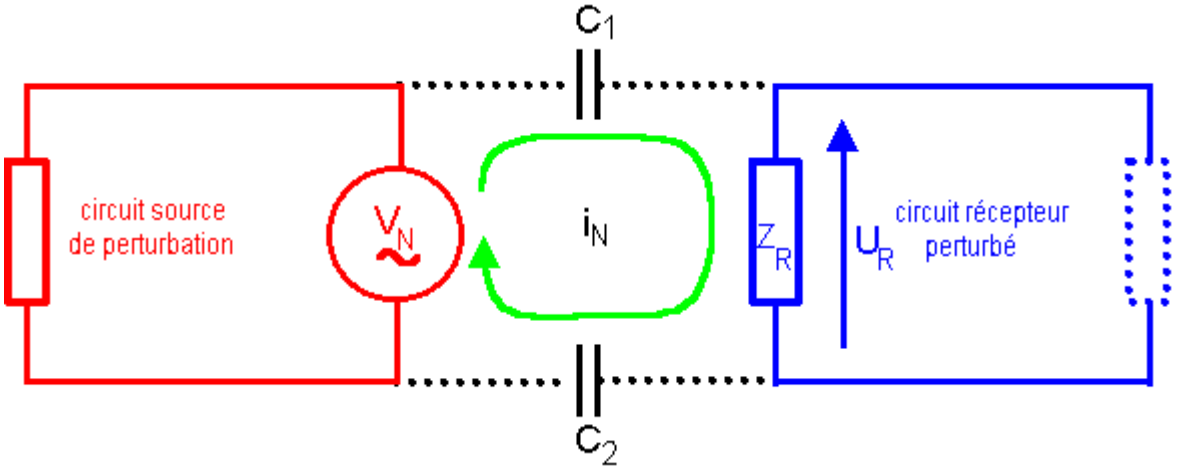
Signal logique



⇨ **la perturbation n'a d'influence que pour une amplitude dépassant les seuils de basculement de la logique**

PERTURBATION DU SIGNAL

Perturbation par couplage capacitif

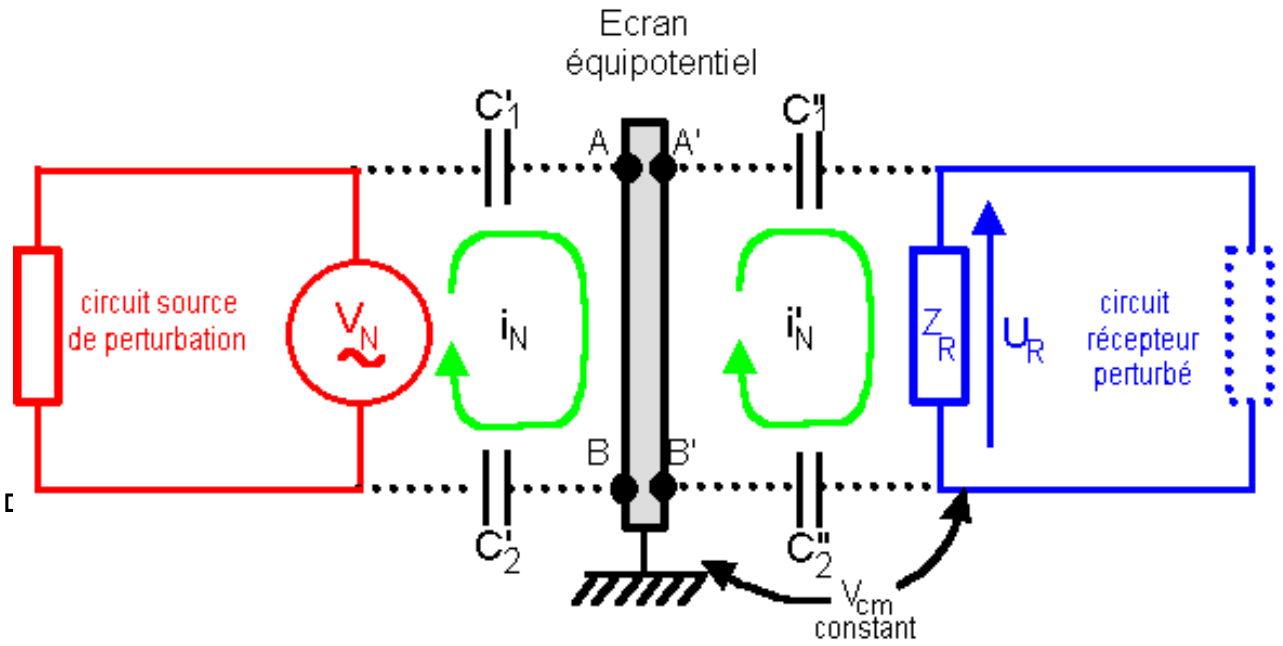


⇨ **la source perturbatrice a pour fréquence** ω

$$i_N = \frac{V_N}{Z_R + Z_C} \quad avec \quad Z_C = \frac{1}{j\,C\omega} \quad et \quad \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

⇨ **éloigner la source perturbatrice**

Blindage capacitif

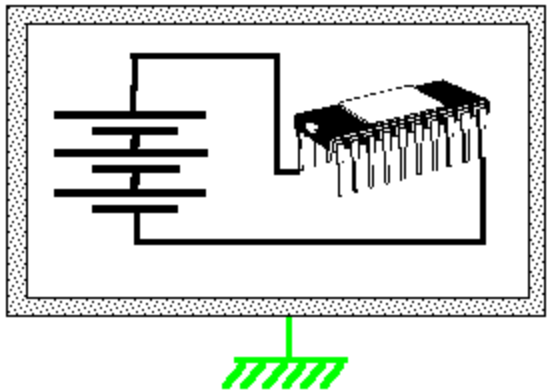


⇨ **Le blindage est réalisé en matériau conducteur**

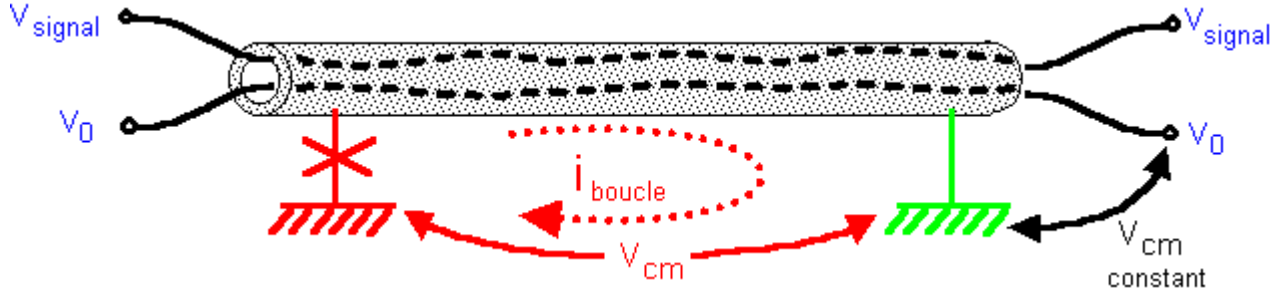
⇨ **Le blindage n 'est efficace que s 'il est relié à un potentiel constant par rapport au circuit à protéger**

PERTURBATION DU SIGNAL

Blindage capacitif d 'un élément isolé

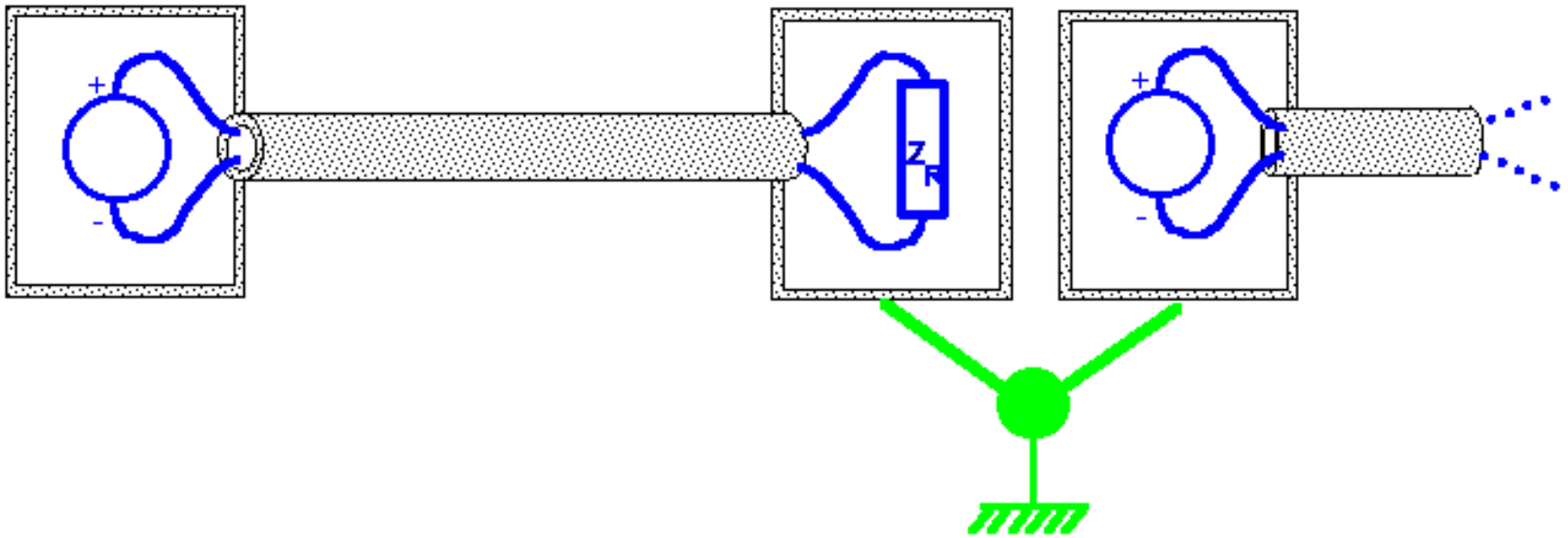


Blindage capacitif d 'une liaison



⇨ **un seul point de référence pour le montage**

Blindage capacitif d 'un ensemble

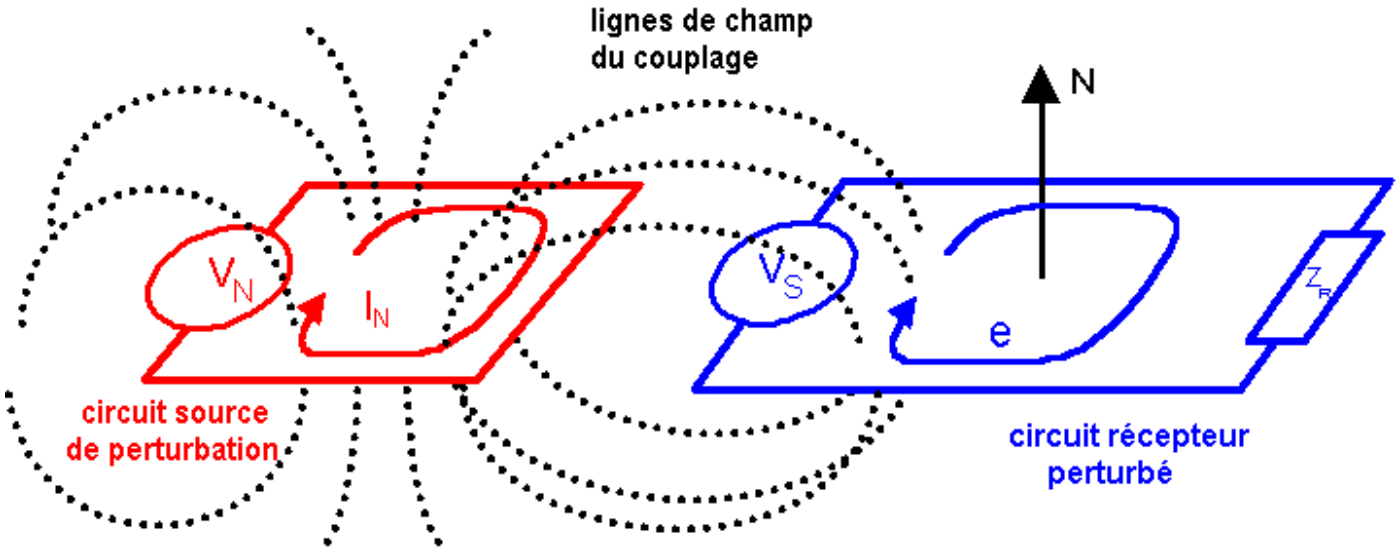


une seule référence de potentiel pour l'ensemble du montage

⇨**le point de référence unique de référence de l 'ensemble des blindages est appelé nœud de masse**

PERTURBATION DU SIGNAL

Perturbation par couplage magnétique



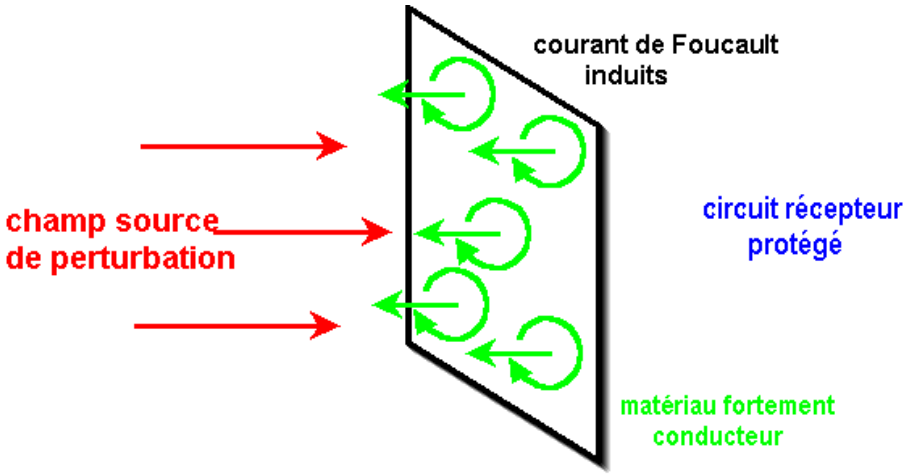
⇨ **la source perturbatrice est une source alternative**

le circuit récepteur est le siège d'une force électromotrice :

$$e = -\frac{d\varphi}{dt} \quad \text{avec} \quad \varphi = \vec{B}\vec{S}$$

PERTURBATION DU SIGNAL

Blindage magnétique



Exemples de matériaux de blindage magnétique

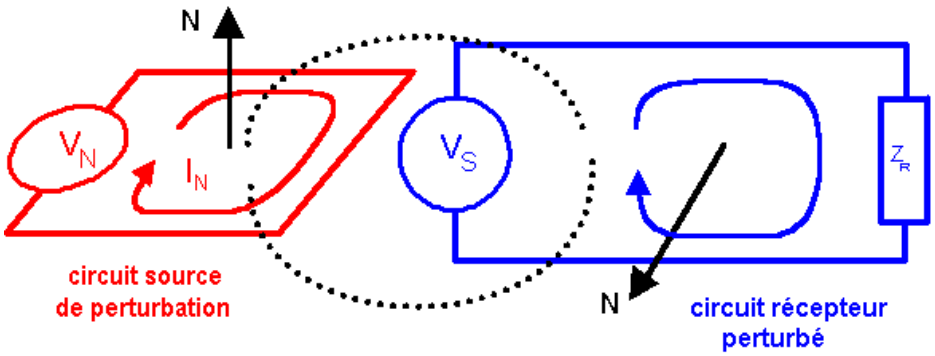
- ⇨ **cuivre**
- ⇨ **cuivre doré, argenté**
- ⇨ **isolant métallisé**
- ⇨ **fer**
- ⇨ **tôle d 'acier perforée**
- ⇨**mu-métal**

⇨**le blindage magnétique est réalisé par un matériau conducteur**

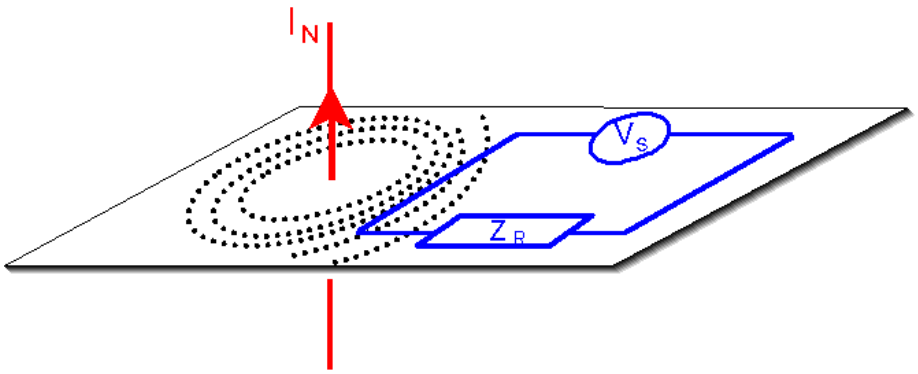
⇨ **une forte perméabilité magnétique permet de conduire les lignes de champ et d 'éviter les fuites magnétiques**

PERTURBATION DU SIGNAL

Orientation des circuits



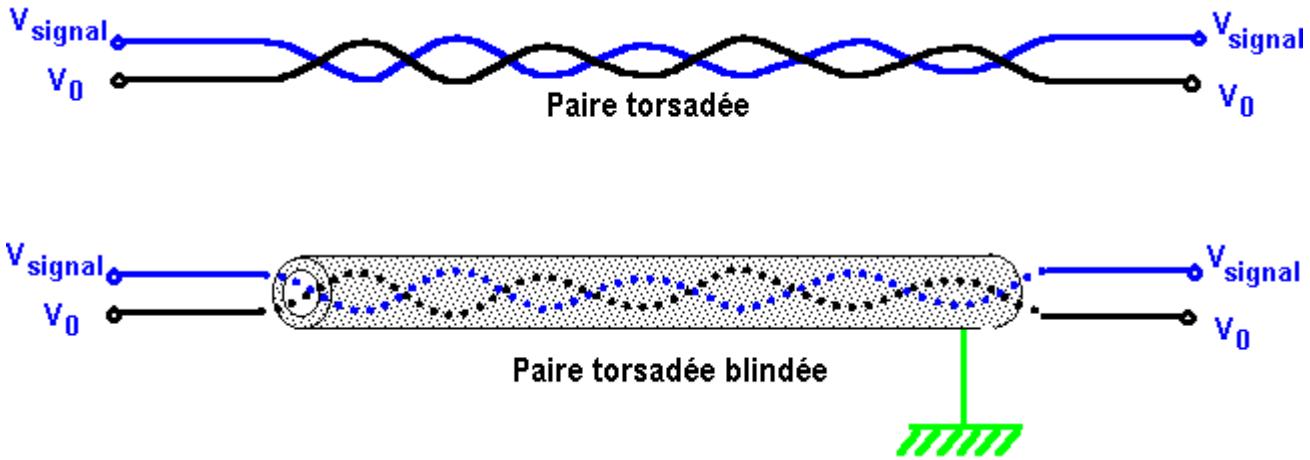
Orientation des conducteurs



⇨**les circuits magnétiques à surface non-nulle doivent être disposés perpendiculairement aux circuits perturbateurs**

PERTURBATION DU SIGNAL

Circuits à surface moyenne nulle

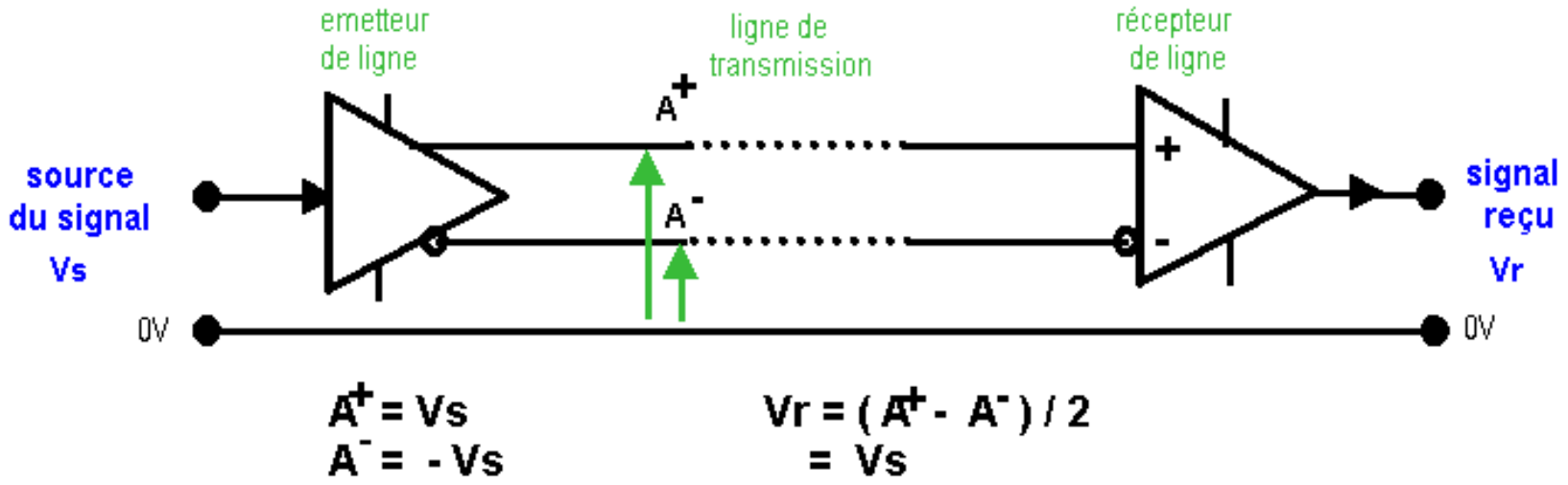


⇨**les mêmes règles sont à appliquer aux circuits perturbateurs:**
- **câblage par paires (triplets ou quadruplets pour les réseaux à courants triphasés)**
- **torsade des paires**

TRANSMISSION DIFFERENTIELLE

TRANSMISSION DIFFERENTIELLE

Principe de la transmission différentielle analogique



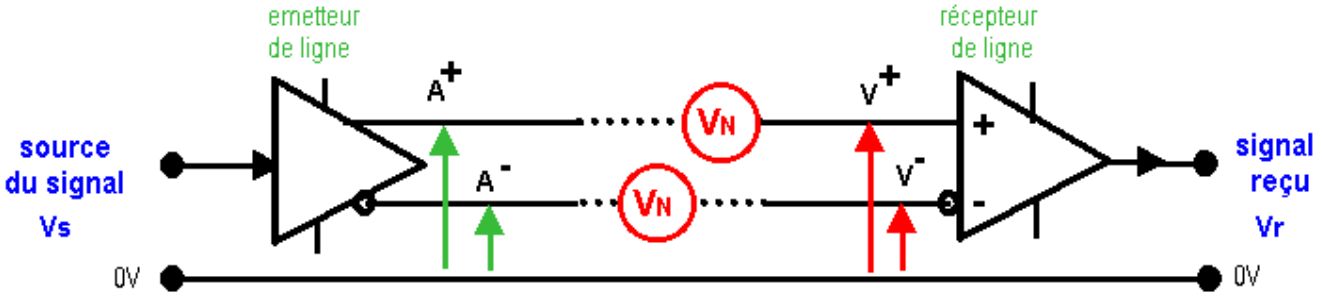
$A^+ = Vs$
$A^- = -Vs$

$Vr = (A^+ - A^-) / 2$
$= Vs$

⇨**la ligne de transmission est généralement une paire torsadée blindée pour assurer un maximum d 'immunité au bruit**

TRANSMISSION DIFFERENTIELLE

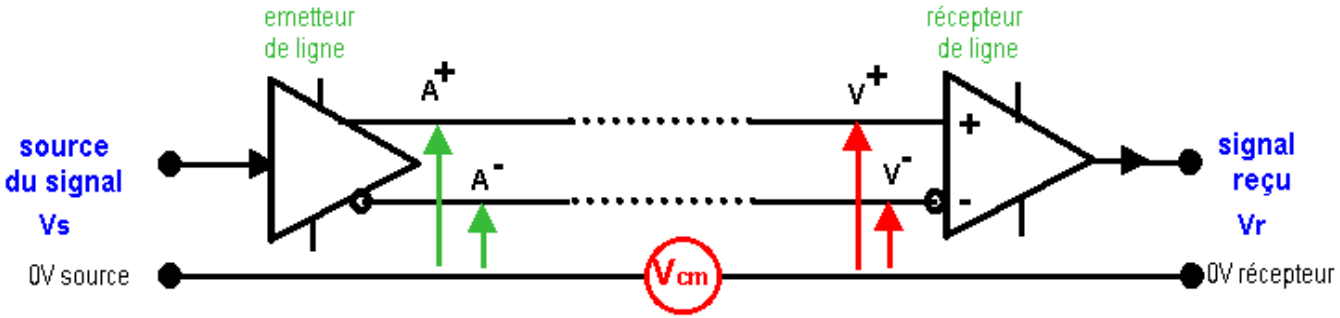
Transmission différentielle perturbée



$A^+ = Vs$
$A^- = -Vs$

$V_r = (V^+ - V^-) / 2$
$= ((A^+ + V_N) - (A^- + V_N)) / 2$
$= Vs$

Perturbation de mode commun



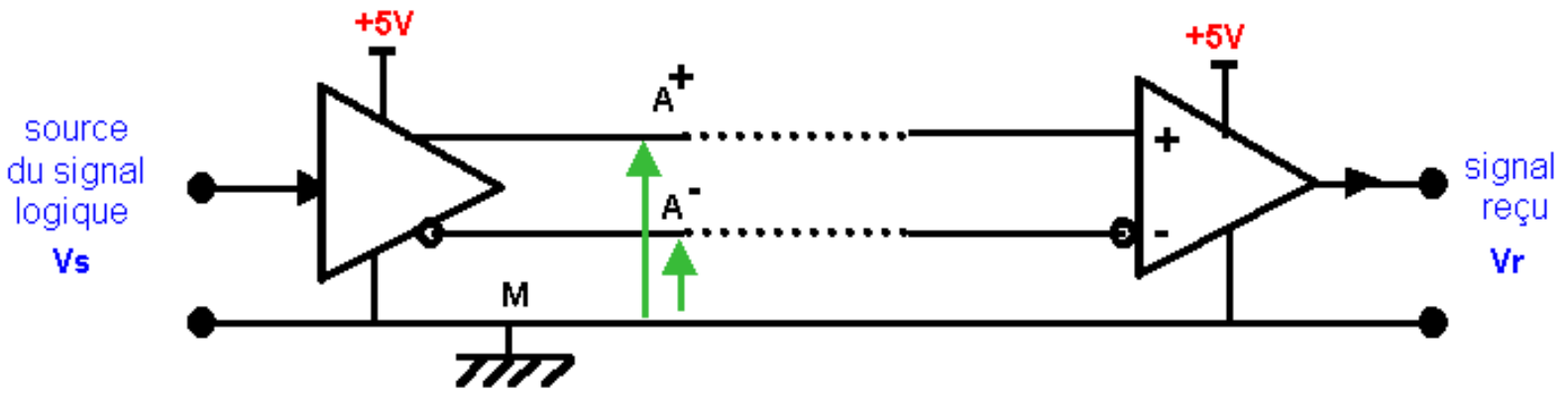
$A^+ = Vs$
$A^- = -Vs$

$V_r = (V^+ - V^-) / 2$
$= ((A^+ - V_{cm}) - (A^- - V_{cm})) / 2$
$= Vs$

⇨ **la transmission différentielle est insensible aux sources de mode commun**

TRANSMISSION DIFFERENTIELLE

Transmission pour signaux numériques



$A^+ = Vs$

$A^- = -Vs + 5V$

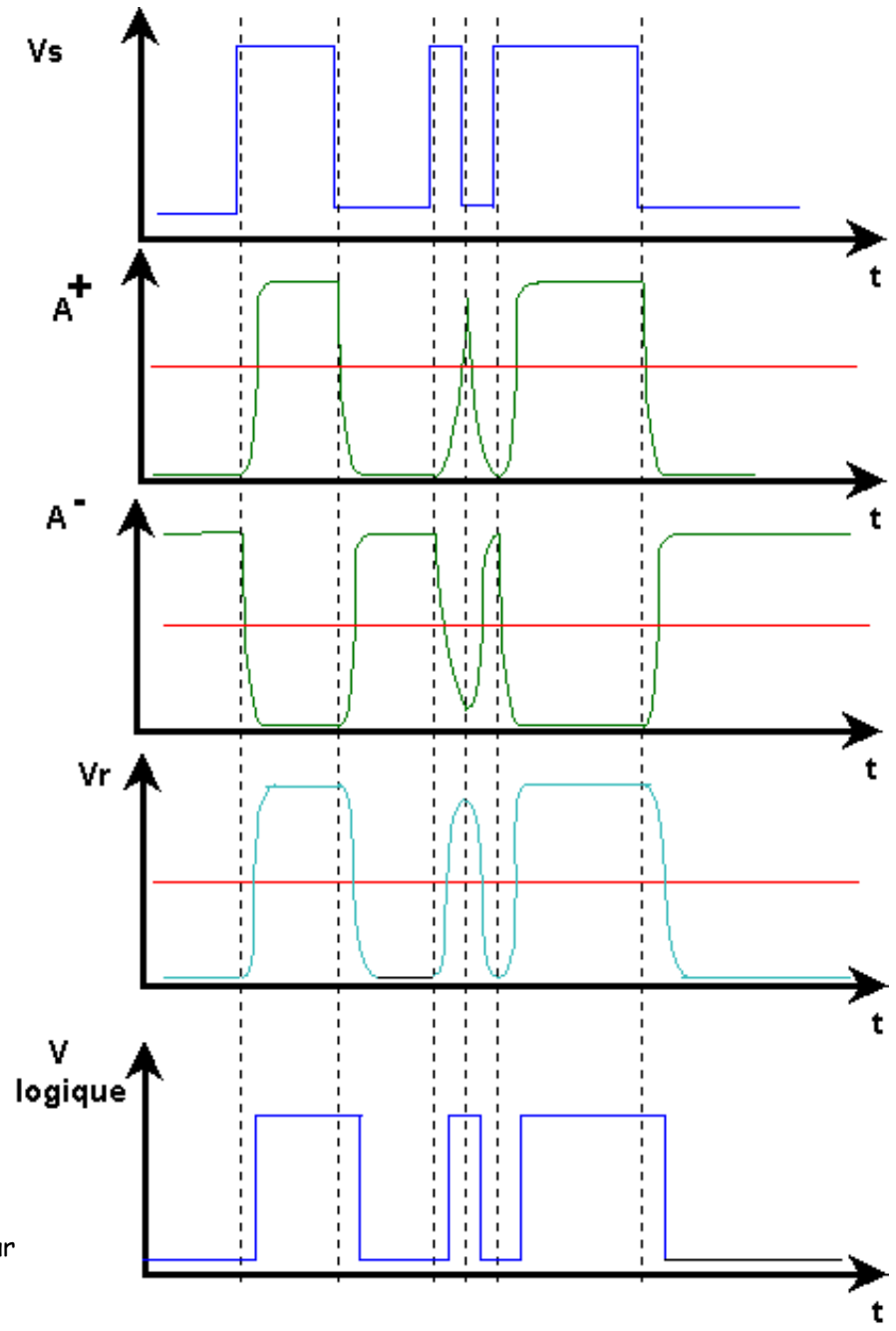
$Vr = ((A^+ - A^-) + 5V) / 2$

$= Vs$

⇨**la transmission différentielle pour signaux logiques utilise une tension d 'alimentation unique**

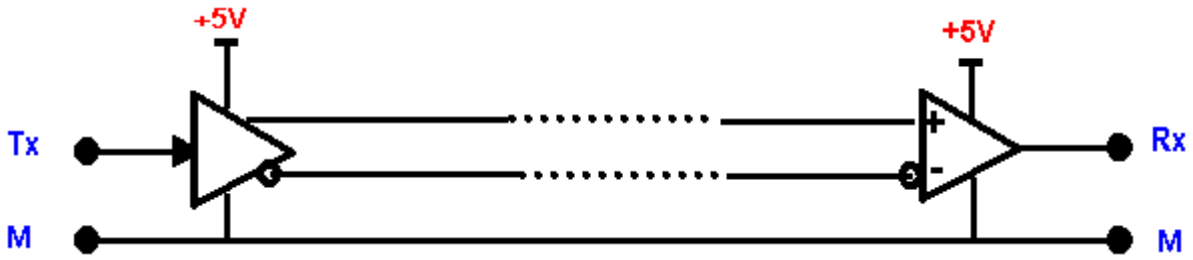
TRANSMISSION DIFFERENTIELLE

⇨**la transmission différentielle symétrise le signal reconstruit**

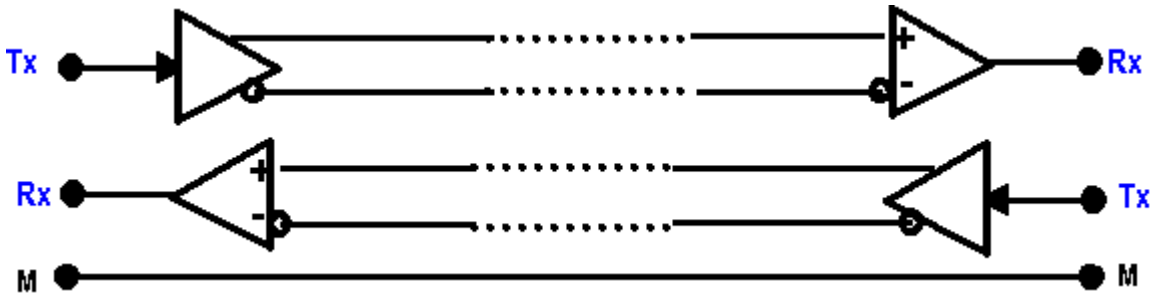


TRANSMISSION DIFFERENTIELLE

Transmission unidirectionnelle point à point ⇨ NORME RS 422

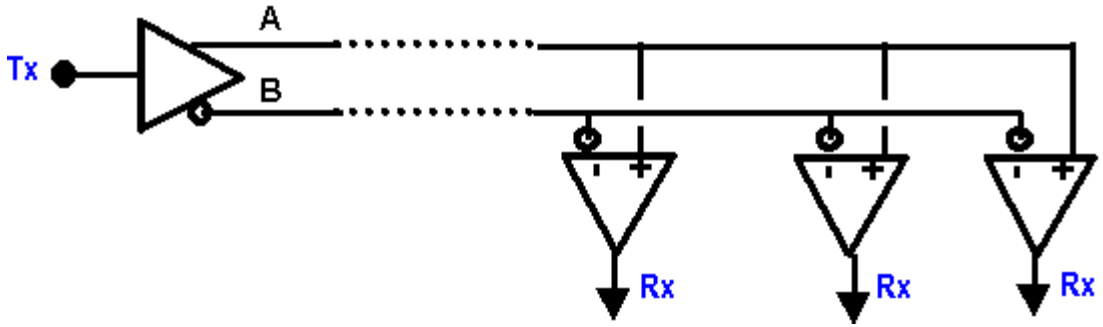


Transmission bidirectionnelle full duplex dite 4 fils

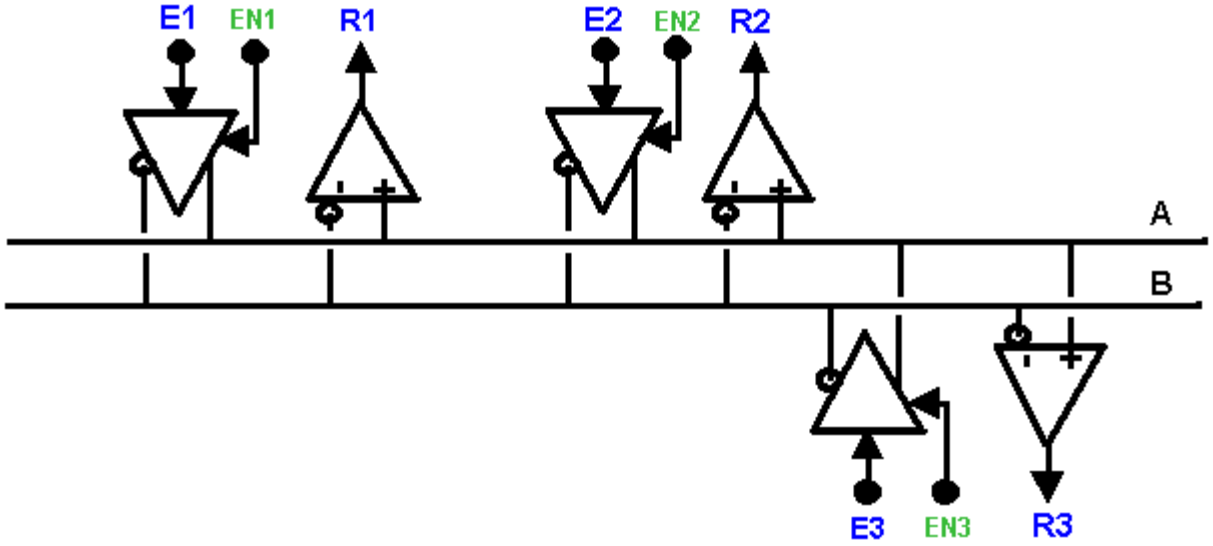


TRANSMISSION DIFFERENTIELLE

Transmission unidirectionnelle réseau ⇨ NORME RS 485

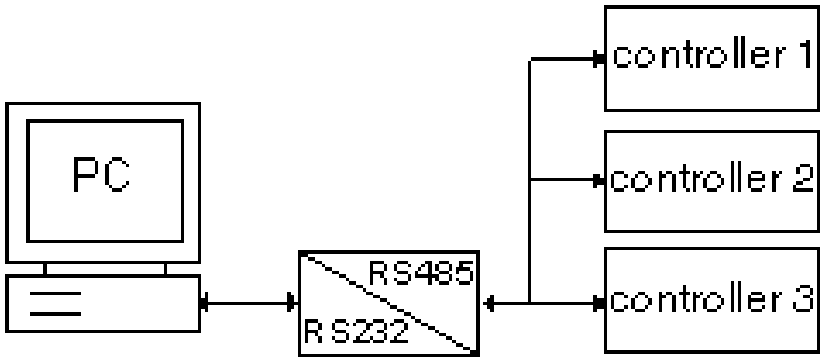


Transmission bidirectionnelle réseau half duplex dite 2 fils



TRANSMISSION DIFFERENTIELLE

CONVERTISSEURS NORME RS 485

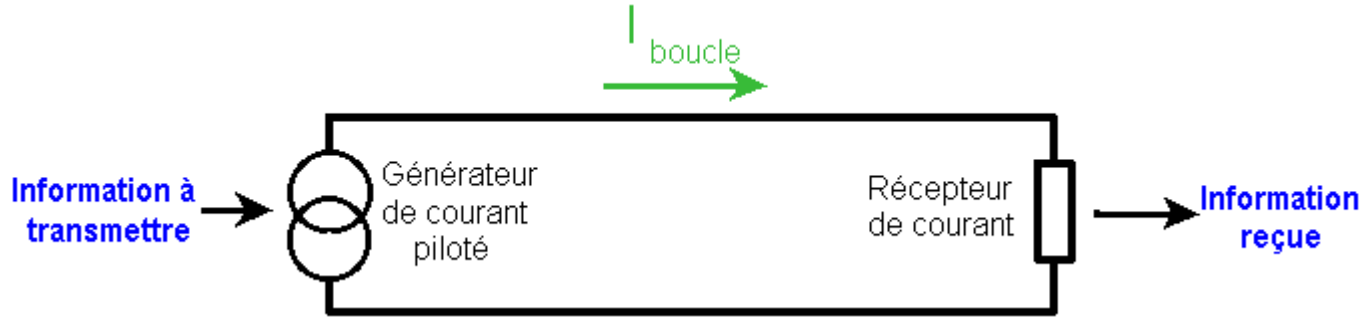


Convertisseur RS232 --> RS485 sur rail DIN

Convertisseur RS232 --> RS485 isolé type « bouchon »

TRANSMISSION PAR BOUCLE DE COURANT

PRINCIPE DE LA BOUCLE DE COURANT

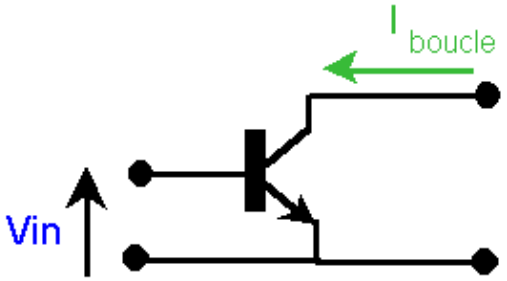


⇨ **La tension aux bornes du générateur et du récepteur est définie par les propriétés de ces fonctions**

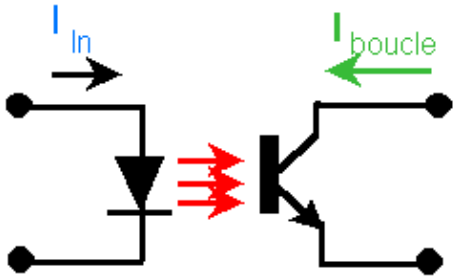
⇨ **La tension de boucle n 'a aucune influence sur la valeur de l 'information transmise**

EXEMPLE D 'EMETTEUR ET RECEPTEUR DE BOUCLE

Emetteurs de boucle

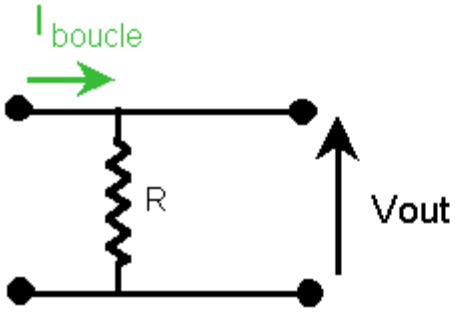


Emetteur analogique non-isolé

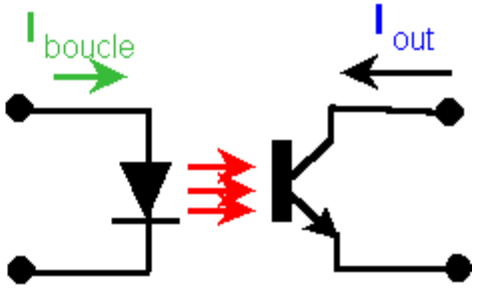


Emetteur analogique isolé galvaniquement

Recepteurs de boucle



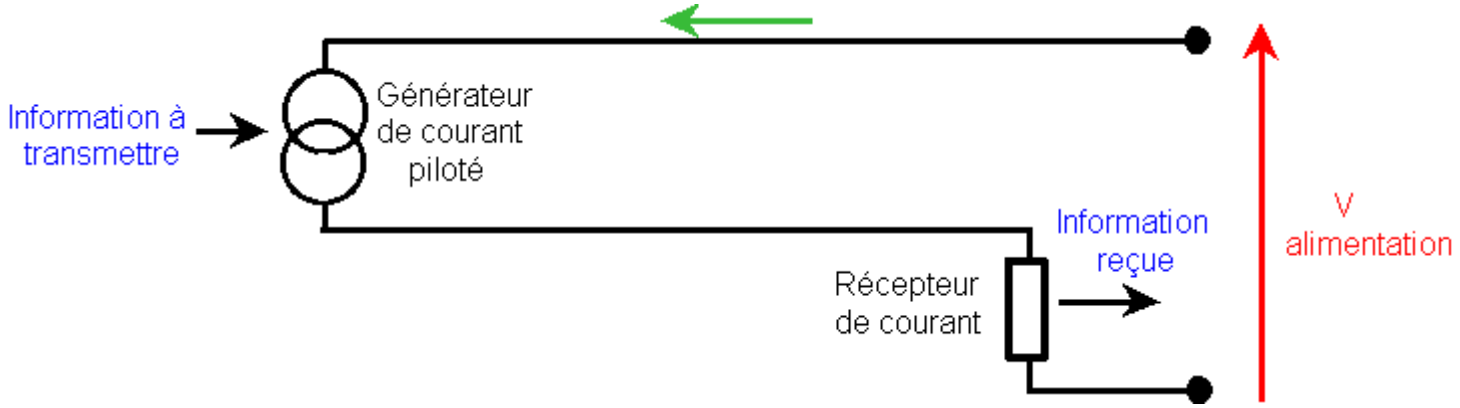
Recepteur de courant
à tension de boucle variable



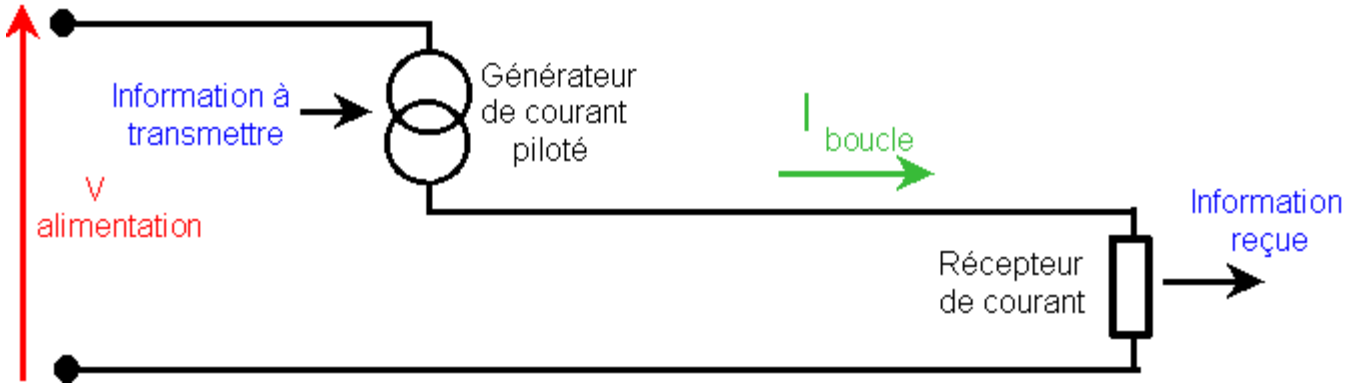
Récepteur opto-isolé
à tension constante

BOUCLE DE COURANT AVEC ALIMENTATION

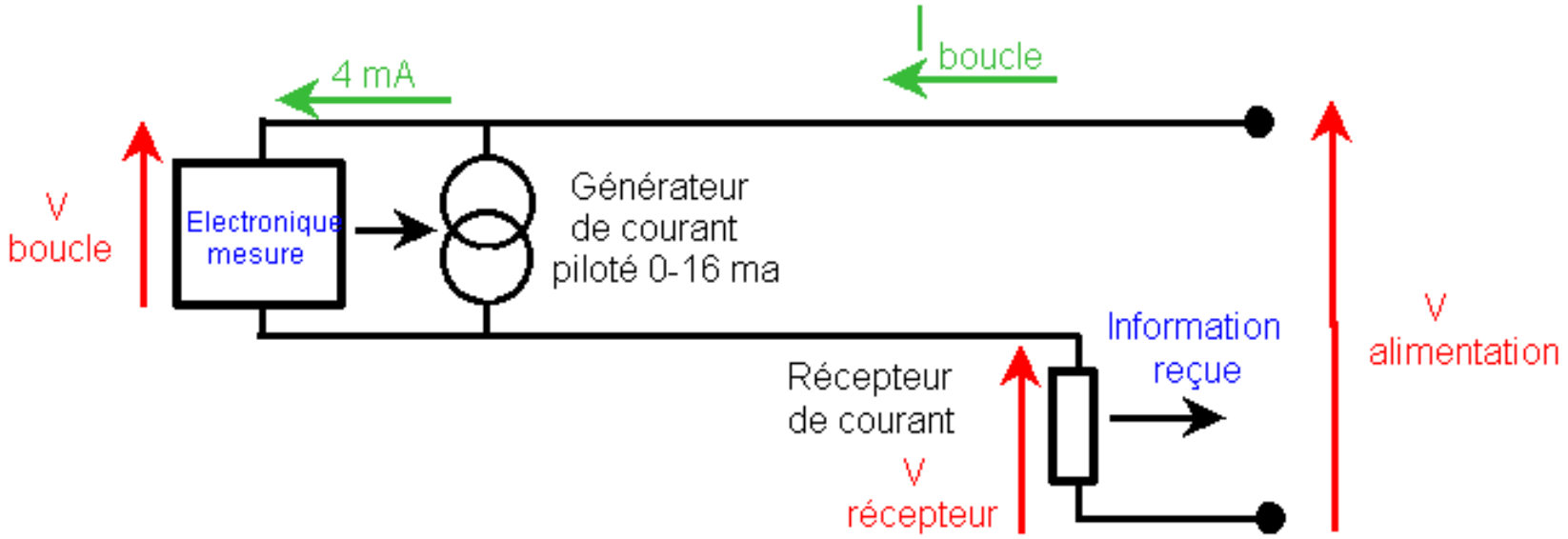
Boucle à émetteur passif



Boucle à émetteur actif



ELEMENT AUTO-ALIMENTE SUR BOUCLE DE COURANT 4-20mA



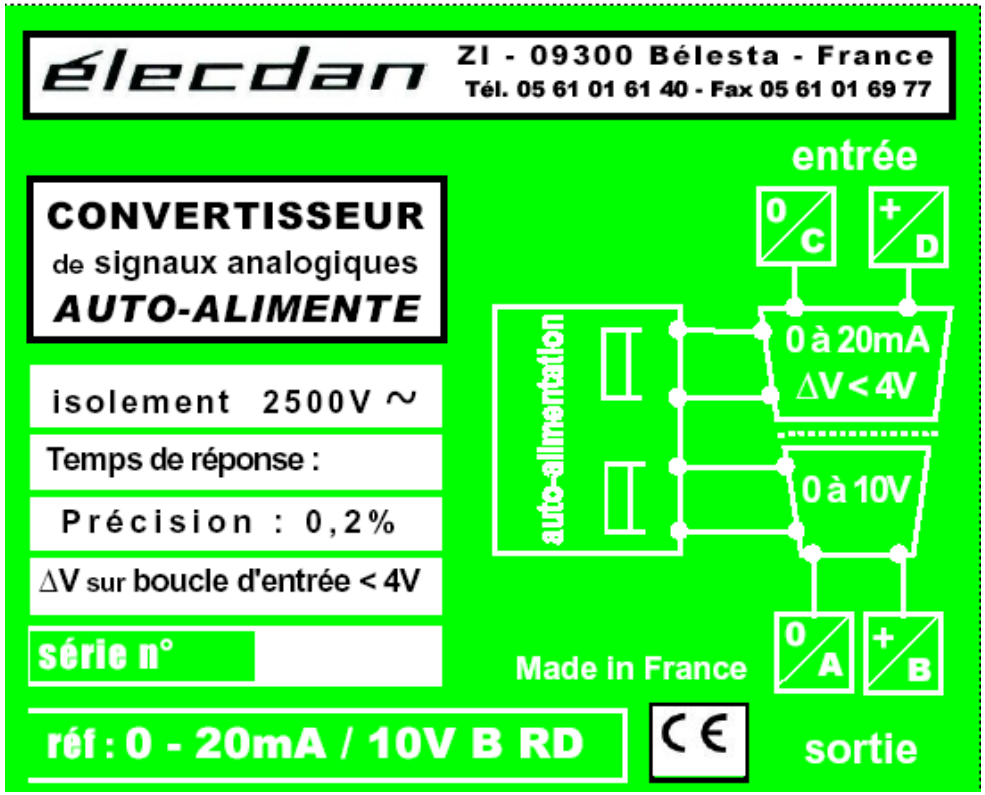
⇨ **Courant d 'auto-alimentation disponible d 'au moins de 4mA, ce qui permet d 'alimenter le conditionneur de signal du capteur**

⇨ **Le capteur est isolé de sa masse locale**

⇨ **Même principe pour les actionneurs auto-alimentés (servo-valve, petit actionneur électrique…)**

⇨ **Sécurité de transmission (rupture, court-circuit)**

Convertisseur auto-alimenté Boucle de Courant 4-20mA --> Tension



Convertisseur configurable pour liaison série type CLB 94

Entrées :

Convertisseur isolé pour liaison série
RS232 / RS485 à 4 fils
RS232 / Boucle de courant active
Boucle de courant passive / RS485 à 4 fils
Boucle de courant passive / Boucle de courant active
RS485 à 4 fils / RS485 à 4 fils
RS485 à 4 fils / Boucle de courant active

10xCLB 94 max. en parallèle sur la ligne RS232C

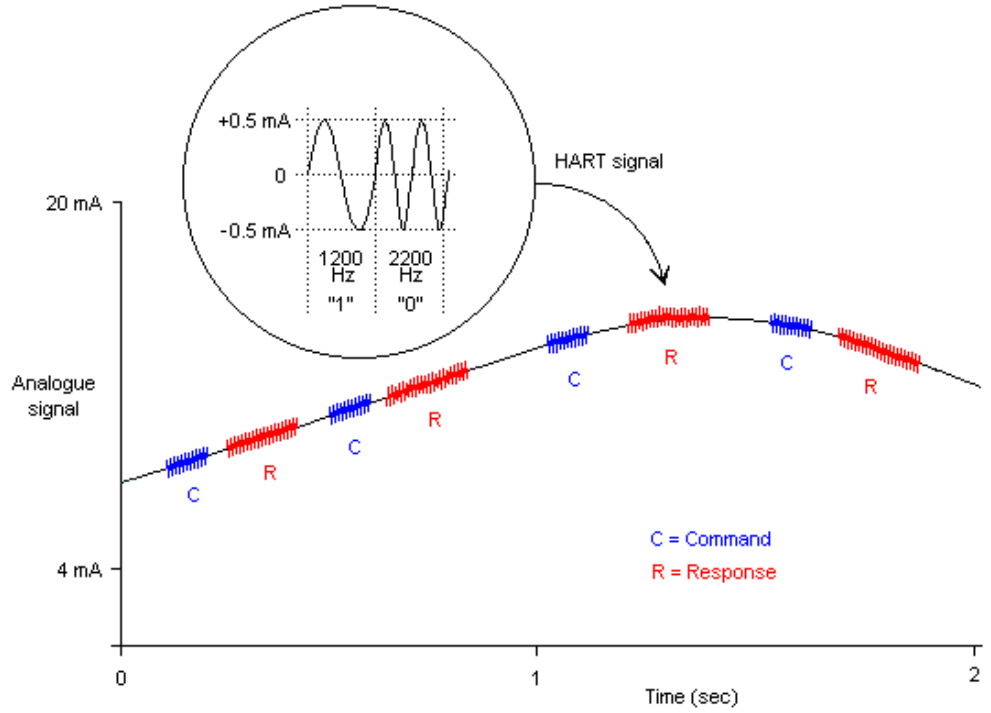
max. 10 appareils raccordés à chaque CLB 94 en boucle de courant

max. 32 appareils raccordés à chaque CLB 94 en RS485

PROTOCOLE HART SUR BOUCLE DE COURANT

www.hartcomm.org

www.romilly.co.uk



- **H**ighway **A**dressable **R**emote **T**ransducer
- Superposition d 'un signal numérique à valeur moyenne nulle (modulation FSK à 1200 bauds) sur le signal de boucle de courant
- Compatibilité avec la boucle de courant analogique 4-20mA
- Possibilité de mesure en mode numérique
- Paramétrage à distance du capteur