

# CONVERSION D'UNE INFORMATION (CAN – CNA)

## OBJECTIFS DU COURS

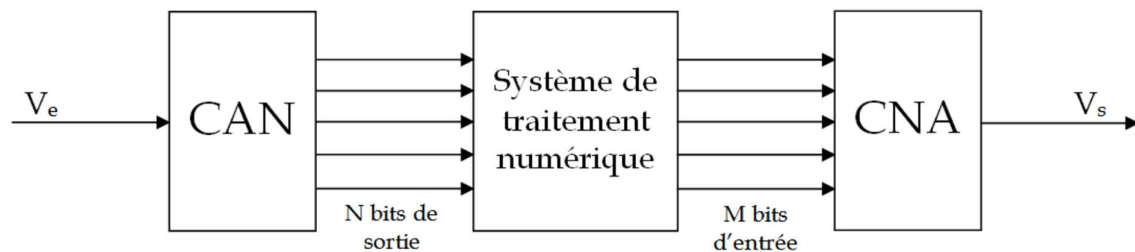
Ce cours traitera essentiellement les points suivants :

- Chaîne de traitement numérique et symbolisation
  - Caractéristiques des convertisseurs :
    - Caractéristique de transfert
    - Résolution et quantum
    - Temps de conversion et temps d'établissement
  - Technologies des convertisseurs :
    - Différents types de convertisseurs
    - Principe de fonctionnement des convertisseurs
- Imperfections des convertisseurs :
    - Précision (accuracy)
    - Erreur de quantification du CAN
    - Erreur de décalage (offset error)
    - Erreur de linéarité
    - Erreur de gain (gain error)

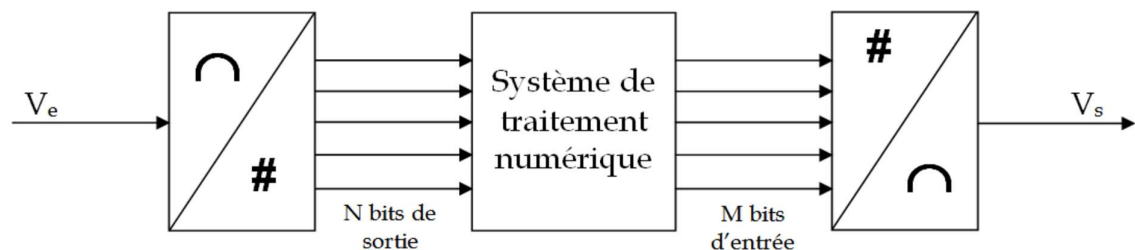
## MISE EN SITUATION

Les Convertisseurs Analogique-Numérique (CAN) et Numérique-Analogique (CNA) servent d'interface entre « le monde extérieur » et le système de traitement numérique.

### CHAINE DE TRAITEMENT NUMERIQUE D'UN PROCEDE



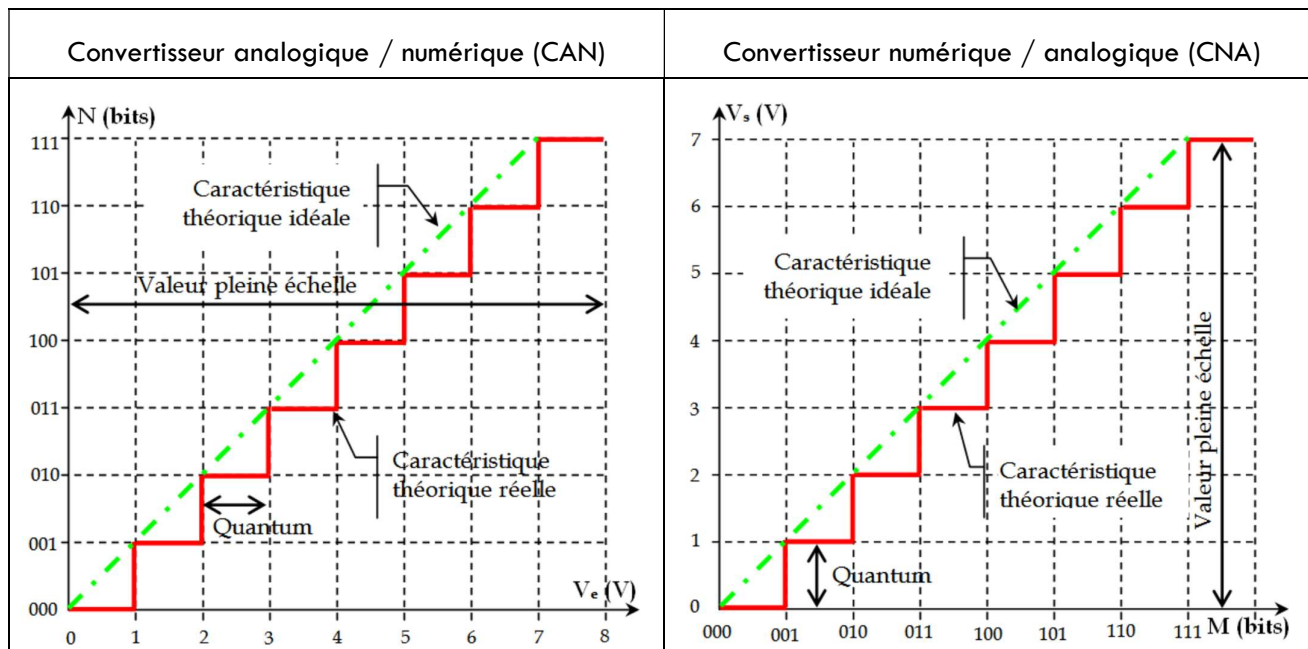
### SYMBOLISATION



## CARACTERISTIQUES DES CONVERTISSEURS

### CARACTERISTIQUE DE TRANSFERT

La caractéristique d'un convertisseur analogique-numérique ou numérique-analogique est la courbe représentant la grandeur de sortie en fonction de la grandeur d'entrée.



## RESOLUTION ET QUANTUM D'UN CONVERTISSEUR

| Convertisseur analogique / numérique (CAN)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Convertisseur numérique / analogique (CNA)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>La résolution est la plus petite variation du signal analogique d'entrée qui provoque un changement d'une unité sur le signal numérique de sortie. Cette résolution est liée au quantum.</p> <p>La valeur du quantum dépend de la tension de « Pleine Echelle » (PE ou FS – Full Scale), et elle est donnée par la relation suivante :</p> $q = \frac{\text{Valeur\_Pleine\_Echelle}}{2^{\text{Nombre\_de\_bits}}}$ | <p>La résolution est la plus petite variation qui se répercute sur la sortie analogique à la suite d'un changement d'une unité sur le signal numérique d'entrée. Cette résolution est liée au quantum.</p> <p>La valeur du quantum dépend de la tension de « Pleine Echelle » (PE ou FS – Full Scale), et elle est donnée par la relation suivante :</p> $q = \frac{\text{Valeur\_Pleine\_Echelle}}{2^{\text{Nombre\_de\_bits}}}$ |

**q** s'exprime en **V** ou en **A**.

La résolution s'exprime en % de la PE, la valeur de PE est donnée par la documentation constructeur du circuit

## TEMPS DE CONVERSION ET D'ETABLISSEMENT (SETTING TIME)

| Convertisseur analogique / numérique (CAN)                                                                                                                                                                                                                                                                         | Convertisseur numérique / analogique (CNA)                                                                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>C'est le temps nécessaire au convertisseur pour stabiliser la donnée numérique en sortie après qu'une tension analogique stable ait été appliquée à l'entrée du convertisseur. On dit aussi T<sub>c</sub> : temps qui sépare l'instant de déclenchement de la conversion et l'instant de fin de conversion.</p> | <p>C'est le temps nécessaire à la stabilisation de la tension analogique de sortie après une transition du mot numérique d'entrée du convertisseur</p> |

## IMPERFECTION DES CONVERTISSEURS

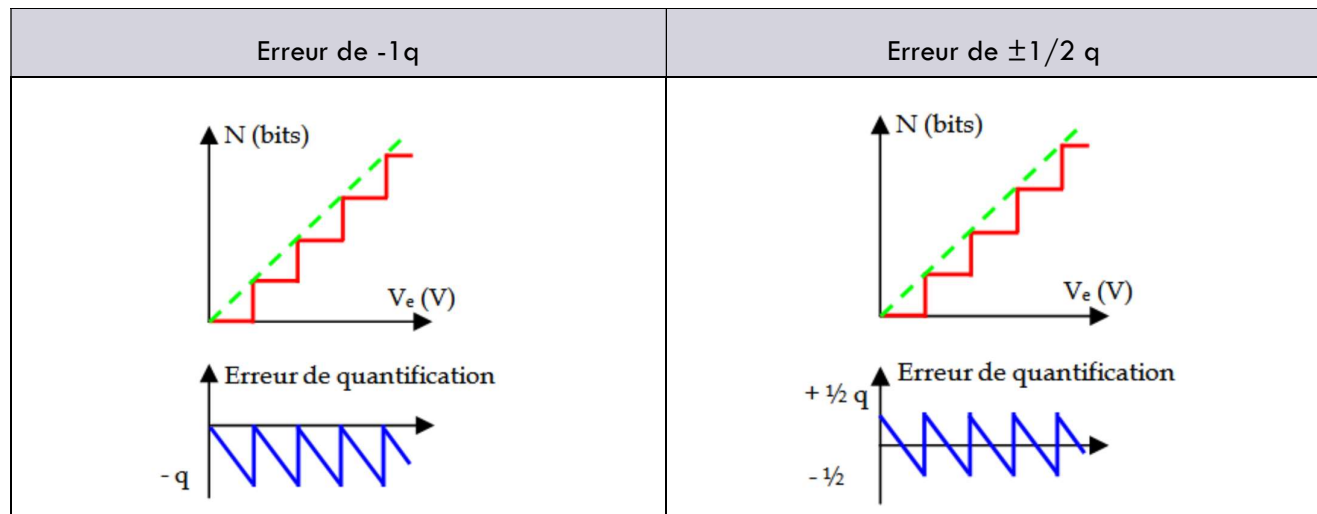
### PRECISION (ACCURACY)

Elle caractérise l'écart maximal entre la valeur théorique en sortie et la valeur réelle. La précision tient compte de toutes les erreurs citées ci-après.

La précision s'exprime en % de la valeur Pleine Echelle (PE) ou en multiple du quantum

### ERREUR DE QUANTIFICATION

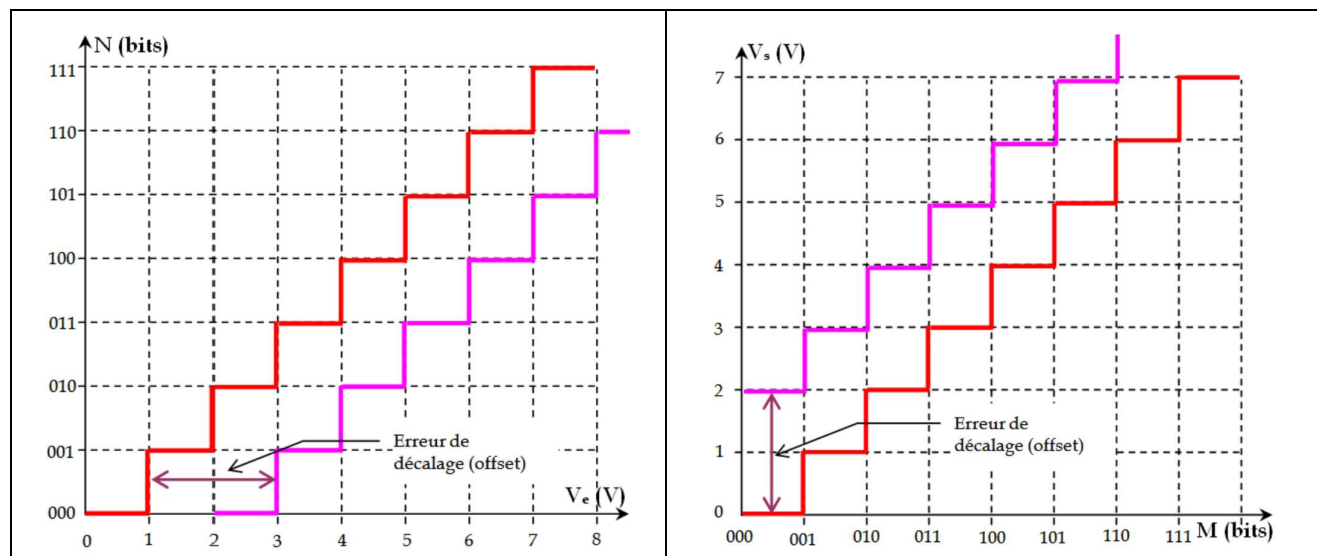
Cette erreur, systématique, est due à la discrétisation du signal d'entrée et est en général de  $-1q$  ou  $\pm 1/2 q$ .



C'est l'écart entre la tension que l'on convertit (entrée du CAN) et la tension correspondant au code que l'on obtient (sortie du CNA).

### ERREUR DE DECALAGE (OFFSET ERROR)

Cette erreur, systématique, est due à la présence d'offset des ALI (amplificateur linéaire intégré) et comparateurs au sein du convertisseur.



C'est un décalage entre la courbe de transfert idéal et la courbe réelle.

Cette erreur est exprimée en % de la valeur Pleine Echelle (PE) ou en multiple du quantum

## ERREUR DE LINEARITE

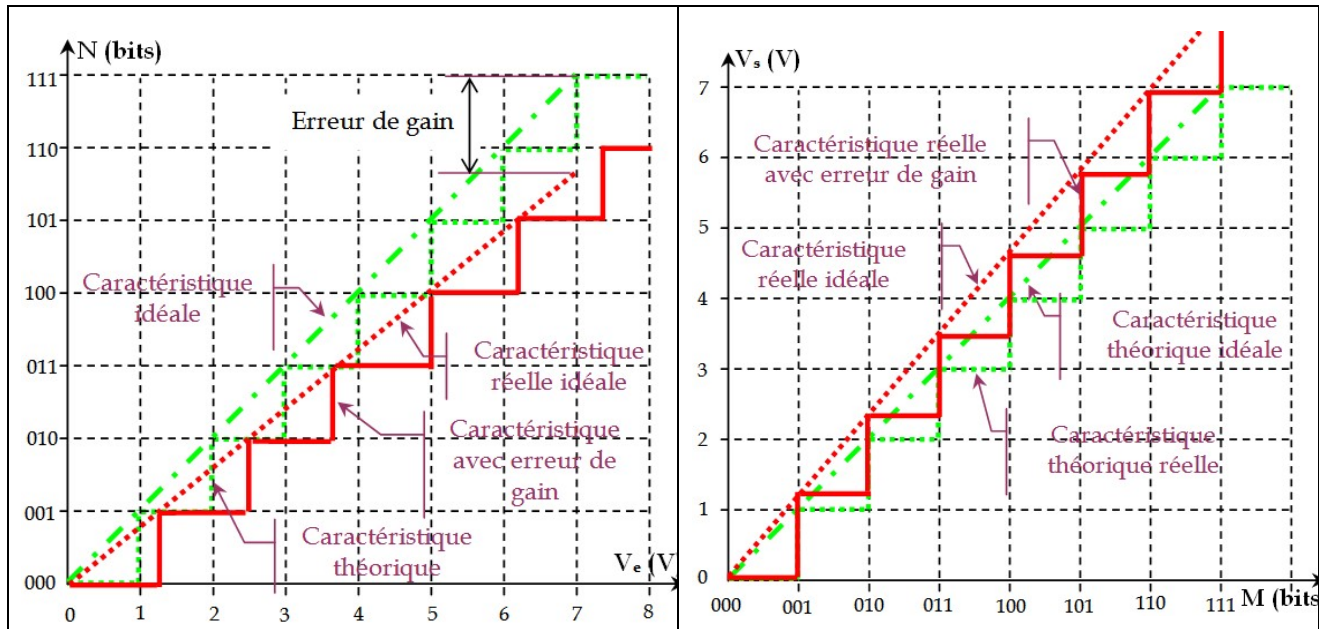
Cette erreur caractérise la variation autour de la valeur de sortie théorique de la valeur de la sortie réelle.

Cette erreur est exprimée en % de la valeur Pleine Echelle (PE) ou en multiple du quantum

| Exemples                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Convertisseur analogique / numérique (CAN)                                                                                                                                                                                                                                                      | Convertisseur numérique / analogique (CNA)                                                                                                                                                                |
| <p>Le CAN ci-dessous a une erreur de linéarité de 5% de la PE. Calculons l'écart maximal entre la valeur théorique et la valeur réelle du premier pas.</p> <p>Tension PE 8V, codée sur 3 bits :</p> $5\% PE = \frac{8 \times 5}{100} = 400mV$ $q = \frac{8}{2^3} = 1$ $q - 0.4 = 0.6V < 1^{er}$ | <p>A partir de la caractéristique de transfert donnée ci-dessous, calculons l'erreur maximale de linéarité de ce convertisseur</p> $U_{max} = \frac{100 \times 0,4}{7} = 5,7\%$ $2,6V < V_{S(3V)} < 3,4V$ |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                           |

## ERREUR DE GAIN (GAIN ERROR)

Cette erreur caractérise une pente différente entre la caractéristique de transfert théorique et la caractéristique de transfert réelle.



Cette erreur est exprimée en % de la valeur Pleine Echelle (PE) ou en multiple du quantum

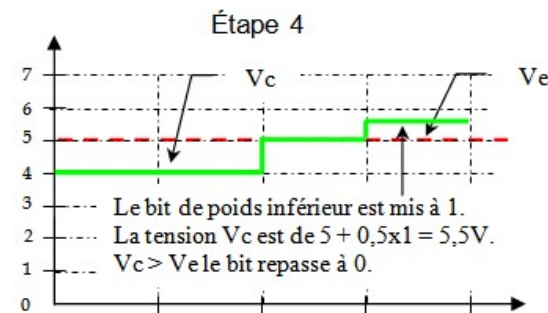
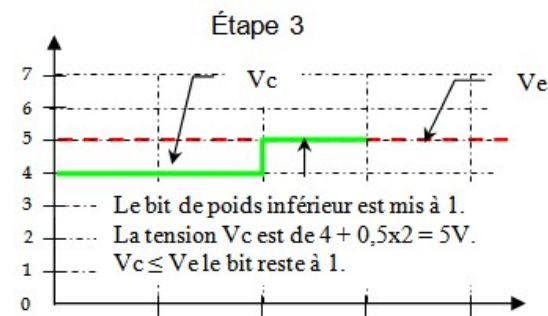
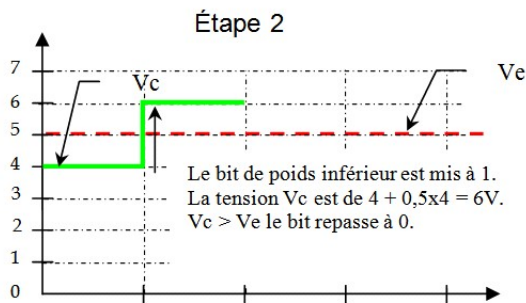
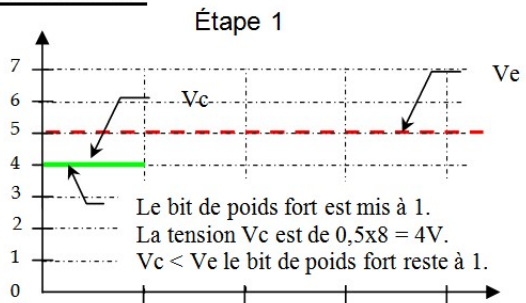
## TECHNOLOGIES DES CONVERTISSEURS

## DIFFERENTS TYPES DE CONVERTISSEURS

| Convertisseur analogique / numérique (CAN)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Convertisseur numérique / analogique (CNA)                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Il existe différentes méthodes pour convertir une tension en valeurs numériques. Les principales technologies sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les convertisseurs simple rampe</li> <li>• Les convertisseurs double rampe</li> <li>• Les convertisseurs à approximations successives</li> <li>• Les convertisseurs flash ou convertisseurs parallèles</li> </ul> <p>Chaque type de convertisseur a ses avantages et ses inconvénients.</p> | <p>Il existe différentes méthodes pour convertir une valeur numérique en une tension analogique. Les principales technologies sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les convertisseurs à échelle de résistances pondérées</li> <li>• Les convertisseurs à réseau de résistance R-2R</li> </ul> |

PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT DES CONVERTISSEURS

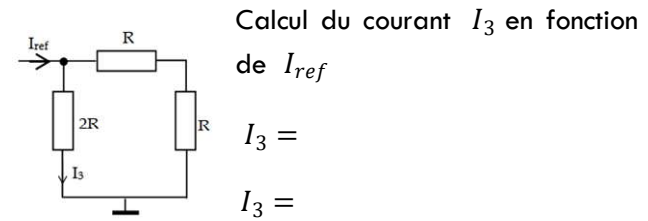
| CAN à approximations successives                                                                                                                                        | CNA à échelle de résistances R-2R                                                                                                                                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Schéma de principe simplifié</p>                                                                                                                                     | <p>Schéma de principe simplifié</p>                                                                                                                                                                              |
| <p><b>Données</b></p> <p>La tension analogique à convertir est de 5V</p> <p>Le CAN est un convertisseur de 4 bits</p> <p>La tension pleine échelle du CNA est de 8V</p> | <p><b>Données</b></p> <p>Le courant de référence est de 2mA</p> <p>L'ALI est parfait</p> <p>La tension pleine échelle est -5V</p>                                                                                |
| <p><b>Résolution du CAN</b></p> <p><math>q = \text{-----} =</math></p>                                                                                                  | <p>Que peut-on dire du potentiel sur l'entrée inverseuse de l'ALI ?</p> <p>Exprimer la tension Vs en fonction de I et de R'.</p> <p>Exprimer I en fonction de <math>I_0, I_1, I_2</math> et <math>I_3</math></p> |

**Fonctionnement :**


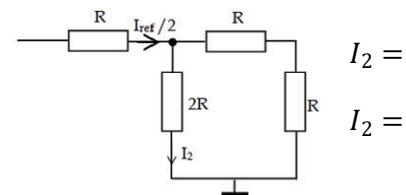
Le mot binaire de sortie est : \_\_\_\_\_

**Remarques**

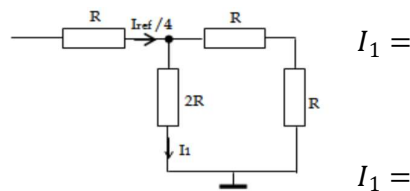
Le temps de conversion dépend du nombre de bits. Il est égal au nombre de bits multiplié par la période de l'horloge. Pour un nombre de bits donné, le temps de conversion est constant et ne dépend pas de la tension à convertir.

**Fonctionnement :**


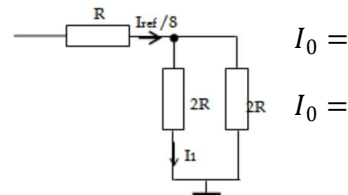
Calcul du courant  $I_2$  en fonction de  $I_{ref}$



Calcul du courant  $I_1$  en fonction de  $I_{ref}$



Calcul du courant  $I_0$  en fonction de  $I_{ref}$



Calcul du courant  $I$  en fonction de  $I_{ref}$

Calcul de  $R'$  pour une tension PE de  $-5V$

**Remarques**

Seulement deux valeurs de résistances sont nécessaires pour réaliser ce convertisseur.

## EXERCICES SUR LES CNA

**Exercice n°1** : Soit un CNA à 5 bits. La tension de sortie  $V_s$  vaut 0,2V lorsque le mot d'entrée est 00001.

- Quelle est la valeur de  $V_s$  correspondant à la pleine échelle ?

---

**Exercice n°2** : Soit un CNA à 5 bits. Lorsque le mot d'entrée est 10100, la tension de sortie  $V_s$  vaut 5V.

- Que vaut  $V_s$  pour un mot d'entrée de 11101 ?

---

**Exercice n°3** : Soit un CNA à 8 bits ayant une pleine échelle égale à 10V. Soit l'octet  $A=10010110$ , appliqué à l'entrée de ce convertisseur.

- Calculer la tension de sortie pour ce mot binaire.

---

## EXERCICES SUR LES CAN

**Exercice n°1** : Le CAN d'entrée d'une carte d'acquisition possède les caractéristiques [0 ; 5,12V] et 10 bits.

- Quelle est la valeur numérique maximale  $N_{max}$  de sortie de ce CAN ?
- Quelle est sa tension pleine échelle ?
- Quelle est sa résolution ?

---



---



---

**Exercice n°2** : Pour l'équipement des salles de chimie du lycée, on a besoin de cartes d'acquisition pouvant mesurer des tensions allant de 0 à 4,5V à 10mV près. Le modèle le moins cher trouvé dans le commerce contient un CAN 8 bits de calibre 5,0V.

- Déterminer sa résolution.
- Ce modèle correspondait-il aux spécifications ?
- En ayant la même gamme, combien le CAN devrait-il au minimum avoir de digits (bit) pour que sa précision soit suffisante ?

---



---



---