

Convertisseurs Analogique Numérique

ADC : Analog to Digital Converters

Module Info 2

Sebastien.Kramm@univ-rouen.fr

IUT GEII Rouen

2013-2014



- 1 Généralités
- 2 Comment : types de convertisseurs
 - Convertisseurs flash
 - Convertisseurs à rampe
 - Convertisseurs à approximation successives
 - Autres convertisseurs
 - Domaine d'utilisation
- 3 Convertisseur du 9s12

Pourquoi convertir ?

- Les grandeurs du monde physique sont analogiques (température, pression, distance, ...)



- L'électronique contemporaine est numérique.

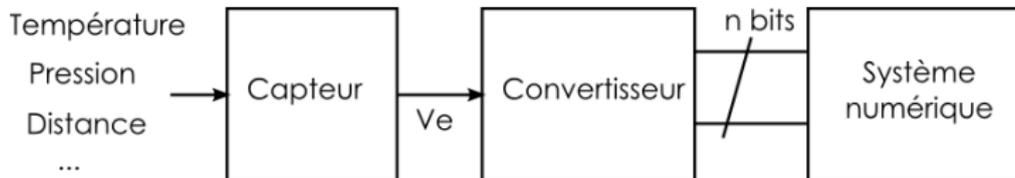


⇒ Il faut **numériser** (= convertir) pour pouvoir traiter les données

Comment convertir ?

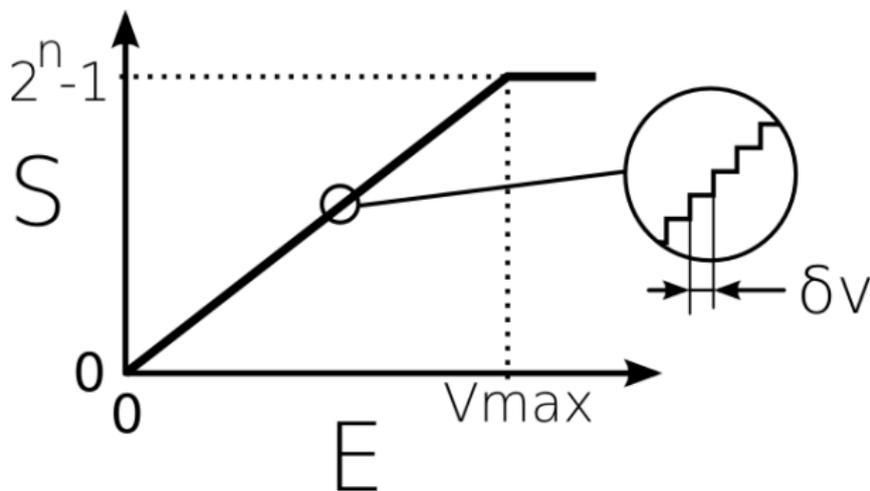
Deux fonctions à prévoir :

- capteur : transforme une grandeur physique en une grandeur électrique.
- convertisseur : transforme une grandeur électrique (tension) en une information numérique.



Caractéristique Entrée / Sortie

- Entrée : valeurs **continues** (tension).
- Sortie : valeurs **discrètes**, codées en binaire.



- Le pas de quantification δv est la plus petite valeur de tension qu'on peut détecter.

Caractéristiques fondamentales

- Résolution (nombre de bits n , qui donne N niveaux de quantification) $\Rightarrow N = 2^n$

Caractéristiques fondamentales

- Résolution (nombre de bits n , qui donne N niveaux de quantification) $\Rightarrow N = 2^n$
Valeurs typiques : 8, 10, 12, ... 16 (audio grand public), ... 20, ... 24 (audio pro)

Caractéristiques fondamentales

- Résolution (nombre de bits n , qui donne N niveaux de quantification) $\Rightarrow N = 2^n$
Valeurs typiques : 8, 10, 12, ... 16 (audio grand public), ... 20, ... 24 (audio pro)
- Plage de tension d'entrée ΔV
Typiquement : 0 - 5V, 0 - 10V

Caractéristiques fondamentales

- Résolution (nombre de bits n , qui donne N niveaux de quantification) $\Rightarrow N = 2^n$
Valeurs typiques : 8, 10, 12, ... 16 (audio grand public), ... 20, ... 24 (audio pro)
- Plage de tension d'entrée ΔV
Typiquement : 0 - 5V, 0 - 10V

Pas de quantification δv

$$\delta v = \frac{\Delta V}{N} \text{ (par exemple, 5V sur 10 bits : } \delta v = \frac{5}{1024} = 4,88 \text{ mV)}$$

Caractéristiques fondamentales

- Résolution (nombre de bits n , qui donne N niveaux de quantification) $\Rightarrow N = 2^n$
Valeurs typiques : 8, 10, 12, ... 16 (audio grand public), ... 20, ... 24 (audio pro)
- Plage de tension d'entrée ΔV
Typiquement : 0 - 5V, 0 - 10V

Pas de quantification δv

$$\delta v = \frac{\Delta V}{N} \text{ (par exemple, 5V sur 10 bits : } \delta v = \frac{5}{1024} = 4,88 \text{ mV)}$$

- Temps de conversion t_{conv}
En pratique, on s'intéresse plutôt au nombre d'acquisitions que l'on pourra faire par seconde (*Sample Rate*)
(homogène à une fréquence, unité : Hz)
Exemple : si $t_{conv} = 1\mu s$, alors on pourra échantillonner à 1MHz

1 Généralités

2 Comment : types de convertisseurs

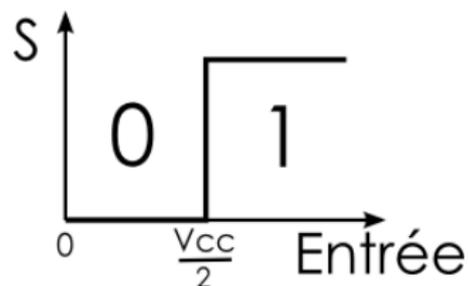
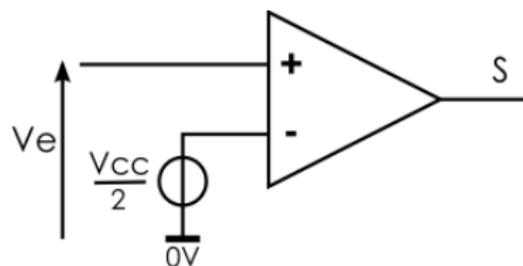
- Convertisseurs flash
- Convertisseurs à rampe
- Convertisseurs à approximation successives
- Autres convertisseurs
- Domaine d'utilisation

3 Convertisseur du 9s12

- 1 Généralités
- 2 Comment : types de convertisseurs
 - Convertisseurs flash
 - Convertisseurs à rampe
 - Convertisseurs à approximation successives
 - Autres convertisseurs
 - Domaine d'utilisation
- 3 Convertisseur du 9s12

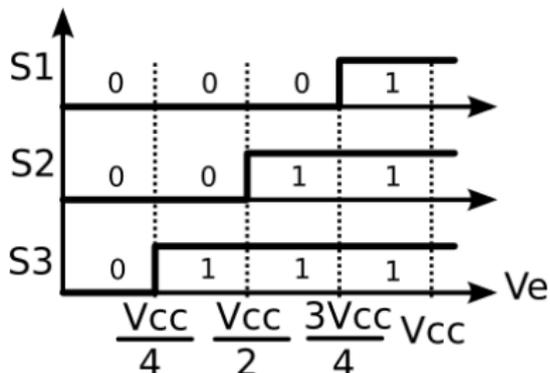
Convertisseur élémentaire 1 bit

- Composant de base : comparateur
- 1 bit \Rightarrow 2 états possibles en sortie



Convertisseur 2 bits

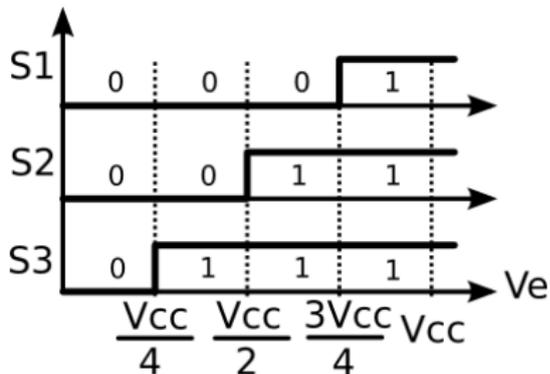
- Pour passer à 2 bits (4 niveaux), il faut 3 seuils, donc 3 comparateurs.
- Les seuils sont générés par un pont-diviseur de 4 résistances identiques.



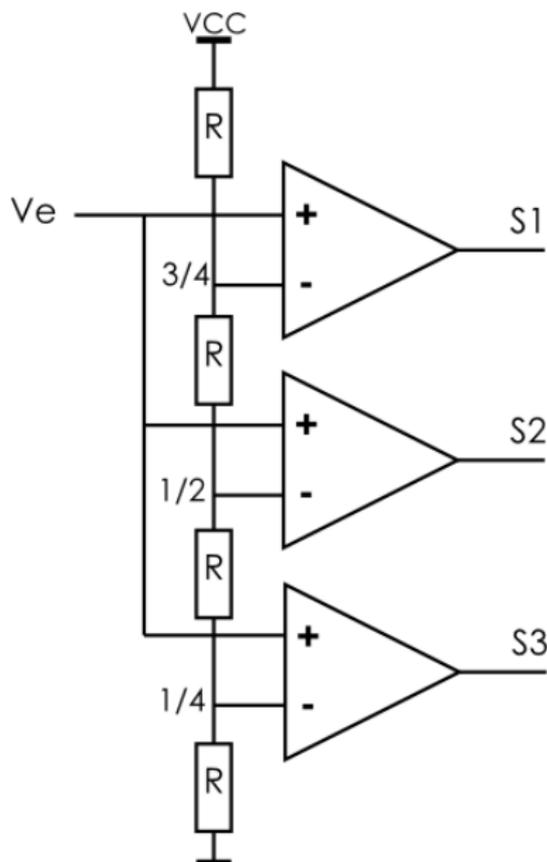
- Problème : on a 3 sorties et pas 2 !

Convertisseur 2 bits

- Pour passer à 2 bits (4 niveaux), il faut 3 seuils, donc 3 comparateurs.
- Les seuils sont générés par un pont-diviseur de 4 résistances identiques.

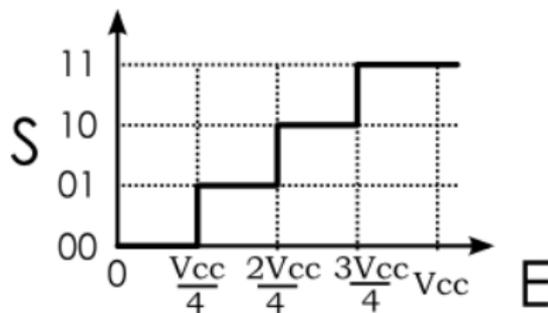


- Problème : on a 3 sorties et pas 2 !



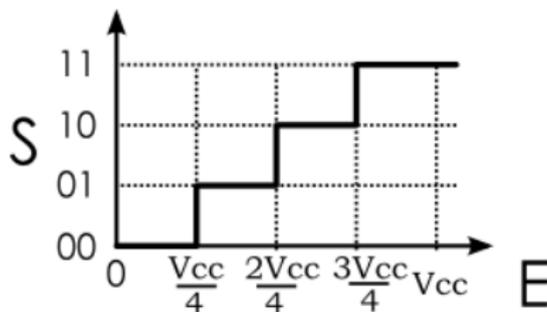
Convertisseur 2 bits : encodage

- On veut avoir la caractéristique E/S suivante :

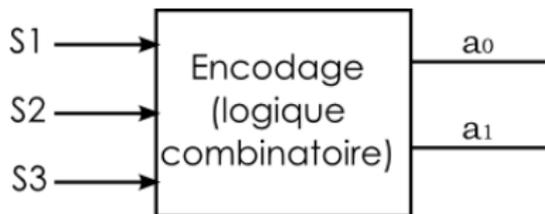


Convertisseur 2 bits : encodage

- On veut avoir la caractéristique E/S suivante :



- Il faut donc passer par une fonction **d'encodage** :



S1	S2	S3	a1	a0
0	0	0	0	0
0	0	1	0	1
0	1	1	1	0
1	1	1	1	1

- Ce type de convertisseur s'appelle **convertisseur "Flash"**.

1 - Convertisseur "Flash" 'n' bits

- Avantages : rapide

Durée de la conversion = temps de commutation comparateur + temps encodage.

(ordre de grandeur : 100 ns)

1 - Convertisseur "Flash" 'n' bits

- Avantages : rapide
Durée de la conversion = temps de commutation comparateur + temps encodage.
(ordre de grandeur : 100 ns)
- Inconvénients : Pour n bits, il faudra avoir $2^n - 1$ comparateurs.
 - 8 bits \Rightarrow 255 comparateurs !
 - 16 bits \Rightarrow 65535 comparateurs !!! \Rightarrow cher & encombrant ...
Plus les problèmes d'encodage (16 bits \rightarrow encodeur à 65535 entrées...)

1 - Convertisseur "Flash" 'n' bits

- Avantages : rapide
Durée de la conversion = temps de commutation comparateur + temps encodage.
(ordre de grandeur : 100 ns)
- Inconvénients : Pour n bits, il faudra avoir $2^n - 1$ comparateurs.
 - 8 bits \Rightarrow 255 comparateurs !
 - 16 bits \Rightarrow 65535 comparateurs !!! \Rightarrow cher & encombrant ...
Plus les problèmes d'encodage (16 bits \rightarrow encodeur à 65535 entrées...)
- Il existe des solutions (CAN à sous gammes), au prix d'une augmentation du temps de conversion.
Par exemple, pour 10 bits :
 - un convertisseur pour les 5 bits de poids faible,
 - un convertisseur pour les 5 bits de poids fort.

1 Généralités

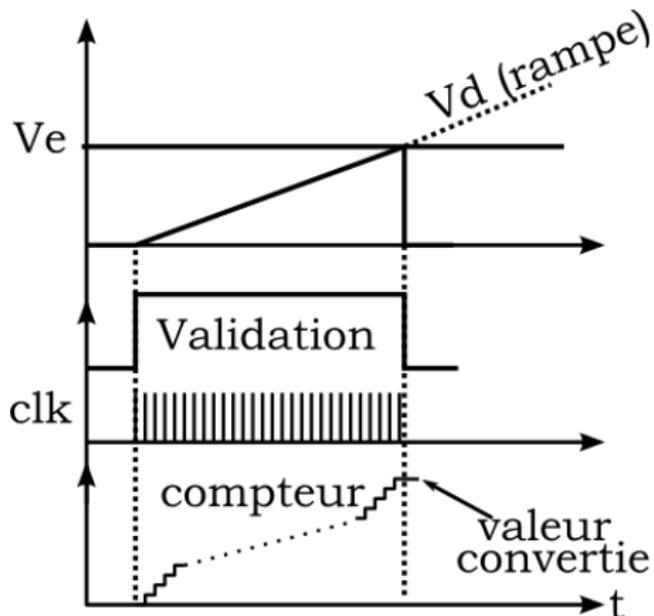
2 Comment : types de convertisseurs

- Convertisseurs flash
- **Convertisseurs à rampe**
- Convertisseurs à approximation successives
- Autres convertisseurs
- Domaine d'utilisation

3 Convertisseur du 9s12

2 - Convertisseur "simple rampe"

- Principe : on génère une tension en rampe V_d , que l'on compare avec V_e
En même temps, on incrémente un compteur avec une horloge rapide, et on l'arrête quand $V_d = V_e$.
- valeur du compteur = valeur convertie

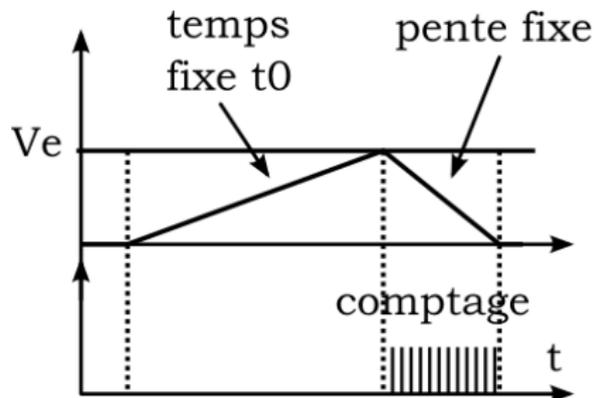


Convertisseur "simple rampe"

- Avantage : simple.
- Inconvénient : lent, peu précis (dérive liée aux composants).
- Peu utilisé en pratique.

Convertisseur "double rampe"

- Evolution du "simple rampe", permettant de s'affranchir de l'influence des composants.
- Avantage : très précis.
- Inconvénient : lent.
- Domaine d'utilisation : mesure



1 Généralités

2 Comment : types de convertisseurs

- Convertisseurs flash
- Convertisseurs à rampe
- **Convertisseurs à approximation successives**
- Autres convertisseurs
- Domaine d'utilisation

3 Convertisseur du 9s12

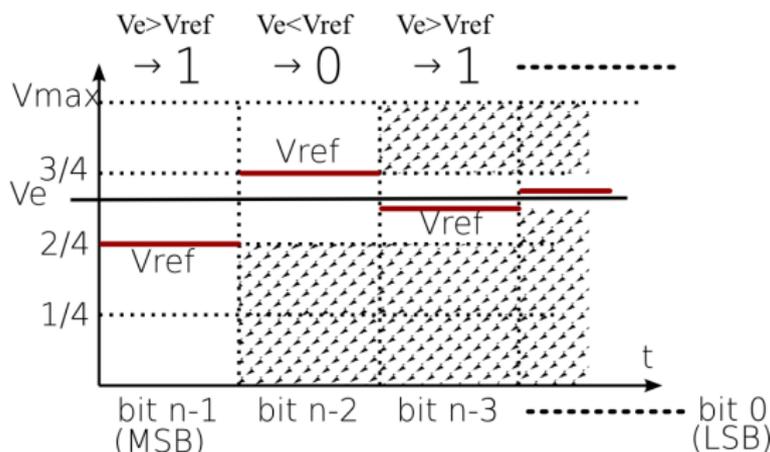
3 - Convertisseur à approximations successives

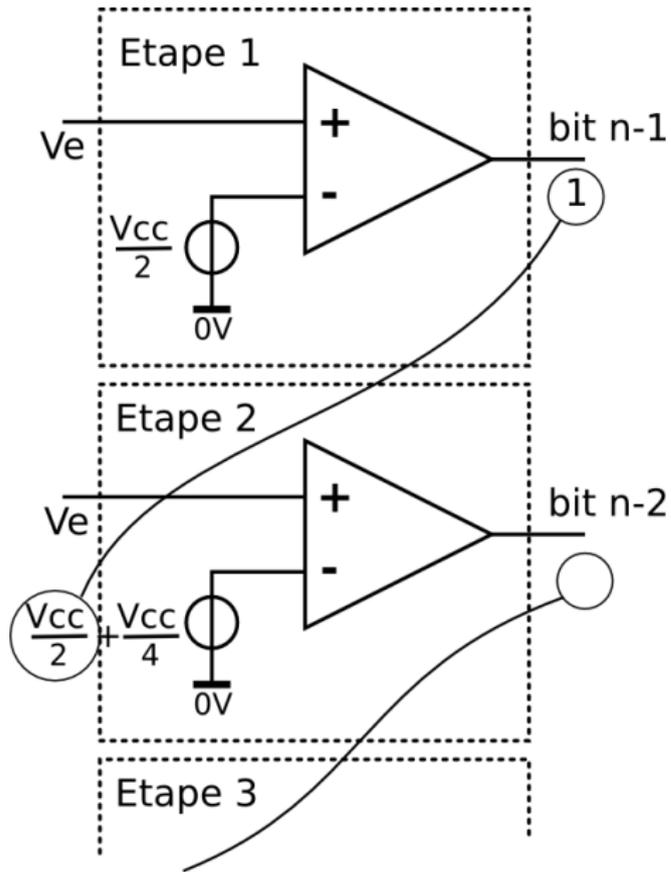
- Principe : balance de Roberval (pesées successives)



3 - Convertisseur à approximations successives

- Principe : balance de Roberval (pesées successives)
- Un seul comparateur.
- On effectue une séquence de 'n' comparaisons (pour 'n' bits), en générant à chaque étape une tension de référence V_{ref} égale à la moitié de la zone à considérer.

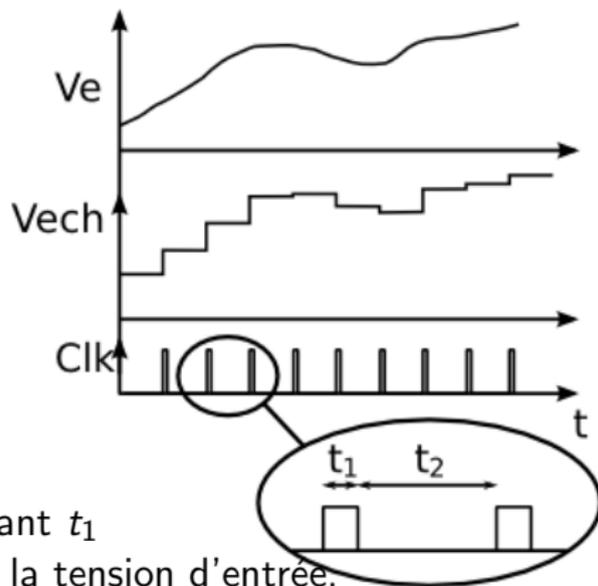
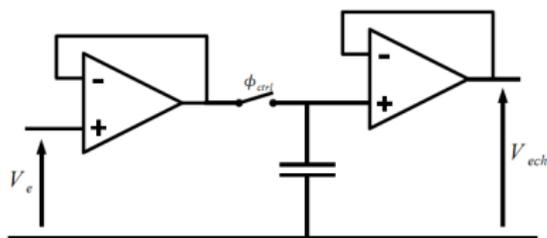




3 - Convertisseur à approximations successives

- **Avantage** : bon compromis performances/coût pour les applications courantes (acquisition de signaux de capteurs sans contraintes particulières).
⇒ C'est le type utilisé dans les CAN intégrés au microcontrôleurs.
- **Inconvénient** : V_e doit rester **stable** pendant la séquence de conversion.
⇒ Ceci est fait en ajoutant un **échantillonneur bloqueur** (*Sample and Hold*).

Echantillonneur Bloqueur



- Etape 1 : interrupteur fermé pendant t_1
→ le condensateur se charge avec la tension d'entrée.
- Etape 2 : interrupteur ouvert pendant t_2 ($t_2 \gg t_1$)
→ le condensateur joue le rôle de **mémoire analogique**.

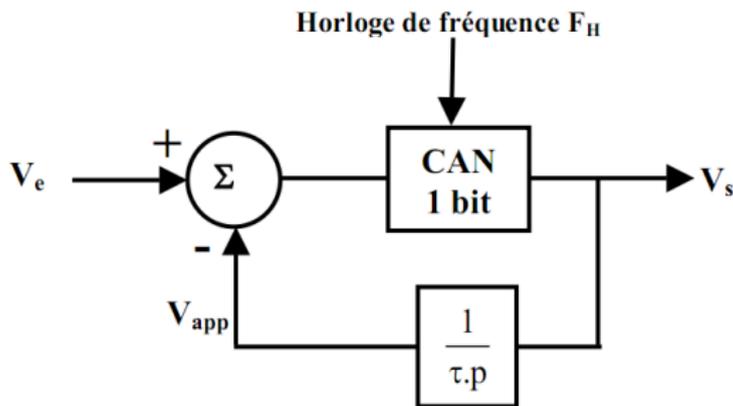
- 1 Généralités
- 2 **Comment : types de convertisseurs**
 - Convertisseurs flash
 - Convertisseurs à rampe
 - Convertisseurs à approximation successives
 - **Autres convertisseurs**
 - Domaine d'utilisation
- 3 Convertisseur du 9s12

4 - Autres types de convertisseurs

- Convertisseurs "Delta Sigma"

- Principe : suréchantillonnage du signal d'entrée et système asservi.
- Avantage : permet des cadences très élevées.
- Inconvénient : mise en oeuvre complexe.

⇒ Hors de portée de ce cours.



Source : Pierre Le Bars

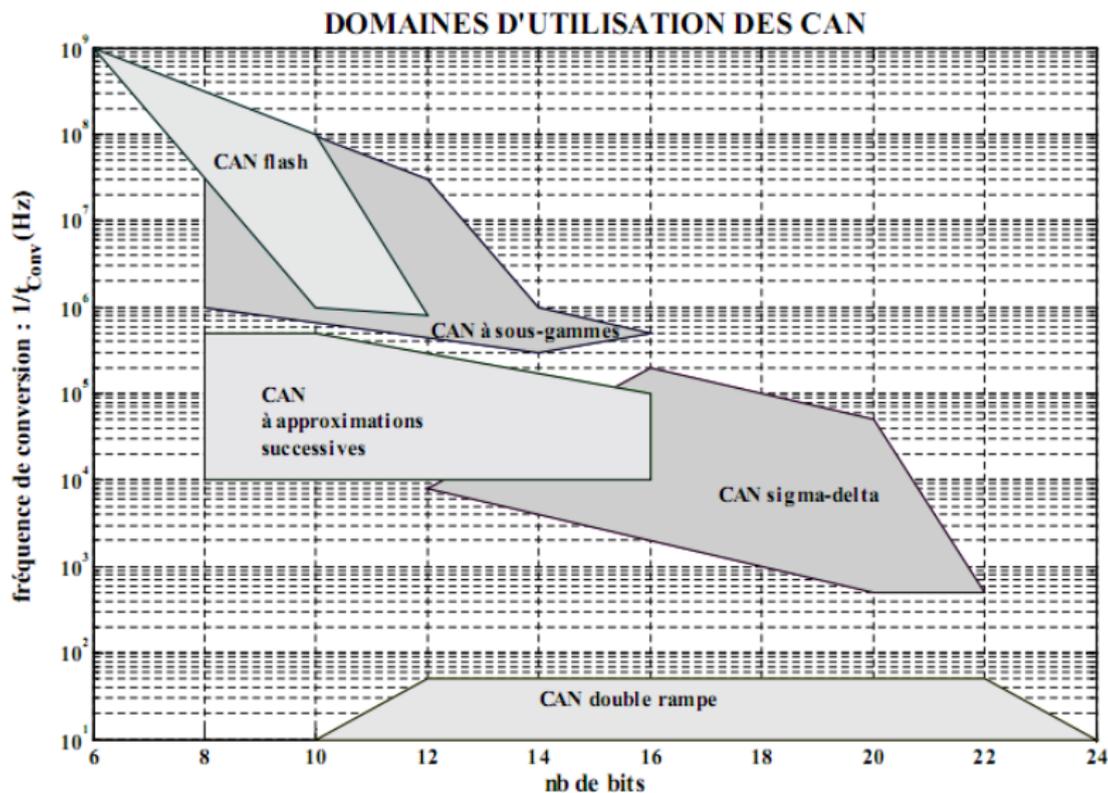
1 Généralités

2 Comment : types de convertisseurs

- Convertisseurs flash
- Convertisseurs à rampe
- Convertisseurs à approximation successives
- Autres convertisseurs
- **Domaine d'utilisation**

3 Convertisseur du 9s12

Domaine d'utilisation

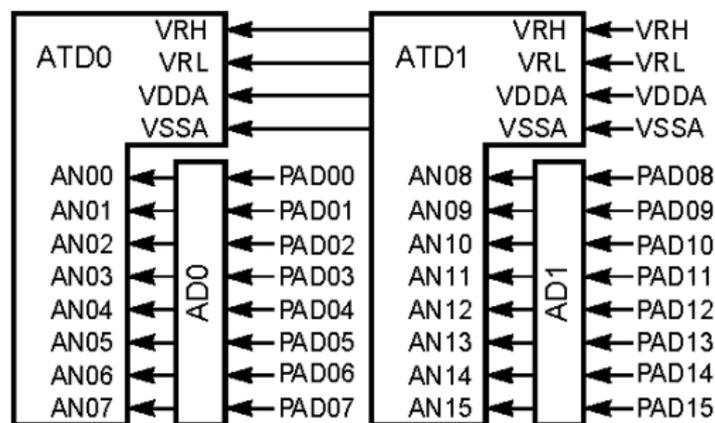


Source : Pierre Le Bars

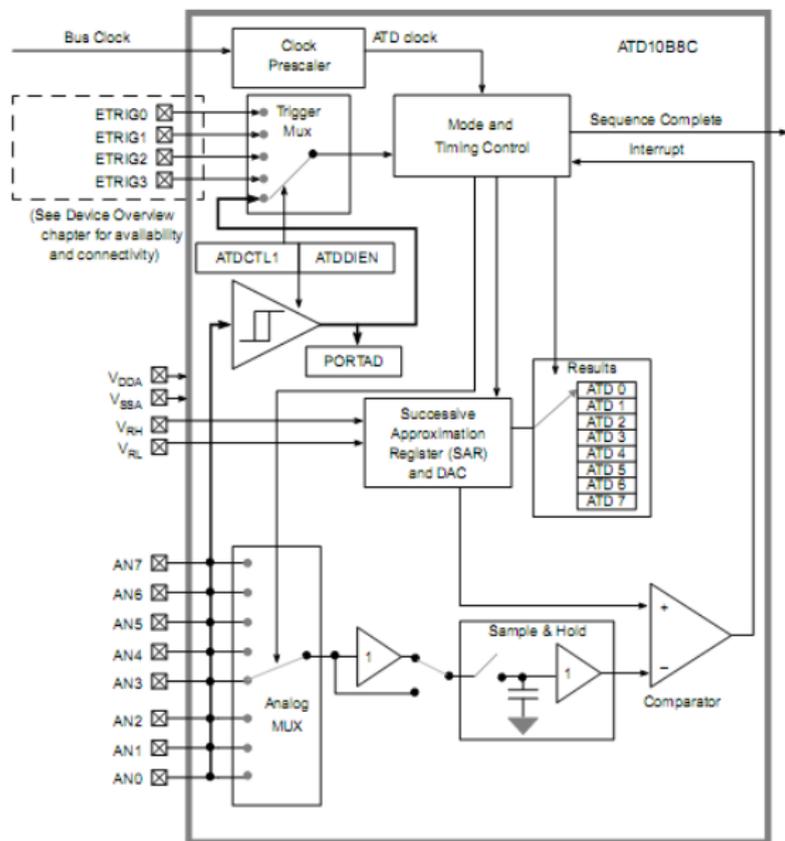
- 1 Généralités
- 2 Comment : types de convertisseurs
 - Convertisseurs flash
 - Convertisseurs à rampe
 - Convertisseurs à approximation successives
 - Autres convertisseurs
 - Domaine d'utilisation
- 3 Convertisseur du 9s12

Convertisseur du 9s12

- Le 9s12 est doté de 2 CAN **indépendants**, d'une résolution de 10 bits.
- Chaque convertisseur à 8 entrées analogiques, qu'un multiplexeur permet de sélectionner pour la conversion.
- Par défaut, la plage de tension d'entrée est 0 - 5V.



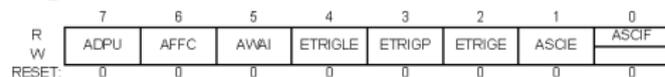
Architecture interne



- Ces convertisseurs sont pilotés à travers des registres dédiés :
 - 5 Registres de **contrôle** (8 bits)
 - 2 Registres d'**état** ("Status Registers") (8 bits)
 - 8 Registres de **résultat** (16 bits)
- Tous ces registres sont préfixés par les lettres 'ATD' (pour Analog To Digital)
- Les 2 convertisseurs sont indépendants : ils ont chacun leur jeu de registres distincts, identifiés par '0' ou '1' après 'ATD'.
Par exemple, le registre décrit ci-après comme 'ATDCTL2' s'appellera en fait ATD0CTL2 ou ATD1CTL2

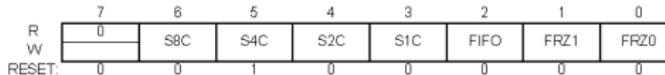
- Le convertisseur peut fonctionner de deux façons :
 - "conversion continue" : le convertisseur effectue des conversions en continu.
 - "conversion commandée" : le démarrage peut se faire :
 - soit par logiciel (écriture dans un registre),
 - soit par matériel (front ou niveau externe).
Dans ce cas, le signal de synchronisation est à envoyer sur la broche AN7.
- La résolution est de 10 bits en standard, mais peut être ramenée à 8 bits.
- A chaque démarrage d'une séquence de conversion, le convertisseur effectue automatiquement 'n' conversions (entre 1 et 8, 4 par défaut), et stocke le résultat dans les 8 registres résultats.
- La fin de la séquence de conversion est signalée par l'activation (=1) du flag SCF (registre ATDSTAT0).

Registres de contrôle



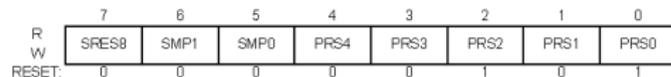
= Unimplemented or Reserved

ATD Control Register 2 (ATDCTL2)



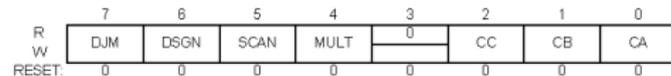
= Unimplemented or Reserved

ATD Control Register 3 (ATDCTL3)



= Unimplemented or Reserved

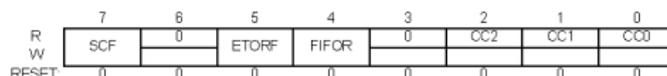
ATD Control Register 4 (ATDCTL4)



= Unimplemented or Reserved

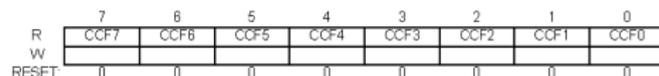
ATD Control Register 5 (ATDCTL5)

Registres d'état (*status*)



= Unimplemented or Reserved

ATD Status Register 0 (ATDSTAT0)



= Unimplemented or Reserved

ATD Status Register 1 (ATDSTAT1)

Exemple de schéma de mise en œuvre

- On souhaite mesurer la température intérieure / extérieure via 2 capteurs (identiques) de type CTN.
- On détermine R3 et R4 en fonction des caractéristiques de la CTN de façon à avoir une plage de variation proche de 0-5V.

