

Formation Automatique et Informatique Industrielle

Master 1 S2

Matière : Systèmes Embarqués et Systèmes
Temps Réel SE-STR

Par : ATOUI Hamza

Plan du cours

- Problématique.
- Les entrées analogiques.

Problématique

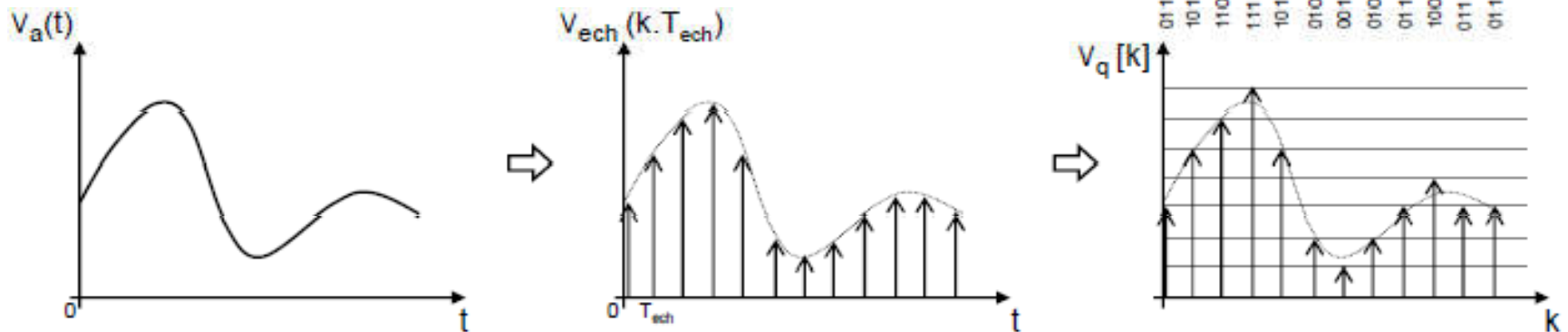
- L'environnement qu'on a dedans est un environnement purement analogique par une résolution est égale à l'infinie ! Donc, comment une plateforme numérique arrive à interagir avec (résolution connue sur N bits) ?
- D'autre part, les processus industriels sollicitent des interfaces de communication, de contrôle et de commande et dans pas mal de cas, en respectant un certain protocole! Est-ce que le modeste μ C PIC16F84A capable d'assurer tous les services (communication, contrôle et commande) pour gérer ces processus ?

Les entrées analogiques

- Le monde analogique impose l'utilisation de quelques composants pour interagir avec un traitement numérique, ces composants prennent le nom de **convertisseur**.
- Selon le sens de communication, on distingue deux types de convertisseurs: le **ADC** (Analog to Digital Converter) et le **DAC** (Digital to Analog Converter).
- Dans ce qui suit, on va étudier le ADC par ce que la plus part des μC sont équipés par un.

Les entrées analogiques

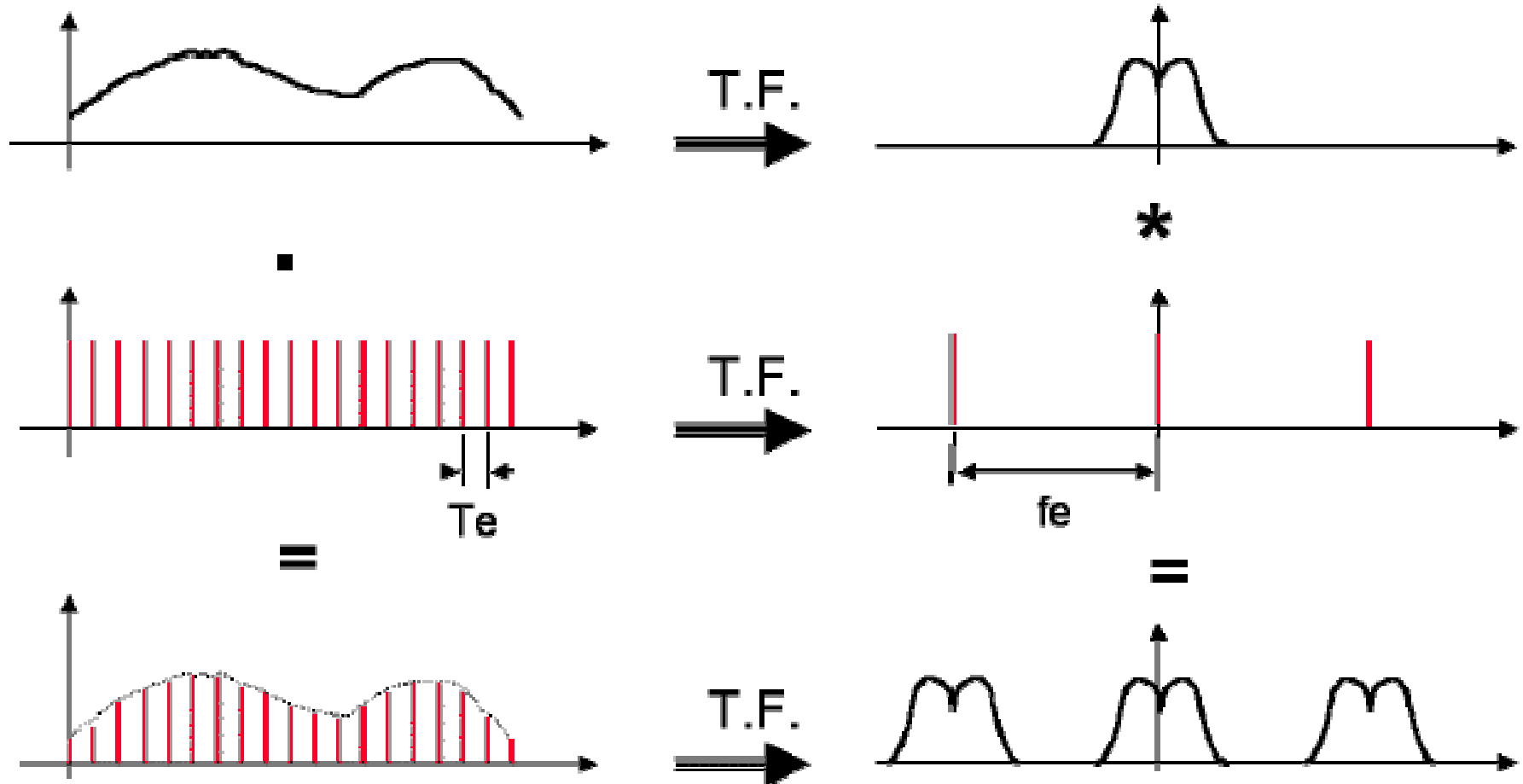
- Un convertisseur analogique numérique (ADC) est un dispositif électronique permettant la conversion d'un signal analogique en signal numérique.
- La conversion analogique numérique se fait en trois étapes (phases): l'**échantillonnage**, la **quantification** et le **codage**.



Les entrées analogiques

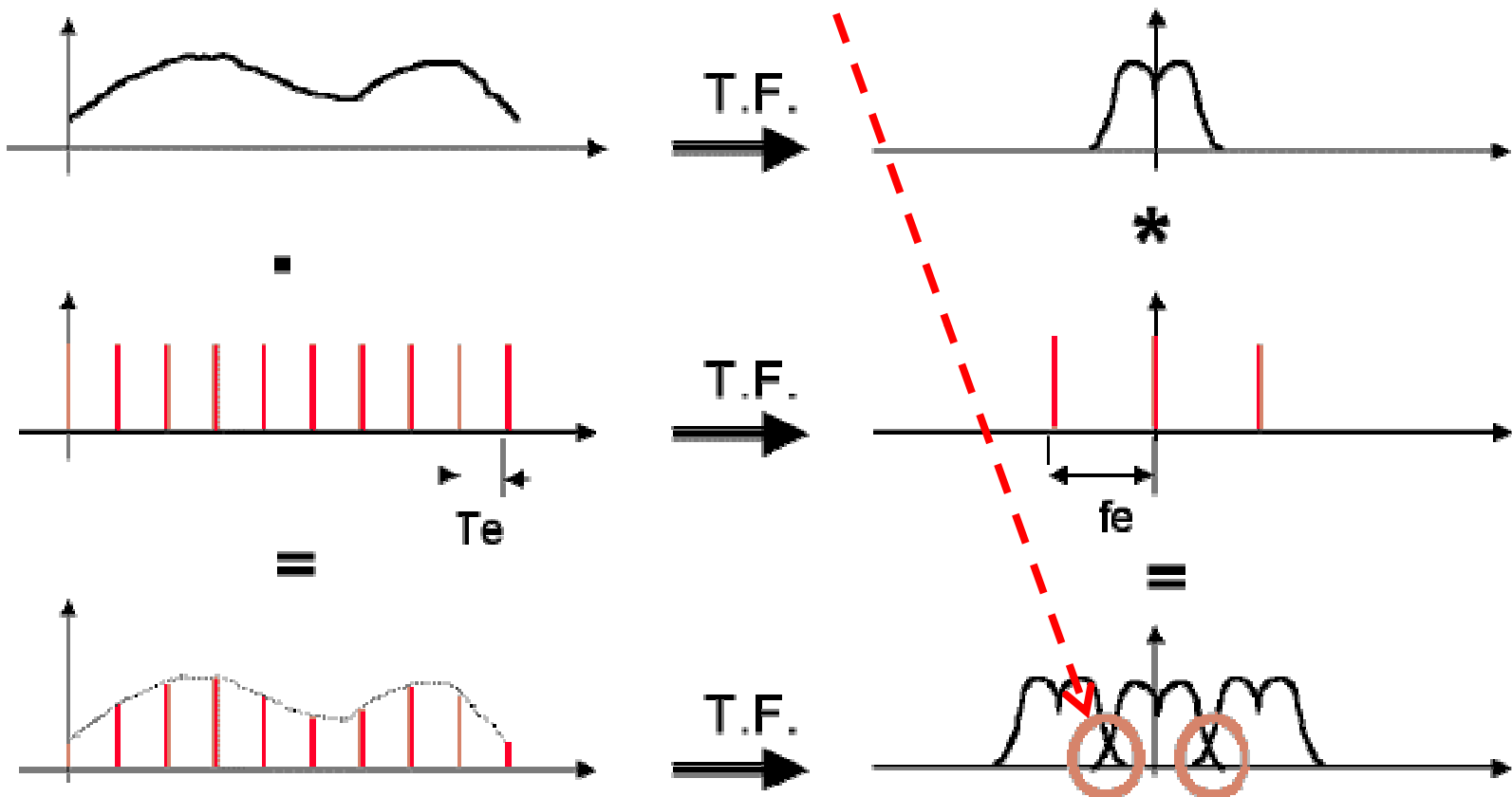
- L'échantillonnage consiste à représenter un signal $s(t)$ par la suite de ses valeurs $s(nT)$ à des instants multiples entiers d'une durée T (la période d'échantillonnage).
- Cela revient à multiplier $s(t)$ par C_T un peigne de Dirac de période T , comme indique la figure suivante:

Les entrées analogiques



Les entrées analogiques

- Une multiplication en temporel correspond à une convolution en fréquentiel. Le spectre est donc périodique, de période $f_e = 1/T$.
- On s'aperçoit que si $f_e < 2f_{s\max}$, les spectres se chevauchent (**repliement de spectre**).

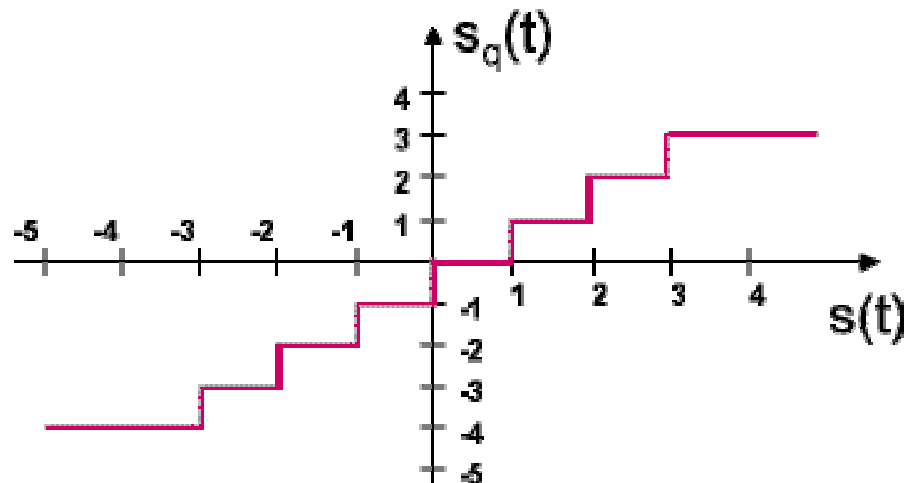
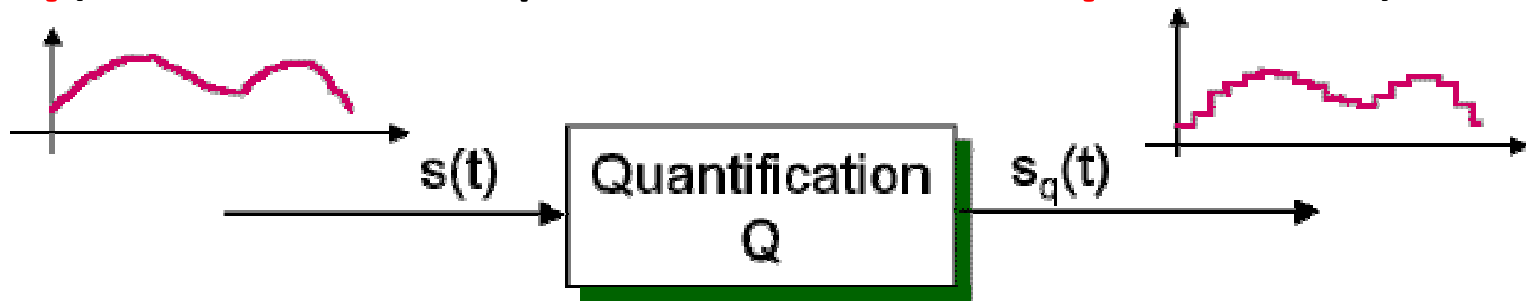


Les entrées analogiques

- Donc, pour éviter le repliement de spectre en respectant le théorème de Shannon nous dit que $f_e \geq 2f_s \text{max}$.
- Il y a deux possibilités d'appliquer Shannon:
- Si $f_s \text{max}$ est connu et dans des limites technologiquement acceptables, on choisit f_e en conséquence.
- Si $f_s \text{max}$ est indéterminée, on fixe f_e (il est quand même nécessaire d'avoir un minimum de connaissance du signal ...) et on applique sur le signal un filtre passe bas éliminant les fréquences supérieur à $2f_e$ (***filtre anti-repliement***).

Les entrées analogiques

- La quantification est l'approximation de chaque valeur du signal $s(t)$ par un entier multiple d'une quantité élémentaire q (échelon de quantification = **quantum**).



Les entrées analogiques

- La quantification entraîne une erreur dans la mesure du signal $s(t)$ ($s_q(1,2)=1$ et $s_q(1,7)=1$ par exemple). Cette erreur est inférieure à $|q|$ et amène un bruit de quantification.
- La représentation binaire des éléments de quantification est le codage. Il peut se faire de plusieurs manières : directe, par complément à 1 ou à 2, signe et valeur absolue, etc.

Les entrées analogiques

- Tout ADC se caractérise par :
 - La plage de conversion fixée par les tensions V_{ref+} et V_{ref-} .
 - La résolution sur N bits.
 - Le temps nécessaire pour réaliser l'opération de conversion T_c .
- Les deux premières caractéristiques déterminent le pas de quantification q par:

$$q = \frac{|V_{ref}^+ - V_{ref}^-|}{2^N}$$

Les entrées analogiques

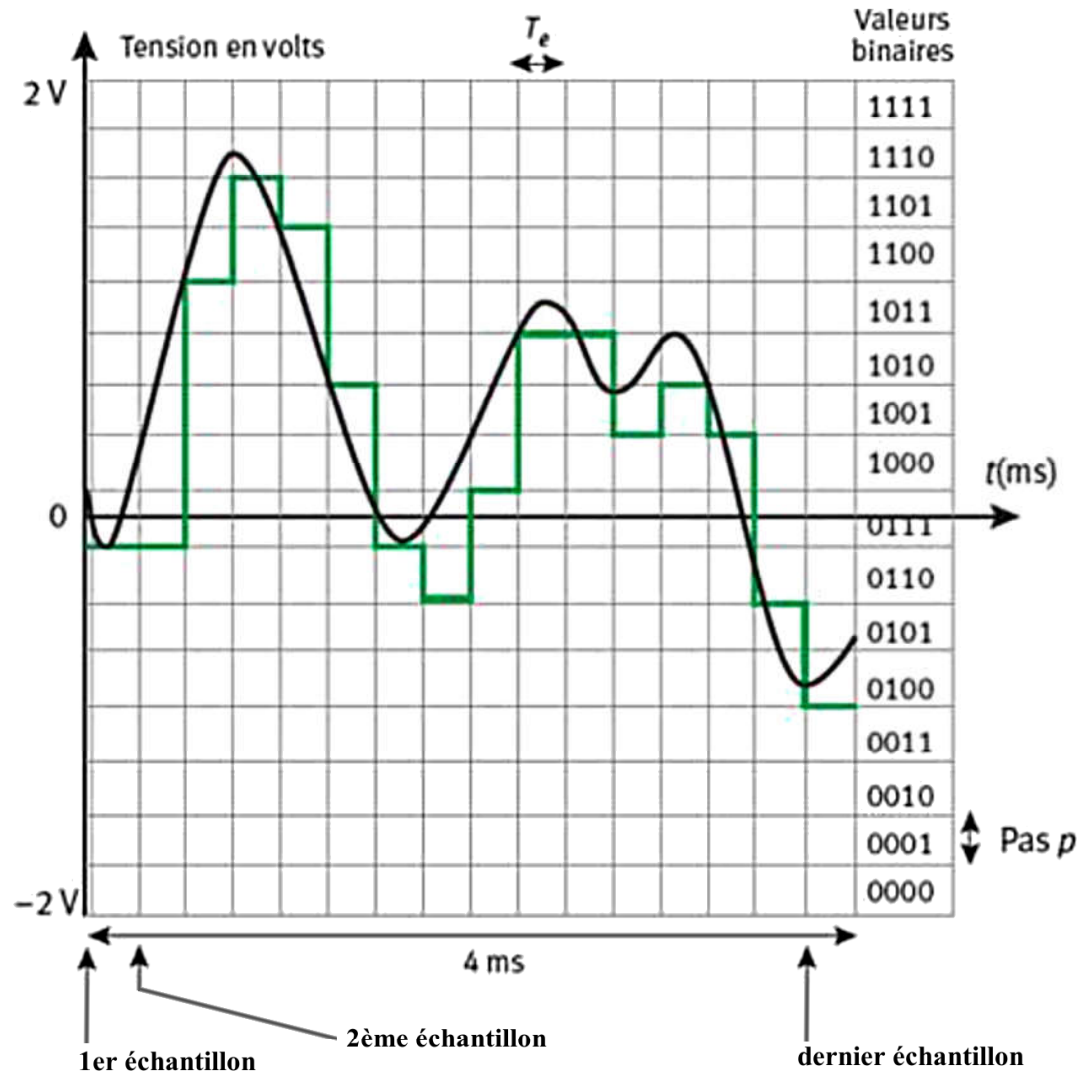
- Si $V_{ref+} = 5$ volts, $V_{ref-} = 0$ volts et $N = 10$ bits, donc:
 $q = 5/1024 \approx 0.005$ volts par pas.
- Si la tension à l'entrée de l'ADC est 3.5 volts donc la valeur numérique après conversion est :
 - **$V_{num} = \text{floor}(V_{in}/q) = 700$.**
- Si la valeur numérique indiquée après conversion est 500 donc cette valeur correspond à une tension:
 - **$V_{in} = V_{num} * q = 2.75$ volts.**

Les entrées analogiques

- *A votre avis mes chers étudiants, quelle est l'utilité de connaître le temps de conversion (T_c)?*

Les entrées analogiques

- Soit la courbe analogique suivante (en noir) et le résultat de sa conversion numérique (en vert) :



Les entrées analogiques

- Sur combien de bits travaille ce convertisseur ?
- Combien de valeurs différentes sont-elles possibles ?
- Déterminez la période d'échantillonnage T_e utilisée par ce convertisseur.
- Calculez la fréquence d'échantillonnage.
- Sachant que les valeurs max et min du signal analogique sont 2V et -2V, calculez q (quantum).
- Pour mémoriser le signal numérique correspondant à ces 4ms, combien de bits de données va-t-on avoir?
- Si le signal total dure maintenant 5 minutes, combien de bits de données seront nécessaires pour mémoriser numériquement le signal?

Les entrées analogiques

- On va essayer d'améliorer ce convertisseur A/N. On va passer le convertisseur sur 5 bits.
- Combien de valeurs différentes sont-elles possibles maintenant ?
- Sachant que les valeurs max et min du signal analogique sont 2V et -2V, calculez le quantum (q).
- Pour mémoriser le signal numérique correspondant à ces 4ms, combien de bits de données va-t-on avoir?

Les entrées analogiques

- Tout en laissant le convertisseur sur 5 bits, on va doubler la fréquence d'échantillonnage.
 - Est-ce que on a besoin de recalculer le quantum?
- Pour mémoriser le signal numérique correspondant à ces 4ms, combien de bits de données va-t-on avoir?

Les entrées analogiques

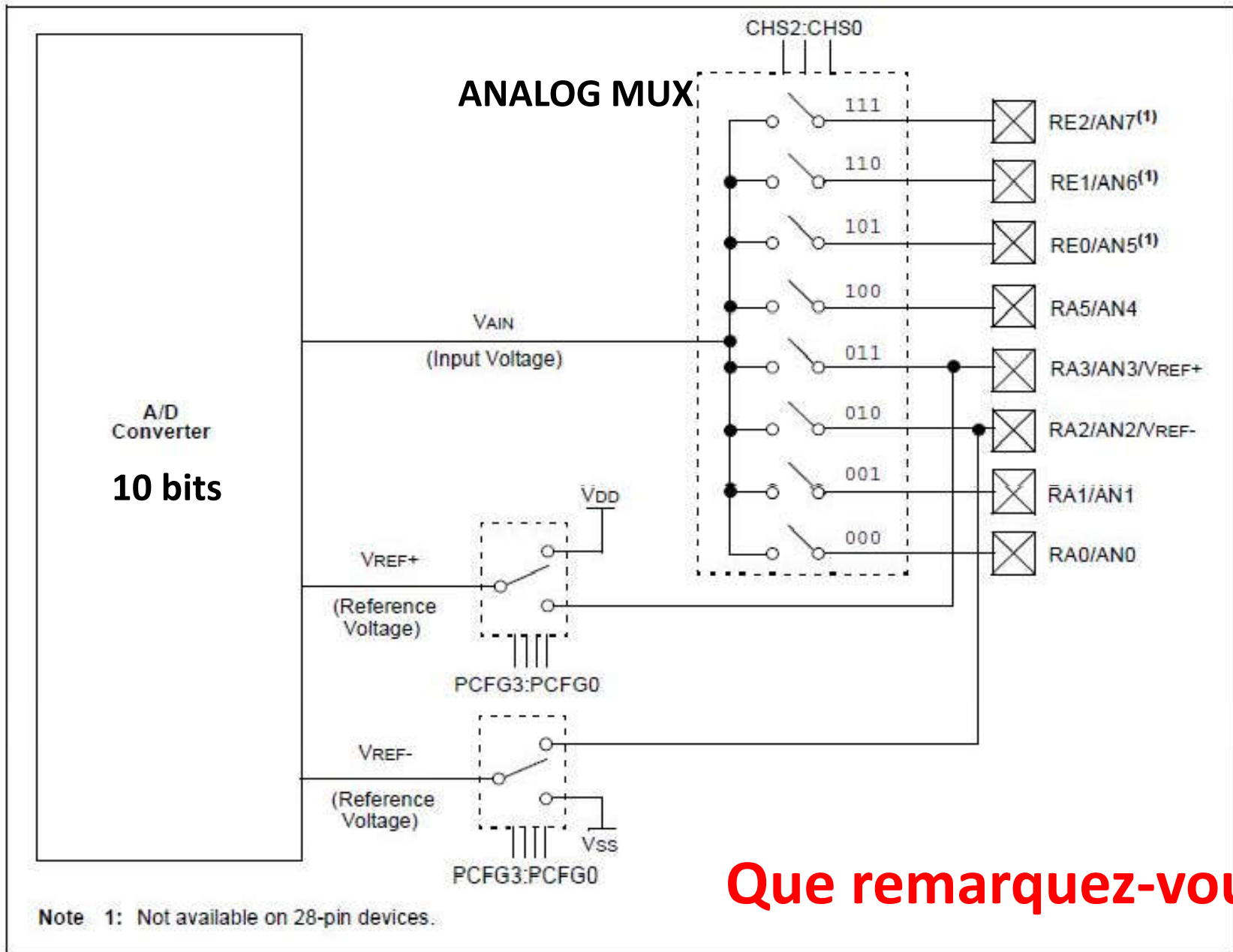
- Après cette introduction sur la conversion analogique numérique; maintenant, on va passer vers l'étude de l'ADC installé à l'intérieur des μ C PIC16.
- Pour connaître, est-ce que un μ C est équipé par un ADC, tout simplement aller vers le téléchargement du DATASHEET. Ce dernier nous donne une idée sur la présence d'un ADC, le nombre d'entrées analogiques, la résolution en bit, la plage de conversion et le temps de conversion avec quelques informations concernant l'utilisation (registres internes et configuration)

Les entrées analogiques

- On peut citer quelques μC de la série PIC16 équipé par un ADC: le PIC16F88, le PIC16F87xA, le PIC16C7x...
- La résolution, le nombre d'entrées analogiques et le nombre de registres à manipuler, toutes ces caractéristiques se diffèrent d'un μC à l'autre (de 8 ou 10 bits de résolution, de 1 à 8 entrées analogiques, de 3 à 5 registres).
- Dans ce qui suit, on va étudier l'ADC de PIC16F87xA.

Les entrées analogiques

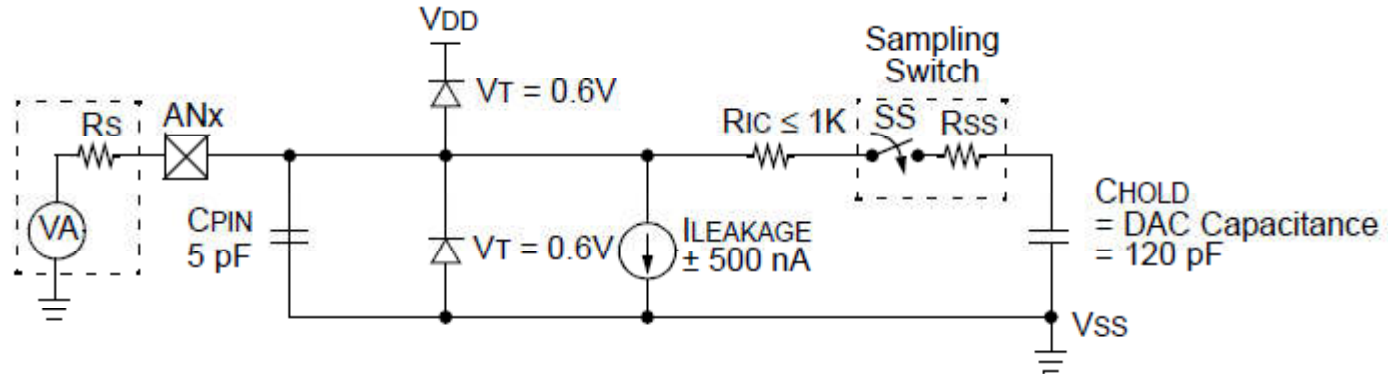
A/D BLOCK DIAGRAM



Que remarquez-vous?

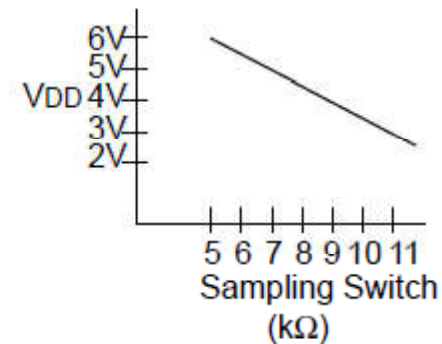
Les entrées analogiques

ANALOG INPUT MODEL



Legend:

- CPIN = input capacitance
- VT = threshold voltage
- ILEAKAGE = leakage current at the pin due to various junctions
- Ric = interconnect resistance
- SS = sampling switch
- CHOLD = sample/hold capacitance (from DAC)

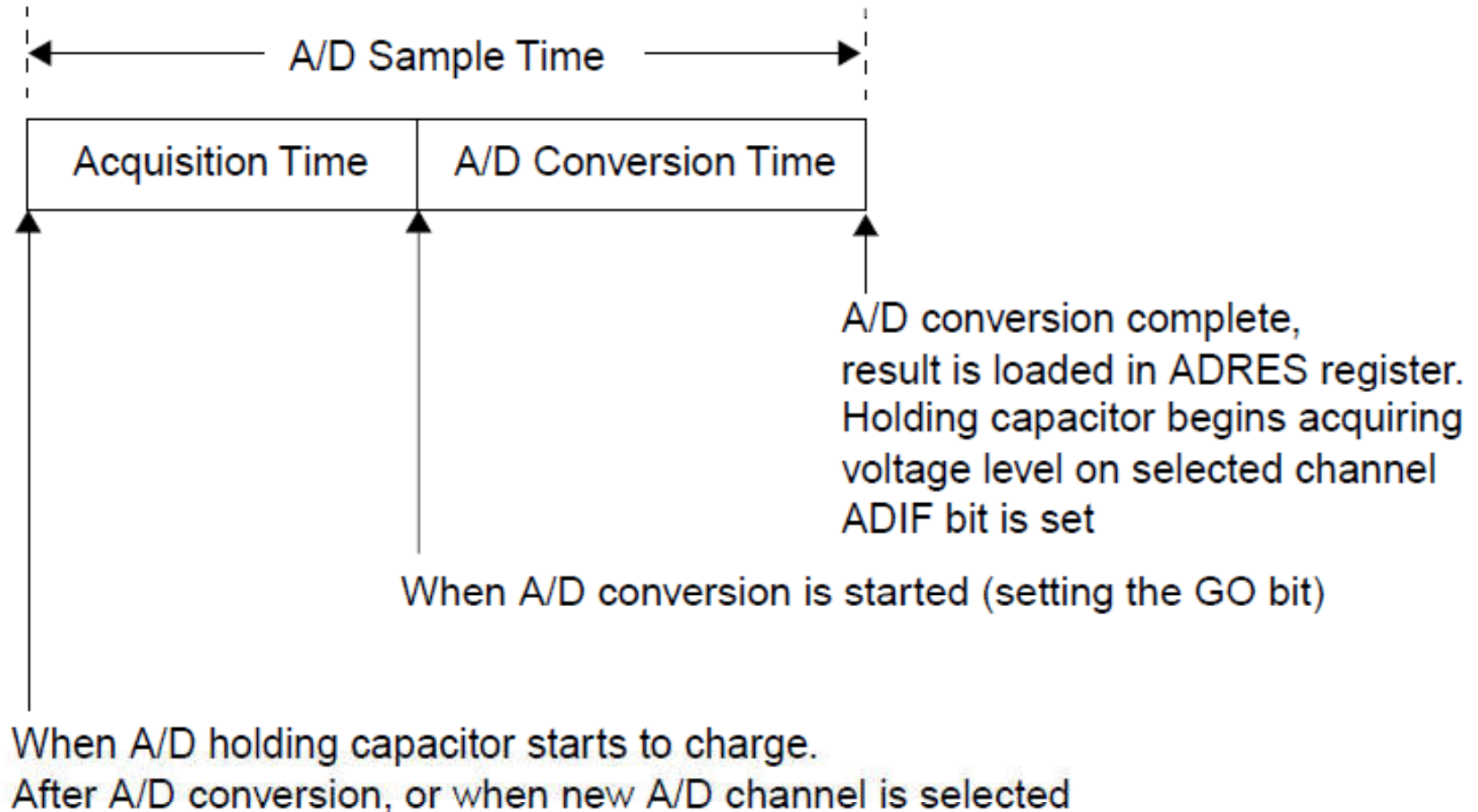


Que remarquez-vous?

Quel est l'intérêt de connaître le modèle ?

Les entrées analogiques

A/D Conversion Sequence



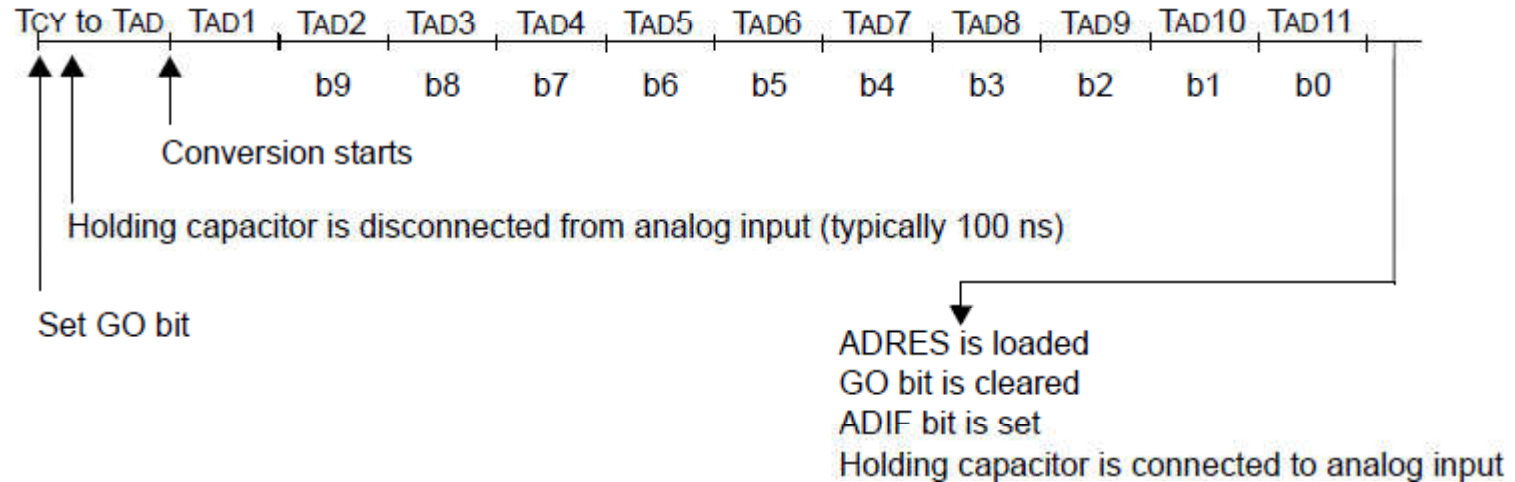
Que remarquez-vous?

Les entrées analogiques

- Le temps d'acquisition (Acquisition Time – T_{acq} –) dépend directement par la valeur de **R_s** (l'impédance interne de la source) .
- Si **R_s** diminue, **T_{acq}** diminue.
- D'après le DATASHEET, il faut garder la valeur de R_s inférieur à **$10k\Omega$** pour assurer un **$T_{acq} \leq 20 \mu s$**
- Mais le temps de conversion (Conversion Time – T_c –) est égale à **$12T_{AD}$** avec **T_{AD}** présente le temps nécessaire pour calculer un bit de résultat comme indique la figure suivante :
- Pour assurer le bon fonctionnement de l'ADC il faut assurer un **$T_{AD} \geq 1.6\mu s$** (DATASHEET)

Les entrées analogiques

A/D CONVERSION TAD CYCLES



Que remarquez-vous?

Quel est le temps nécessaire pour convertir un échantillon en valeur numérique (Sample Time) ?

Quel est l'intérêt de connaître le Sample Time ?

Les entrées analogiques

- L'utilisation de l'ADC de PIC16F87xA nécessite la manipulation de 4 registres:
 - Registre ADCON0 (contrôle)
 - Registre ADCON1 (contrôle)
 - Registre ADRESL (résultat)
 - Registre ADRESH (résultat)
- Comme n'importe quel périphérique, l'utilisation de l'ADC passe par l'étape de configuration du module! *Qu'est qu'on va configurer ?*

Les entrées analogiques

- Pour rependre à cette question, il faut connaitre d'abord le format des registres ADCON0 et ADCON1.

ADCON0 REGISTER (ADDRESS 1Fh)

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0
ADCS1	ADCS0	CHS2	CHS1	CHS0	GO/ $\overline{\text{DONE}}$	—	ADON
bit 7							bit 0

ADCON1 REGISTER (ADDRESS 9Fh)

R/W-0	R/W-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
ADFM	ADCS2	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0
bit 7							bit 0

Les entrées analogiques

- D'après le DATASHEET et le format des registres ADCON0 et ADCON1, on configure le suivant:
 - Le bit **ADON** : pour faire marcher/arrêter l'ADC.
 - Les bits **ADCS2, ADCS1 et ADCS0**: pour sélectionner l'horloge de l'ADC.
 - Les bits **PCFG3, PCFG2, PCFG1 et PCFG0**: pour configurer les pins du PORT (A/REF/D).
 - Le bit **ADFM**: pour sélectionner le format de résultat (alignement à gauche ou à droite).

Les entrées analogiques

CHS2:CHS0: Analog Channel Select bits

000 = Channel 0 (AN0)

001 = Channel 1 (AN1)

010 = Channel 2 (AN2)

011 = Channel 3 (AN3)

100 = Channel 4 (AN4)

101 = Channel 5 (AN5)

110 = Channel 6 (AN6)

111 = Channel 7 (AN7)

Les entrées analogiques

ADCS1:ADCS0: A/D Conversion Clock Select bits (ADCON0 bits in **bold**)

ADCON1 <ADCS2>	ADCON0 <ADCS1:ADCS0>	Clock Conversion
0	00	Fosc/2
0	01	Fosc/8
0	10	Fosc/32
0	11	FRC (clock derived from the internal A/D RC oscillator)
1	00	Fosc/4
1	01	Fosc/16
1	10	Fosc/64
1	11	FRC (clock derived from the internal A/D RC oscillator)

Les entrées analogiques

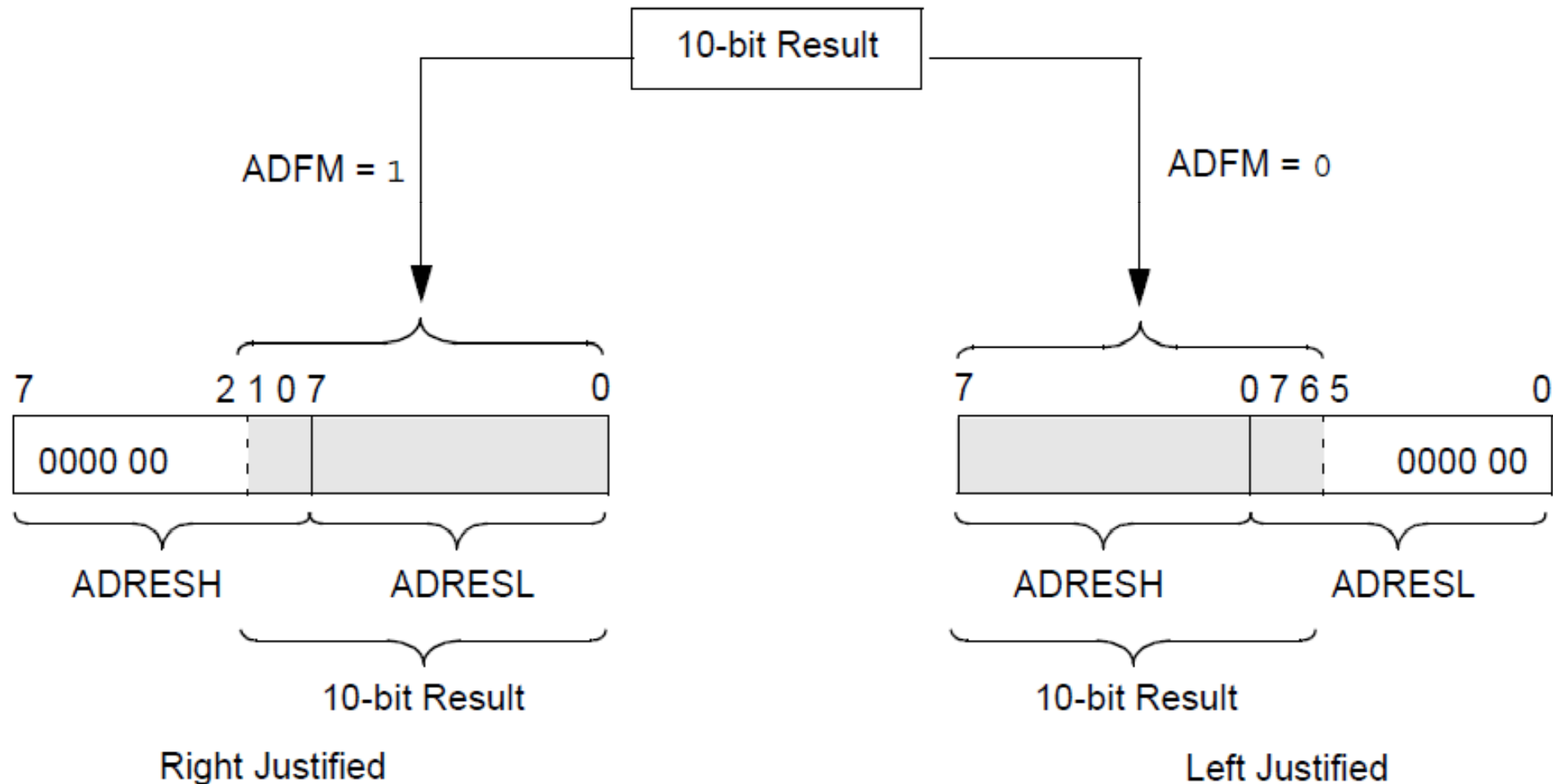
PCFG3:PCFG0: A/D Port Configuration Control bits

PCFG <3:0>	AN7	AN6	AN5	AN4	AN3	AN2	AN1	AN0	VREF+	VREF-	C/R
0000	A	A	A	A	A	A	A	A	VDD	VSS	8/0
0001	A	A	A	A	VREF+	A	A	A	AN3	VSS	7/1
0010	D	D	D	A	A	A	A	A	VDD	VSS	5/0
0011	D	D	D	A	VREF+	A	A	A	AN3	VSS	4/1
0100	D	D	D	D	A	D	A	A	VDD	VSS	3/0
0101	D	D	D	D	VREF+	D	A	A	AN3	VSS	2/1
011x	D	D	D	D	D	D	D	D	—	—	0/0
1000	A	A	A	A	VREF+	VREF-	A	A	AN3	AN2	6/2
1001	D	D	A	A	A	A	A	A	VDD	VSS	6/0
1010	D	D	A	A	VREF+	A	A	A	AN3	VSS	5/1
1011	D	D	A	A	VREF+	VREF-	A	A	AN3	AN2	4/2
1100	D	D	D	A	VREF+	VREF-	A	A	AN3	AN2	3/2
1101	D	D	D	D	VREF+	VREF-	A	A	AN3	AN2	2/2
1110	D	D	D	D	D	D	D	A	VDD	VSS	1/0
1111	D	D	D	D	VREF+	VREF-	D	A	AN3	AN2	1/2

A = Analog input D = Digital I/O

C/R = # of analog input channels/# of A/D voltage references

Les entrées analogiques



Les entrées analogiques

- Exemple: si $F_{osc} = 1\text{MHz}$.
- configurer l'ADC par le suivant:
 - Une seule entrée analogique et le reste numérique, alignement à gauche avec $V_{ref+} = V_{dd}$ et $V_{ref-} = V_{ss}$.

Les entrées analogiques

- L'utilisation de l'ADC des μC 16F se fait par 3 manières:
 - Par scrutation du bit GO/DONE.
 - Par scrutation du flag ADIF.
 - Sous Interruption.

Les entrées analogiques

- Par scrutation du bit GO/DONE:
 - Sélectionner le canal à convertir $ADCON0(CHS2:CHS0)$.
 - Faire une attente autour de $20\mu s$ pour le temps d'acquisition ($R_s \leq 10K\Omega$).
 - Positionner le bit GO/DONE ($ADCON0(GO/DONE) \leftarrow 1$).
 - Scruter le bit GO/DONE jusqu'à l'effacement ($ADCON0(GO/DONE) = 0$).
 - Lire le résultat de conversion dans les registres $ADRESH:ADRESL$.

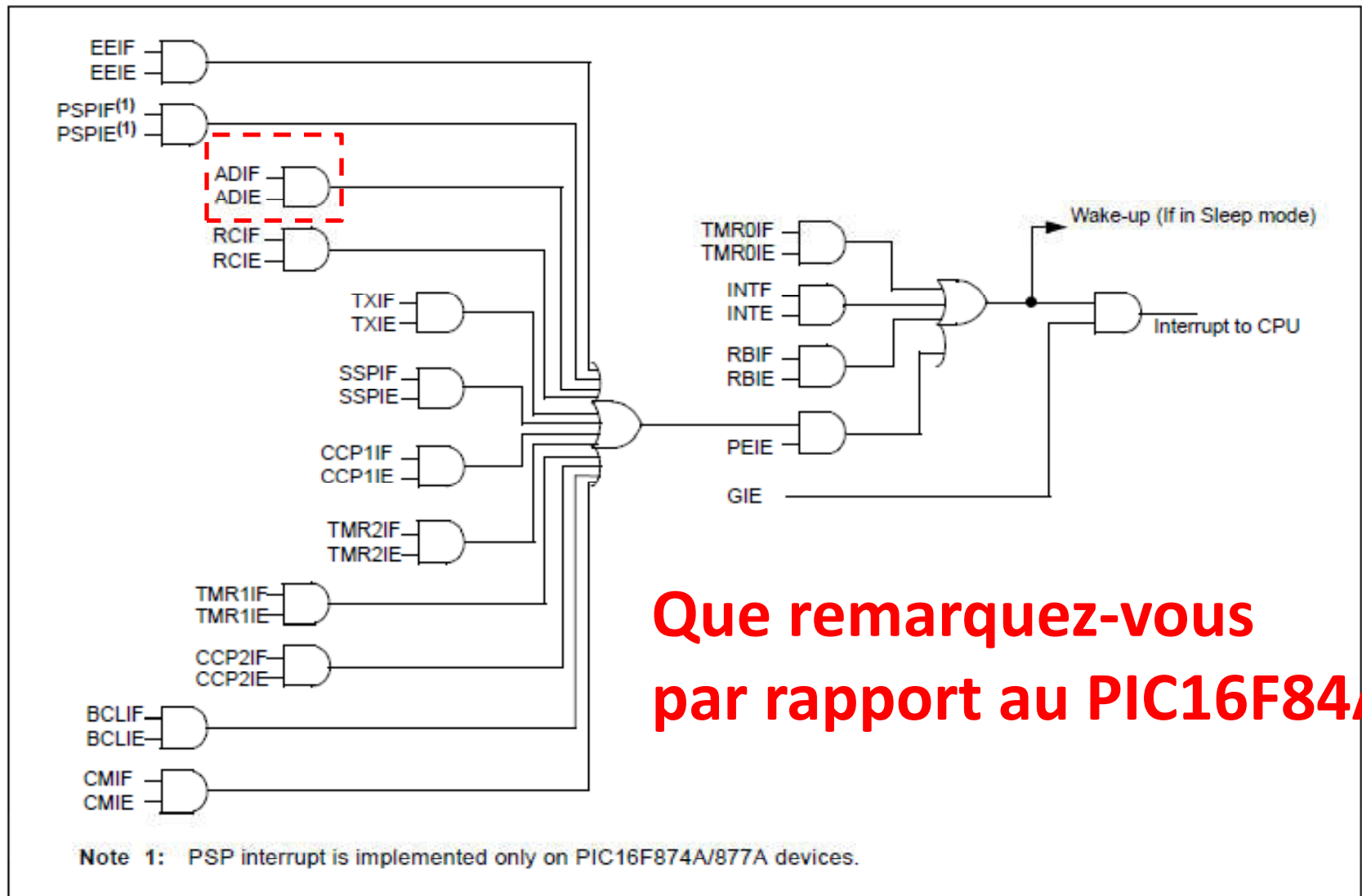
Les entrées analogiques

- Par scrutation du flag ADIF :
 - Sélectionner le canal à convertir ADCON0(CHS2:CHS0).
 - Effacer le flag ADIF (ADIF $\leftarrow$ 0).
 - Faire une attente autour de 20 μ s pour le temps d'acquisition ($R_s \leq 10K\Omega$).
 - Positionner le bit GO/DONE (ADCON0(GO/DONE) $\leftarrow$ 1).
 - Scruter le flag ADIF jusqu'au positionnement (ADIF = 1).
 - Lire le résultat de conversion dans les registres ADRESH:ADRESL.

Les entrées analogiques

- Sous Interruption : avant de passer vers cette manière, il faut connaître d'abord la logique d'interruption des μC PIC16F87xA.

INTERRUPT LOGIC



**Que remarquez-vous
par rapport au PIC16F84A?**

Les entrées analogiques

Le MAIN (code principal)

- En configuration:
 - ADIE $\leftarrow$ 1.
 - PEIE $\leftarrow$ 1.
 - GIE $\leftarrow$ 1.
 - ADIF $\leftarrow$ 0.
- Sélectionner le canal à convertir ADCON0(CHS2:CHS0).
- Faire une attente autour de 20 μ s pour le temps d'acquisition ($R_s \leq 10K\Omega$).
- Positionner le bit GO/DONE (ADCON0(GO/DONE) $\leftarrow$ 1).

Le ISR (code de service d'interruption)

- Si ADIF = 1 alors
 - Lire le résultat de conversion dans les registres ADRESH:ADRESL.
- ADIF $\leftarrow$ 0.

Les entrées analogiques

REGISTERS/BITS ASSOCIATED WITH A/D

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on POR, BOR	Value on MCLR, WDT
0Bh,8Bh,10Bh,18Bh	INTCON	GIE	PEIE	TMR0IE	INTE	RBIE	TMR0IF	INTF	RBIF	0000 000x	0000 000u
0Ch	PIR1	PSPIF ⁽¹⁾	ADIF	RCIF	TXIF	SSPIF	CCP1IF	TMR2IF	TMR1IF	0000 0000	0000 0000
8Ch	PIE1	PSPIE ⁽¹⁾	ADIE	RCIE	TXIE	SSPIE	CCP1IE	TMR2IE	TMR1IE	0000 0000	0000 0000
1Eh	ADRESH	A/D Result Register High Byte								xxxx xxxx	uuuu uuuu
9Eh	ADRESL	A/D Result Register Low Byte								xxxx xxxx	uuuu uuuu
1Fh	ADCON0	ADCS1	ADCS0	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONE	—	ADON	0000 00-0	0000 00-0
9Fh	ADCON1	ADFM	ADCS2	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0	00-- 0000	00-- 0000
85h	TRISA	—	—	PORTA Data Direction Register						--11 1111	--11 1111
05h	PORTA	—	—	PORTA Data Latch when written: PORTA pins when read						--0x 0000	--0u 0000
89h ⁽¹⁾	TRISE	IBF	OBF	IBOV	PSPMODE	—	PORTE Data Direction bits			0000 -111	0000 -111
09h ⁽¹⁾	PORTE	—	—	—	—	—	RE2	RE1	RE0	---- -xxx	---- -uuu

Legend: x = unknown, u = unchanged, - = unimplemented, read as '0'. Shaded cells are not used for A/D conversion.

Note 1: These registers are not available on 28-pin devices.