



Matière :	Science de l'Ingénieur - A.T.C -	Pr.MAHBAB
Section :	Sciences et Technologies Électriques	Systeme n° 4

❖ **Sujet :**

- ◆ Le sujet comporte au total **16** pages.
- ◆ Le sujet comporte 3 types de documents :

✚ **Pages 01 à 04** : Socle du sujet comportant les situations d'évaluation (SEV).

✚ **Pages 05 à 10** : Documents réponses portant la mention.

DREP XX

✚ **Pages 11 à 16** : Documents ressources portant la mention.

DRES XX

16 pages

❖ **6 Fiches cours :**

- ◆ Fiche cours n°15 « **Chaîne d'acquisition numérique** »
- ◆ Fiche cours n°16 « **Les capteurs de niveau** »
- ◆ Fiche cours n°17 « **Les C.A.N** »
- ◆ Fiche cours n°18 « **Caractéristiques des convertisseurs** »
- ◆ Fiche cours n°19 « **Le C.A.N interne du 16 F 877** »
- ◆ Fiche cours n°20 « **Les Filtrés** »

17 pages

❖ **1 TD:**

- ◆ TD n°7 : « **Etude d'un filtre** »

5 pages

SYSTÈME D'IRRIGATION

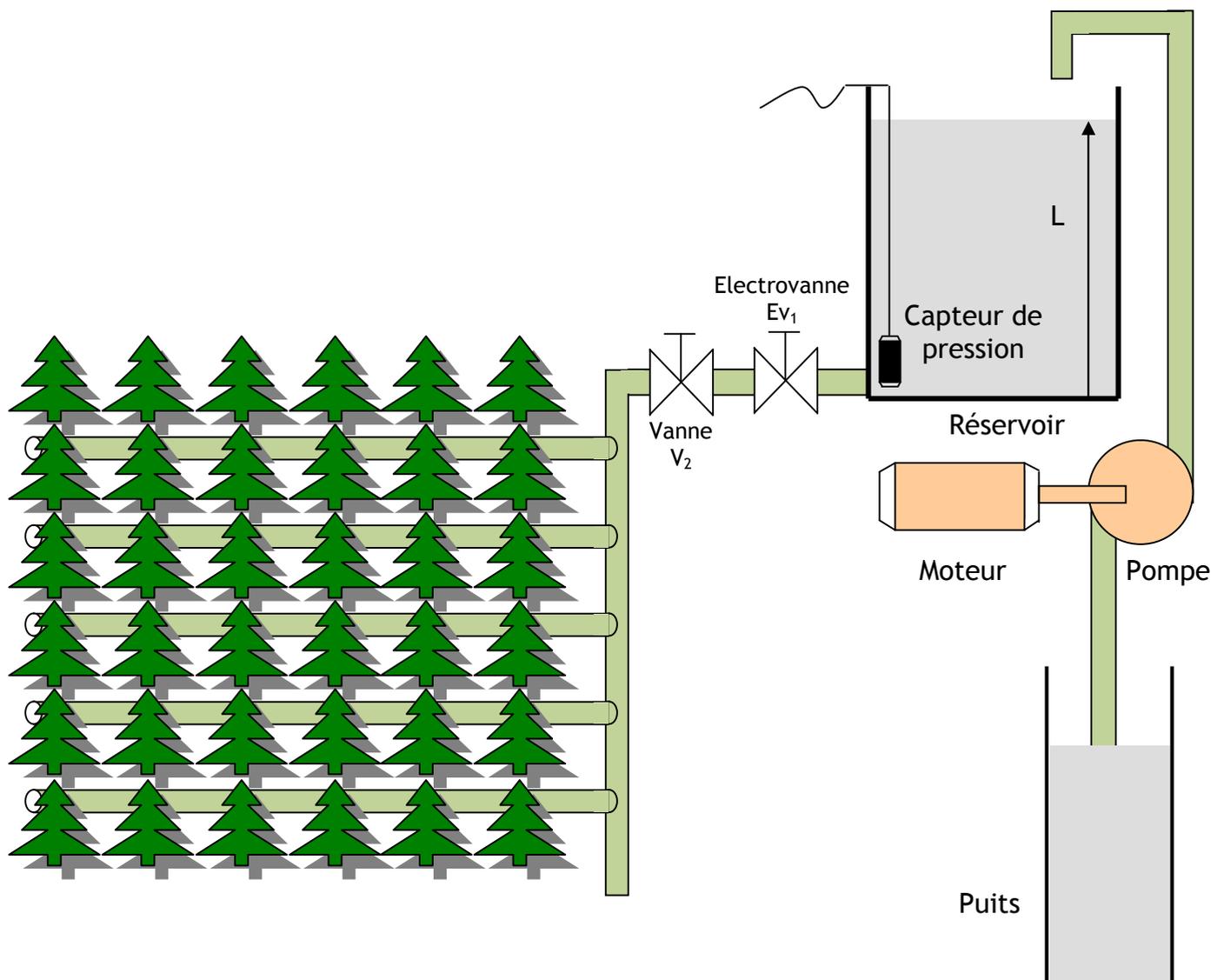
SYSTÈME D'IRRIGATION

1- MISE EN SITUATION :

Dans le domaine agricole, l'irrigation des champs impose le recours aux châteaux d'eau par souci d'assurer une réserve en eau d'une part et de rationaliser la consommation de l'énergie nécessaire au fonctionnement des pompes et la consommation de l'eau.

Mais, le problème de variation de la pression au départ de la canalisation d'irrigation en fonction du niveau de remplissage du château fait surgir le besoin de réguler celle-ci.

2- PRESENTATION DU SYSTEME :



3- FONCTIONNEMENT :

Pour assurer une irrigation par drainage, le niveau d'eau dans le château doit être supérieur à 0.25 m - à cause de la chute de pression dans les tuyaux de distribution - et inférieur ou égal à 2 m - hauteur du château -.

Le système de commande observe en permanence le niveau dans le château :

- ✓ Si niveau < 0.25 m, on démarre la pompe et on ferme l'électrovanne 1 (pas de drainage).
- ✓ Si niveau ≥ 2 m, on arrête la pompe et on ouvre l'électrovanne 1 (drainage possible).

Pour irriguer le champ, l'utilisateur doit ouvrir manuellement la vanne V_2 .

Page	Système n°4	SYSTÈME D'IRRIGATION	Lycée Technique Mohammedia	Sujet
2 / 16		Classe : 2STE	Prof : MAHBAB	A.T.C

Pendant le remplissage, un voyant rouge 'VR' est allumé et un voyant verte 'VV' est éteint. Lorsque le château est rempli, le voyant rouge 'VR' est éteint et le voyant vert 'VV' est allumé.

Le système sujet de cette étude, comporte :

- ❖ Un réservoir (8 x 3 x 2.5 m) pouvant contenir jusqu'à 60 m³.
- ❖ Un capteur de niveau délivrant un courant proportionnel au niveau d'eau dans le château.
- ❖ Une pompe entraînée par un moteur asynchrone triphasé.
- ❖ Une électrovanne Ev₁ qui empêche l'irrigation pendant le démarrage de la pompe (pendant le remplissage du château).
- ❖ Une vanne V₂ pour commander l'irrigation par drainage.
- ❖ Deux voyants lumineux, VR et VV pour signaler l'état de la pompe (château).
- ❖ Le système est piloté par le microcontrôleur 16 F 877.

SEV 1

ANALYSE FONCTIONNELLE DU SYSTEME

/ pts

RESSOURCES A EXPLOITER : DRES 01 page 11, 'Présentation' et 'Fonctionnement' page 01.

Tâche 1

ETUDE FONCTIONNELLE

/ pts

1. Sur le document DREP 01 page 05, Compléter le schéma synoptique du système.
2. Sur le document DREP 01 page 05, Compléter l'actigramme A-0 du système.

Tâche 2

ANALYSE STRUCTURELLE DU SYSTEME

/ pts

1. Sur le document DREP 01 page 05, Compléter la chaîne fonctionnelle en précisant les organes matérialisant les solutions constructives utilisées dans ce système.

SEV 2

ACQUISITION DE NIVEAU

/ pts

RESSOURCES A EXPLOITER : DRES 01, 02 pages 11, 12

Tâche 1

ETUDE DE LA SONDE DE PRESSION

/ pts

Répondre sur le document DREP 02 page 06

1. Calculer les coefficients a et b.
2. Exprimer i en fonction de L.
3. Calculer la valeur maximale de la charge R.
4. Donner l'expression de V en fonction du niveau en m, pour $R_{\text{charge}} = 180 \Omega$.
5. En déduire la sensibilité du montage $s = dV / dL$ en mV/cm.

Tâche 2

ETUDE DE L'AMPLIFICATEUR

/ pts

Répondre sur le document DREP 02 page 06

1. Donner l'expression de Vs₁ en fonction V.
2. En déduire l'expression de Vs₁ en fonction de L (le niveau dans le réservoir).
3. Calculer R₂ pour avoir une sensibilité de 20mV/Cm
4. Donner l'expression de Vs₂ en fonction de Vs₁ et E
5. Quelle est la valeur de la tension E pour avoir Vs₂ = 20.L (mV)
6. Sur le document DREP 03 page 07, Compléter le tableau 1.

Tâche 3
ETUDE DU FILTRE

/ pts

 Répondre sur le document **DREP 03 page 07**

- Donner l'expression de la fonction de transfert filtre.
- Donner l'expression du module T de \underline{T} .
- Calculer les limites de T lorsque f tend vers 0 et lorsque f tend vers ∞ .
- En déduire la nature du filtre.
- Donner la définition de la fréquence f_c de coupure à -3dB puis son expression pour le filtre étudié.
- Application numérique : $C_1 = 47 \mu\text{F}$, $R_3 = 1,0 \text{ k}\Omega$. Calculer la fréquence de coupure et l'amplification maximale $|T_0|$.
- La tension d'entrée du filtre peut être perturbée par des tensions parasites variables de fréquence f_p supérieure à f_c . On considère le cas où la tension d'entrée du filtre est de la forme :

$$V_{s2}(t) = V_0 + V_1 \sin(2\pi f_p t) + V_2 \sin(4\pi f_p t)$$
 ; avec $V_0 = 3\text{V}$; $V_1 = 0,1\text{V}$; $V_2 = 0,1\text{V}$ et $f_p = 50\text{Hz}$
 Pour $V_{s2}(t) = V_0$, calculer la tension $V_{s3}(t)$ correspondante.
- Pour $V_{s2}(t) = V_1 \sin(2\pi f_p t)$, calculer l'amplitude de la tension $V_{s3}(t)$ correspondante.
- Pour $V_{s2}(t) = V_2 \sin(4\pi f_p t)$, calculer l'amplitude de la tension $V_{s3}(t)$ correspondante.
- Pour $V_{s2}(t) = V_0 + V_1 \sin(2\pi f_p t) + V_2 \sin(4\pi f_p t)$, que pouvez vous dire de la tension $V_{s3}(t)$

Tâche 4
ETUDE DU C.A.N EXTERNE

/ pts

 Répondre sur le document **DREP 04 page 08**

- Donner l'expression de N en fonction de V_{s3} .
- En déduire la valeur de K la résolution du CAN.
- Compléter le tableau 2 sachant que $V_{s3} = V_{s2}$.

SEV 3

PROGRAMME DE FONCTIONNEMENT

/ pts

 RESSOURCES A EXPLOITER : DRES 01, 03, 04, 05 **pages 11, 13, 14, 15, 16**
Tâche 1
UTILISATION DU C.A.N EXTERNE

/ pts

- Sur le document **DREP 04 page 08**, Compléter l'organigramme du sous programme 'CONVERSION' qui permet de :
 - Génère une impulsion START de faible durée
 - Attendre la fin de la conversion
 - Mettre le résultat dans le registre de travail W
- Sur le document **DREP 04 page 08**, Compléter le sous programme 'CONVERSION'.
- Le pic 16 F 877 dans ce système effectue les opérations suivantes :
 - ✓ Acquérir le niveau dans le réservoir, grâce au CAN
 - ✓ Comparer le niveau acquis avec les niveaux 0.25 m et 2 m.
 - ✓ Si le niveau acquis est inférieur à 0.25 m :
 - ❖ Fermer KM et KVR.
 - ❖ Ouvrir KEV et KVV.
 - ✓ Si le niveau acquis est supérieur à 2 m :
 - ❖ Ouvrir KM et KVR.
 - ❖ Fermer KEV et KVV.
- 3.1. Sur le document **DREP 05 page 09**, Compléter l'organigramme de contrôle de niveau.
- 3.2. Sur le document **DREP 05 page 09**, Compléter le programme de contrôle de niveau.

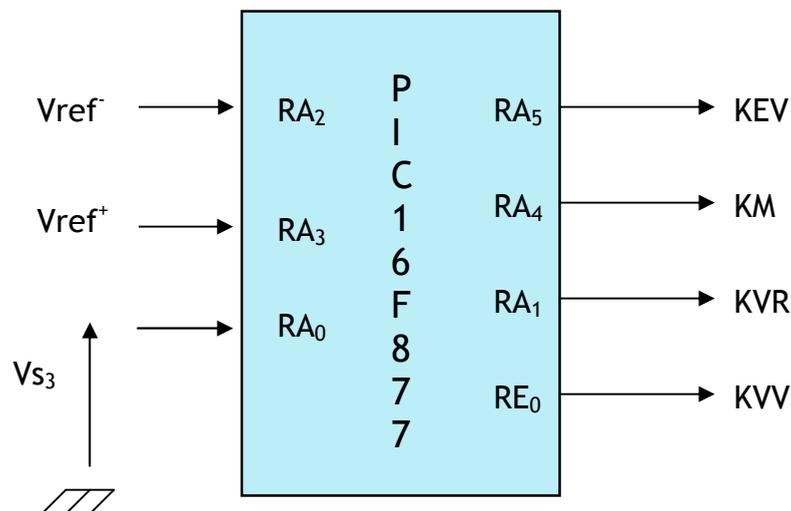
Tâche 2

ETUDE DU C.A.N INTERNE

/ pts

Répondre sur le document DREP 06 page 10

Dans cette étude, le C.A.N externe est remplacé par le C.A.N interne du PIC 16F877, selon la configuration ci-dessous.



On donne $V_{ref}^+ = 20\text{ v}$ et $V_{ref}^- = 0\text{ v}$.

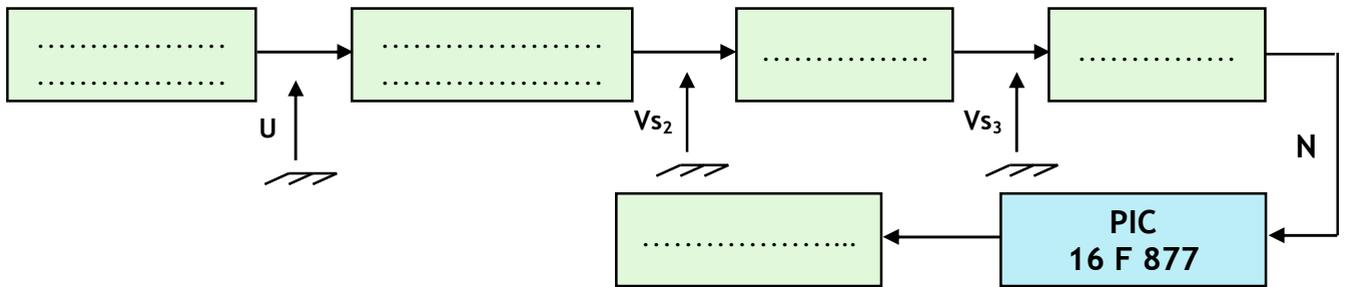
Le PIC travaille avec une fréquence Max de 20MHz

1. Calculer la résolution du C.A.N interne du 16 F 877 et donner l'expression de $N = f(V_{s3})$.
2. Compléter le programme d'initialisation du 16 F 877.
3. Refaire, le sous programme de CONVERSION - organigramme et programme -, en utilisant le PIC 16F877 et son C.A.N interne selon la configuration ci-dessus.

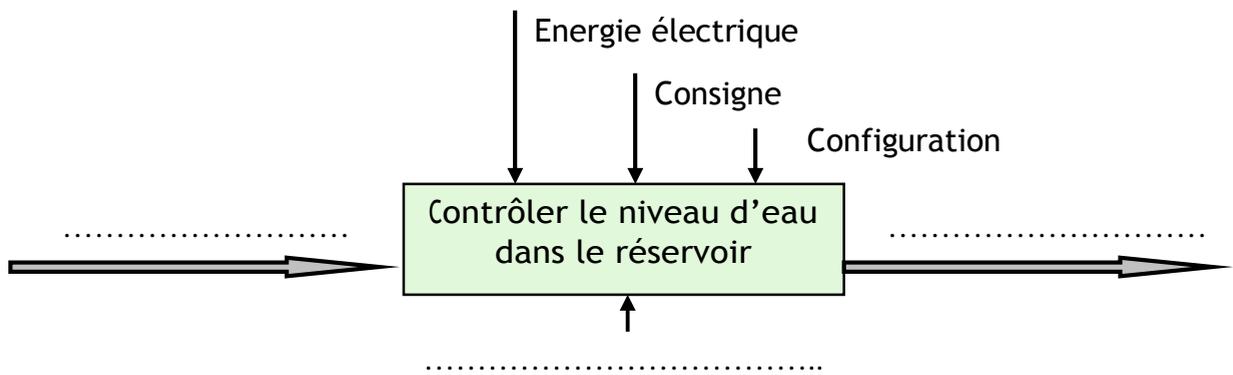
DREP 01

DOCUMENT A RENDRE

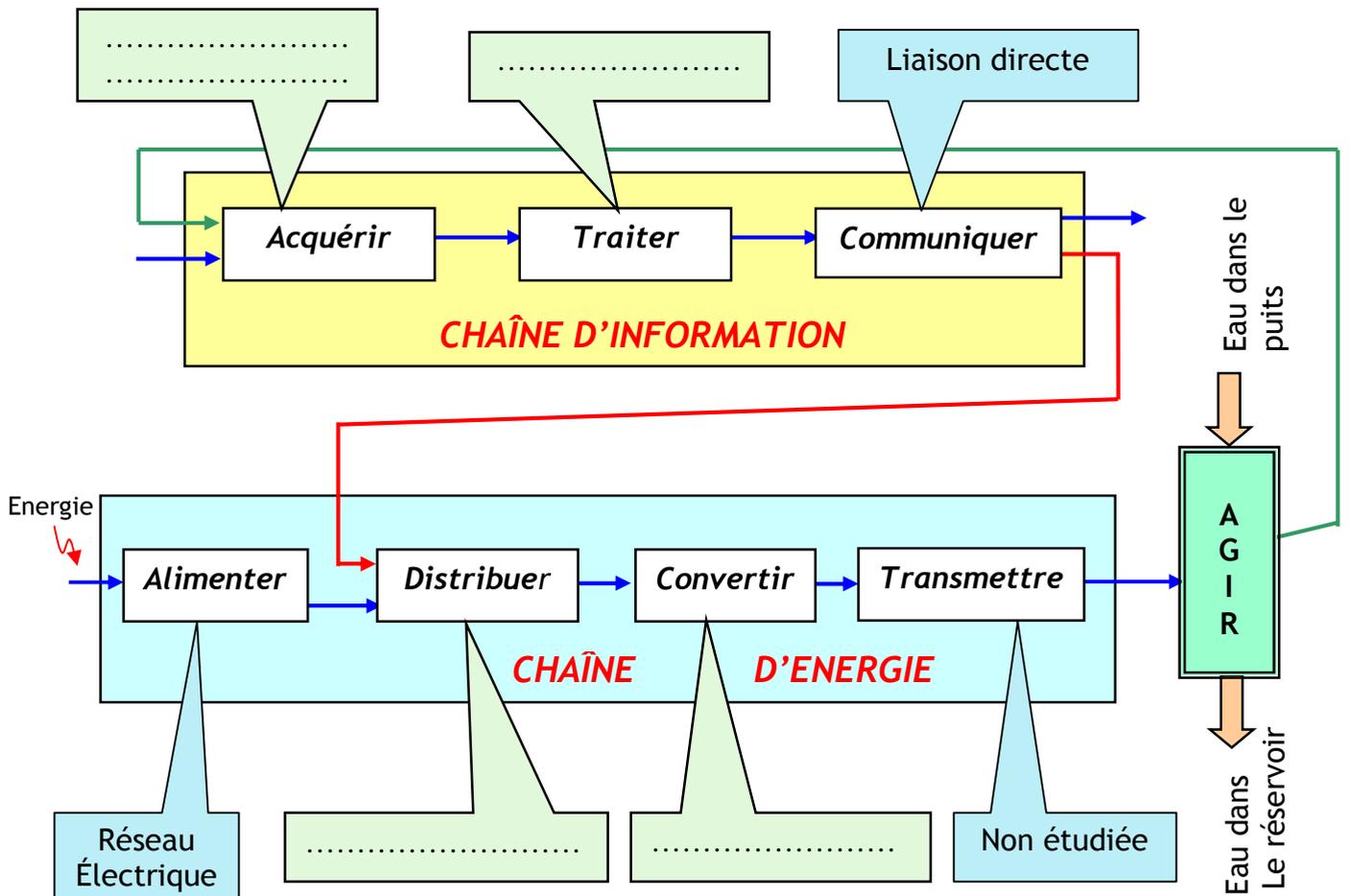
Schéma synoptique du système (à compléter)



L'actigramme A-0 (à compléter)



Identification des solutions constructives



DREP 02

DOCUMENT A RENDRE

Etude de la sonde de pression

1. Calculer les coefficients a et b.

.....

.....

.....

2. Exprimer i en fonction de L.

.....

.....

.....

.....

3. Calculer la valeur maximale de la charge R.

.....

.....

4. Donner l'expression de V en fonction du niveau en m, pour $R_{charge} = 180 \Omega$.

.....

5. En déduire la sensibilité du montage $s = dV / dL$ en mV/cm.

.....

Etude de l'amplificateur

1. Donner l'expression de V_{s1} en fonction V.

.....

.....

2. En déduire l'expression de V_{s1} en fonction de L (le niveau dans le réservoir).

.....

.....

3. Calculer R_2 pour avoir une sensibilité de 20mV/Cm

.....

.....

.....

4. Donner l'expression de V_{s2} en fonction de V_{s1} et E

.....

.....

.....

.....

5. Quelle est la valeur de la tension E pour avoir $V_{s2} = 20.L$ (mV)

.....

.....

.....

DREP 03

DOCUMENT A RENDRE

6. Compléter le tableau suivant -tableau 1-

L (m)	V (mV)	Vs ₁ (mV)	Vs ₂ (mV)
0
1.5
2

Etude du filtre

1. Donner l'expression de la fonction de transfert filtre.

.....

.....

.....
2. Donner l'expression du module T de \underline{T} .

.....

.....
3. Calculer les limites de T lorsque f tend vers 0 et lorsque f tend vers ∞ .

.....
4. En déduire la nature du filtre.

.....
5. Donner la définition de la fréquence f_c de coupure à -3dB puis son expression pour le filtre étudié.

.....

.....
6. Application numérique : $C_1 = 47 \mu F$, $R_3 = 1,0 k\Omega$. Calculer la fréquence de coupure et l'amplification maximale $|T_0|$.

.....
7. $V_{s2}(t) = V_0 + V_1 \sin(2\pi f_p t) + V_2 \sin(4\pi f_p t)$; avec $V_0 = 3V$; $V_1 = 0,1V$; $V_2 = 0,1V$ et $f_p = 50Hz$
 Pour $V_{s2}(t) = V_0$, calculer la tension $V_{s3}(t)$ correspondante.

.....

.....
8. Pour $V_{s2}(t) = V_1 \sin(2\pi f_p t)$, calculer l'amplitude de la tension $V_{s3}(t)$ correspondante.

.....

.....
9. Pour $V_{s2}(t) = V_2 \sin(4\pi f_p t)$, calculer l'amplitude de la tension $V_{s3}(t)$ correspondante.

.....

.....
10. Pour $V_{s2}(t) = V_0 + V_1 \sin(2\pi f_p t) + V_2 \sin(4\pi f_p t)$, que pouvez vous dire de la tension $V_{s3}(t)$

.....

DREP 04

DOCUMENT A RENDRE

Etude du C.A.N externe

1. Donner l'expression de N en fonction de V_{s3} .

.....

.....

.....

2. En déduire la valeur de K la résolution du CAN.

.....

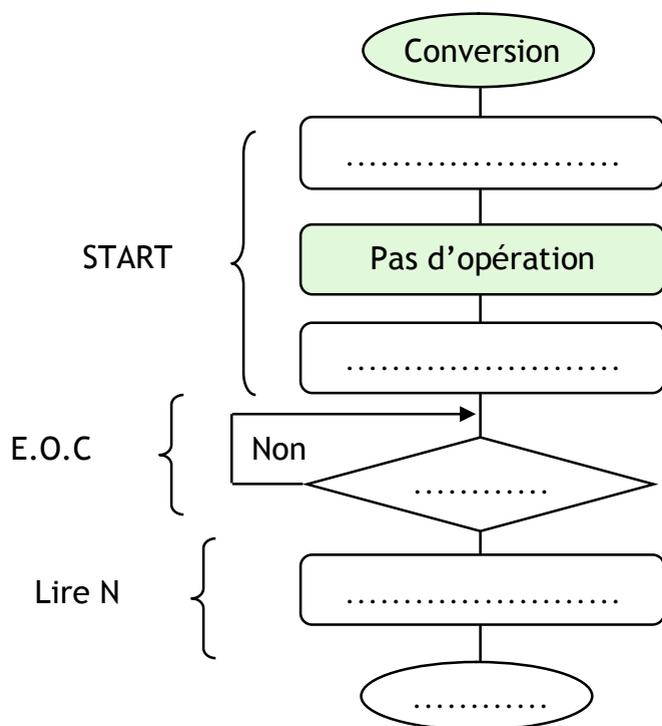
.....

3. Compléter le tableau suivant, sachant que $V_{s3} = V_{s2}$.

L (m)	L (Cm)	N
0
0.25
2

Utilisation du CAN externe

Organigramme de conversion



Sous programme de conversion

Conversion

.....

LOOP

.....

.....

.....

.....

DREP 06

DOCUMENT A RENDRE

Utilisation du CAN interne

1. Calculer la résolution du C.A.N interne du 16 F 877 et donner l'expression de $N = f(Vs_3)$.

.....

.....

.....

.....

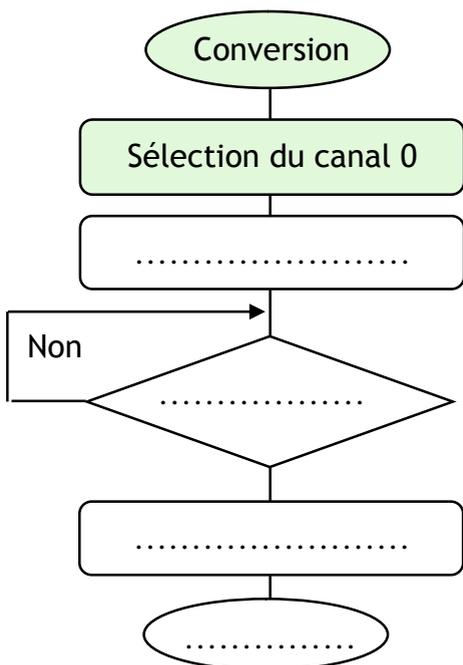
2. Compléter le programme d'initialisation du 16 F 877.

```

.....
..... ; Accès aux registres TRISx (Banque mémoire 1)
.....
..... ; Configuration du PORTA X X X S E E S E
.....
..... ; Configuration du PORTE x x x x x x S
..... ; Configuration du registre ADCON1 Bank 1
..... ; justification à droite du résultat, Vref+ et Vref-
externe
..... ; RE2, RE1, RE0, RA5, RA3, RA2, RA1 Type D et RA0 Type A
..... ; Retour en banque mémoire 0
..... ; Configuration du registre ADCON0 Bank 0
..... ; Fréquence Max 20MHz et Mise en route du CAN
    
```

3. Refaire le sous programme de CONVERSION, en utilisant le PIC 16F877 et son C.A.N interne.

Organigramme de conversion



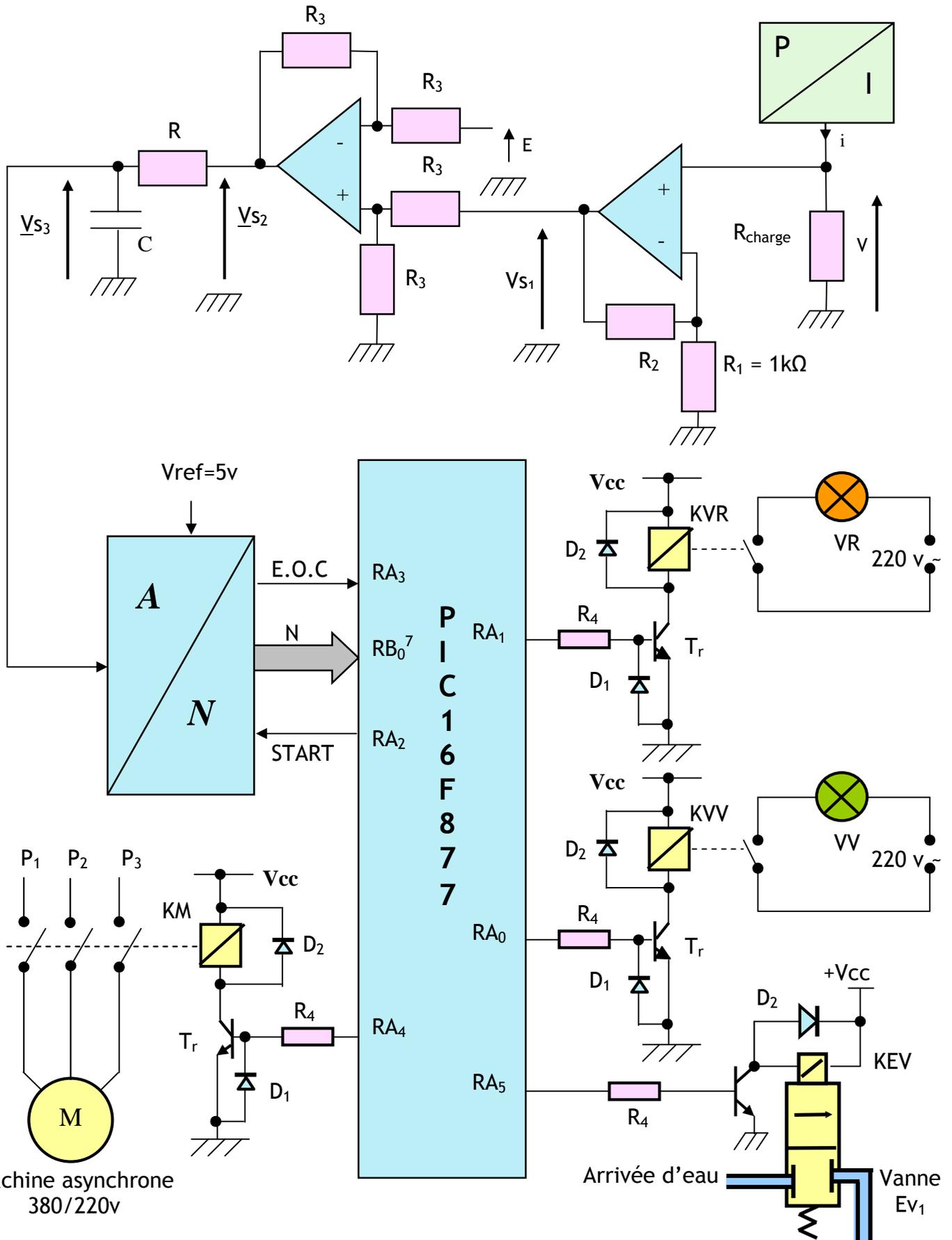
Sous programme de conversion

```

.....
.....
.....
..... ; Sélection du canal 0
.....
..... ; Déclenchement de la conversion
ATT .....
      GOTO      ATT
..... ; attendre la fin de conversion
.....
..... ; Passage en page 1
.....
..... ; lecture du résultat
.....
..... ; Passage en page 0
.....
..... ; Retour
    
```

DRES 01

Schéma de la commande



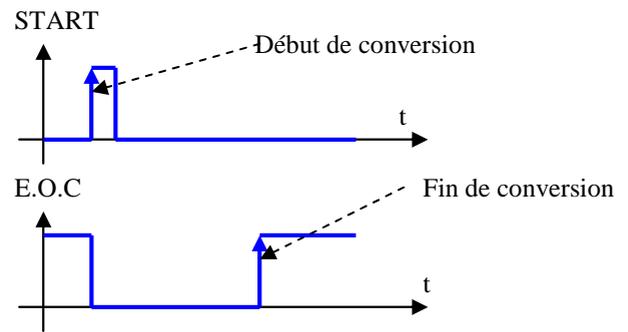
DRES 02

Caractéristiques du C.A.N

C.A.N à approximations successives 8 bits.

START : signal de demande de conversion.

E.O.C : signal indiquant la fin de conversion

Caractéristiques de la sonde de pressionCaractéristique du bac

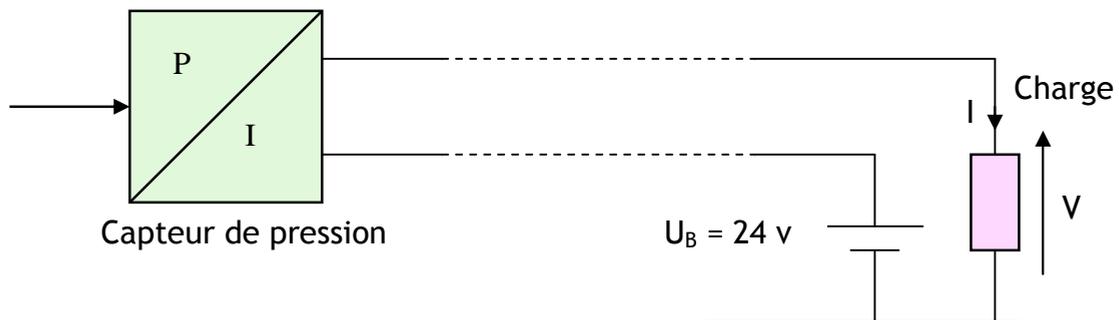
- ✓ Largeur = 3 m
- ✓ Longueur = 6 m
- ✓ Hauteur = 3 m

Pour la pression relative en pascal on donne :

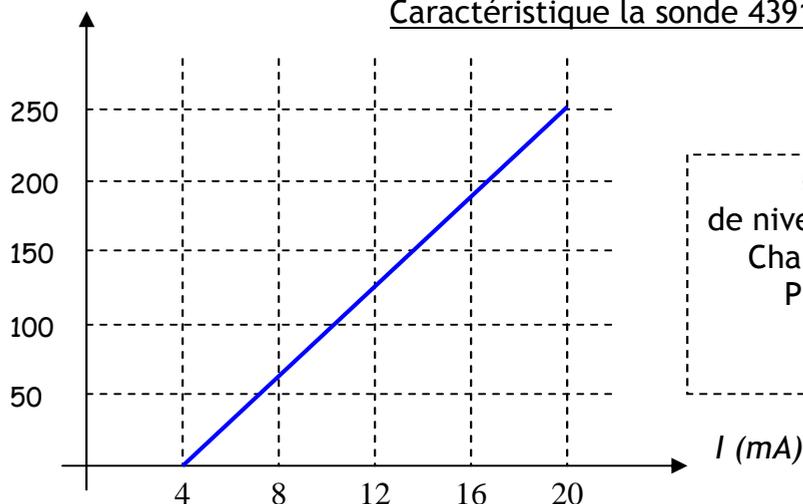
$$P \text{ (Pascal)} = \rho \text{ (Kg/m}^3\text{)} \times g \text{ (m/s}^{-2}\text{)} \times L \text{ (m)}$$

(ρ : masse volumique du liquide, g : accélération de la pesanteur, L : hauteur du bac)

Pour le liquide dans le bac on donne : $\rho = 1000 \text{ Kg/m}^3$
 $g = 9.81 \text{ (m/s}^{-2}\text{)}$ et pour la pression $1\text{bar} = 10^5 \text{ pascal}$

Montage la sonde 4391 :

$P \text{ (mbar)}$

Caractéristique la sonde 4391 :

On donne pour la sonde de niveau de type 4391 :

$$\text{Charge} \leq (U_B - 12) / 0.02 \text{ A}$$

$P(i)$ est de la forme :

$$P(i) = a.i + b$$

DRES 03

Plan mémoire du 16F877

Le plan mémoire des données et des registres internes est découpé en 4 zones ou Bank de 128 octets, pour accéder à une zone il faut positionner les bits **RP₀** (bit 5) et **RP₁** (bit 6) du registre **STATUS**.

RP ₁ : RP ₀	BANK sélectionnée
00	Bank 0 de 000 _H à 07F _H
01	Bank 1 de 080 _H à 0FF _H
10	Bank 2 de 100 _H à 17F _H
11	Bank 3 de 180 _H à 1FF _H

Indirect Addr	000 _H	Indirect Addr	080 _H	Indirect Addr	100 _H	Indirect Addr	180 _H
TMRO	001 _H	OPTION	081 _H	TMRO	101 _H	OPTION	181 _H
PCL	002 _H	PCL	082 _H	PCL	102 _H	PCL	182 _H
STATUS	003 _H	STATUS	083 _H	STATUS	103 _H	STATUS	183 _H
FSR	004 _H	FSR	084 _H	FSR	104 _H	FSR	184 _H
PORTA	005 _H	TRISA	085 _H		105 _H		185 _H
PORTB	006 _H	TRISB	086 _H	PORTB	106 _H	TRISB	186 _H
PORTC	007 _H	TRISC	087 _H		107 _H		187 _H
PORTD	008 _H	TRISD	088 _H		108 _H		188 _H
PORTE	009 _H	TRISE	089 _H		109 _H		189 _H
PCLATCH	00A _H	PCLATCH	08A _H	PCLATCH	10A _H	PCLATCH	18A _H
INTCON	00B _H	INTCON	08B _H	INTCON	10B _H	INTCON	18B _H
PIR1	00C _H	PIE1	08C _H	EEDATA	10C _H	EECON1	18C _H
PIR2	00D _H	PIE2	08D _H	EEADR	10D _H	EECON2	18D _H
TMR1L	00E _H	PCON	08E _H	EEDATH	10E _H	Reserved	18E _H
TMRL2	00F _H		08F _H	EEADRH	10F _H	Reserved	18F _H
T1CON	010 _H		090 _H	General Purpose Register 16 Bytes	110 _H	General Purpose Register 16 Bytes	190 _H
TMR2	011 _H	SSPCON2	091 _H		111 _H		191 _H
T2CON	012 _H	PR2	092 _H		112 _H		192 _H
SSPBUF	013 _H	SSPADD	093 _H		113 _H		193 _H
SSPCON	014 _H	SSPSTAT	094 _H		114 _H		194 _H
CCPR1L	015 _H		095 _H		115 _H		195 _H
CCPR1H	016 _H		096 _H		116 _H		196 _H
CCP1CON	017 _H		097 _H		117 _H		197 _H
RCSTA	018 _H	TXSTA	098 _H		118 _H		198 _H
TXREG	019 _H	SPBRG	099 _H		119 _H		199 _H
RCREG	01A _H		09A _H		11A _H		19A _H
CCPR2L	01B _H		09B _H		11B _H		19B _H
CCPR2H	01C _H		09C _H		11C _H		19C _H
CCP2CON	01D _H		09D _H		11D _H		19D _H
ADRESH	01E _H	ADRESL	09E _H		11E _H		19E _H
ADCON0	01F _H	ADCON1	09F _H		11F _H		19F _H
General Purpose Register 96 Bytes	020 _H	General Purpose Register 80 Bytes	0A0 _H	General Purpose Register 80 Bytes	120 _H	General Purpose Register 80 Bytes	1A0 _H
	07F _H		0EF _H		16F _H		1EF _H
BANK 0		BANK 1		BANK 2		BANK 3	
		Accesses 070 _H - 07E _H	0F0 _H	Accesses 070 _H - 07E _H	170 _H	Accesses 070 _H - 07E _H	1F0 _H
			0FF _H		17F _H		1FF _H

DRES 04

Résumé du jeu d'instruction du 16F877

Mnemonic, operands	Description	Cycles	14-bit opcode				Status affected	Notes	
			MSB	LSB					
BYTE ORIENTED FILE REGISTER OPERATIONS									
ADDWF	f,d	Add W and f	1	00	0111	dfff	ffff	C, DC, Z	1,2
ANDWF	f,d	AND W with f	1	00	0101	dfff	ffff	Z	1,2
CLRF	f	Clear f	1	00	0001	1fff	ffff	Z	2
CLRFW	-	Clear W	1	00	0001	0xxx	xxxx	Z	
COM	f,d	Complement f	1	00	1001	dfff	ffff	Z	1,2
DECF	f,d	Decrement f	1	00	0011	dfff	ffff	Z	1,2
DECFSZ	f,d	Decrement f, skip if 0	1(2)	00	1011	dfff	ffff		1,2,3
INCF	f,d	Increment f	1	00	1010	dfff	ffff	Z	1,2
INCFSZ	f,d	Increment f, skip if 0	1(2)	00	1111	dfff	ffff		1,2,3
IORWF	f,d	Inclusive OR W with f	1	00	0100	dfff	ffff	Z	1,2
MOVF	f,d	Move f	1	00	1000	dfff	ffff	Z	1,2
MOVWF	f	Move W to f	1	00	0000	1fff	ffff		
NOP	-	No operation	1	00	0000	0xx0	0000		
RLF	f,d	Rotate Left f through Carry	1	00	1101	dfff	ffff	C	1,2
RRF	f,d	Rotate Right f through Carry	1	00	1100	dfff	ffff	C	1,2
SUBWF	f,d	Subtract W from f	1	00	0010	dfff	ffff	C, DC, Z	1,2
SWAPF	f,d	Swap nibbles in f	1	00	1110	dfff	ffff		1,2
XORWF	f,d	Exclusive OR W with f	1	00	0110	dfff	ffff	Z	1,2
BIT ORIENTED FILE REGISTER OPERATIONS									
BCF	f,d	Bit clear f	1	01	00bb	bfff	ffff		1,2
BSF	f,d	Bit set f	1	01	01bb	bfff	ffff		1,2
BTFSC	f,d	Bit test f, skip if clear	1(2)	01	10bb	bfff	ffff		3
BTFSS	f,d	Bit test f, skip if set	1(2)	01	11bb	bfff	ffff		3
LITERAL AND CONTROL OPERATIONS									
ADDLW	k	Add literal and W	1	11	111x	kkkk	kkkk	C, DC, Z	
ANDLW	k	AND literal With W	1	11	1001	kkkk	kkkk	Z	
CALL	k	Call subroutine	2	10	0kkk	kkkk	kkkk		
CLRWDT	-	Clear watchdog Timer	1	00	0000	0101	0100	TO, PD	
GOTO	k	Go to address	2	10	1kkk	kkkk	kkkk		
IORLW	k	Inclusive OR literal With W	1	11	1000	kkkk	kkkk	Z	
MOVLW	k	Move literal to W	1	11	00xx	kkkk	kkkk		
RETFIE	-	Return from interrupt	2	00	0000	0000	1001		
RETLW	k	Return with literal to W	2	11	01xx	kkkk	kkkk		
RETURN	-	Return from subroutine	2	00	0000	0000	1000		
SLEEP	-	Go into standby mode	1	00	0000	0110	0011	TO, PD	
SUBLW	k	Subtract W from literal	1	11	110x	kkkk	kkkk	C, DC, Z	
XORLW	k	Exclusive OR literal With W	1	11	1010	kkkk	kkkk	Z	

Configuration des PORTs

Tous les ports sont pilotés par deux registres :

- ❖ Le registre de **PORTx**, si le **PORT x** ou certaines lignes de **PORT x** sont configurées en sortie, ce registre détermine l'état logique des sorties.
- ❖ Le registre **TRISx**, c'est le registre de direction. Il détermine si le **PORTx** ou certaines lignes de Port sont en entrée ou en sortie. L'écriture d'un **1** logique correspond à une entrée (**1** comme Input) et l'écriture d'un **0** logique correspond à une sortie (**0** comme Output).

Remarque :

Les registres **TRISx** appartiennent à la **BANQUE 1** des **SFR**. Lors de l'initialisation du μC il ne faut pas oublier de changer de page mémoire pour les configurer.

Pour accéder aux banques mémoire, on utilise le bit RP_0 et le bit RP_1 (5^{ème} et 6^{ème} bit du registre STATUS).

Voir le document ressource **DRES 03**.

DRES 05

Caractéristiques du C.A.N interne du 16 F 877

1- PRESENTATION :

Il s'agit d'un convertisseur A/N 10 bits à 8 entrées. Les 5 premiers sont sur le PORTA en RA₀, RA₁, RA₂, RA₃ et RA₅. Les 3 entrées supplémentaires sont sur le PORTE en RE₀, RE₁, RE₂. Les tensions de références haute et basse peuvent être choisies par programmation comme suit :

- ✓ Vref+ peut être VDD ou la broche RA₃.
- ✓ Vref- peut être VSS ou la broche RA₂.

Ce module convertisseur A/N utilise 4 registres qui sont :

- ❖ ADRESH en page 0 : MSB des 10 bits résultat.
- ❖ ADRESL en page 1 : LSB des 10 bits résultat.
- ❖ ADCON0 en page 0 : registre de contrôle n°0 du module CAN.
- ❖ ADCON1 en page 1 : registre de contrôle n°1 du module CAN.

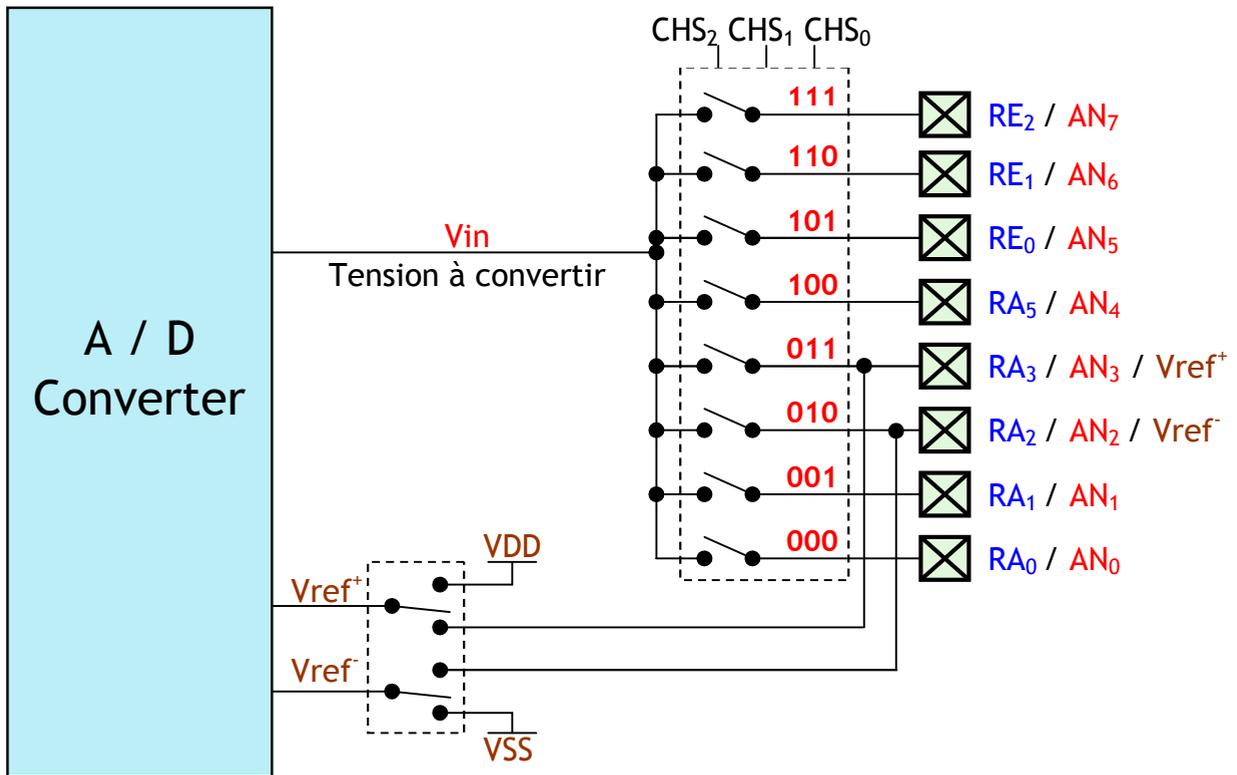
Une conversion commence toujours par la mise à **1** du bit **GO/DONE** du registre **ADCON0**. Lorsque la conversion est terminée ce bit repasse à **0**. La valeur résultante **N** de la conversion est le contenu de **ADRESH: ADRESL** est égale à :

Si Vref+ = VDD = 5V et Vref- = VSS = 0V
Alors : $N = 1023 * (VIN / 5)$

$$N = \frac{Vin - Vref^-}{Vref^+ - Vref^-} \times 1023$$

VDD et VSS sont les tensions d'alimentation du microcontrôle le PIC16 F 877

2- ORGANISATION INTERNE :



3- Le Registre ADCON1 :

IL permet de choisir une configuration parmi les 16 proposées.

La configuration de ce registre ne dispense pas de configurer les registres de directions des PORTA et PORTE respectivement TRISA et TRISE.

ADFM	-	-	-	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0
------	---	---	---	-------	-------	-------	-------

Bit 7

ADFM: A/D Result Format Select bit

1 = le résultat sera justifié à droite.

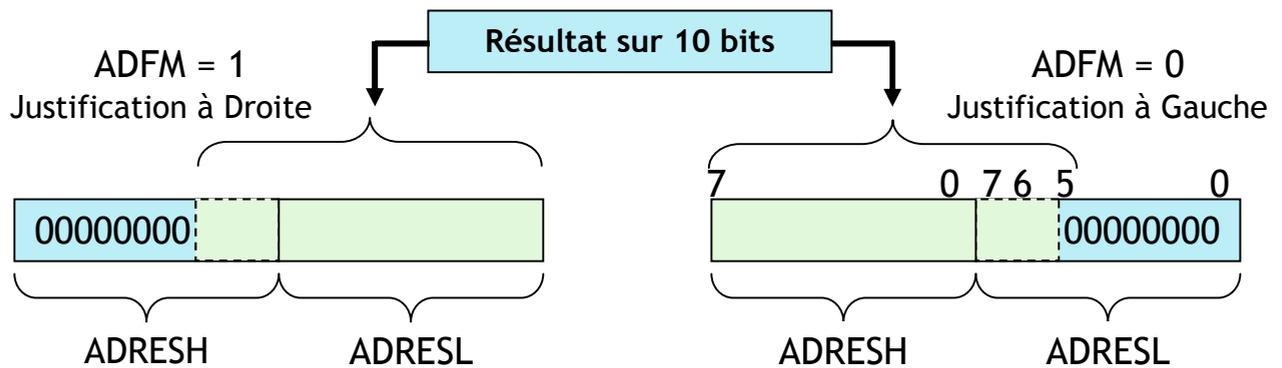
0 = le résultat sera justifié à gauche.

Bit 3-0

PCFG3...PCFG0: A/D Port Configuration Control bits

PCFG3 PCFG0	AN7 RE2	AN6 RE1	AN5 RE0	AN4 RA4	AN3 RA3	AN2 RA2	AN1 RA1	AN0 RA0	VREF+	VREF-	CHAN
0000	A	A	A	A	A	A	A	A	VDD	VSS	8/0
0001	A	A	A	A	VREF+	A	A	A	RA3	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	RA3	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	RA3	VSS	2/1
011x	D	D	D	D	D	D	D	D	VDD	VSS	0/0
1000	A	A	A	A	VREF+	VREF-	A	A	RA3	RA2	6/2
1001	D	D	A	A	A	A	A	A	VDD	VSS	6/0
1010	D	D	A	A	VREF+	A	A	A	RA3	VSS	5/1
1011	D	D	A	A	VREF+	VREF-	A	A	RA3	RA2	4/2
1100	D	D	D	A	VREF+	VREF-	A	A	RA3	RA2	3/2
1101	D	D	D	D	VREF+	VREF-	A	A	RA3	RA2	2/2
1110	D	D	D	D	D	D	D	A	VDD	VSS	1/0
1111	D	D	D	D	VREF+	VREF-	D	A	RA3	RA2	1/2

A = Analog input **D** = Digital I/O



4- Le Registre ADCON0 :

Ce registre permet de définir l'horloge de conversion, le canal à convertir, la mise en fonctionnement du CAN, et le lancement d'une conversion.

ADCS1	ADCS0	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONE	—	ADON
-------	-------	------	------	------	---------	---	------

Bit 7-6 ADCS1:ADCS0: A/D Conversion Clock Select.
 Ces 2 bits permettent de choisir la vitesse de conversion:
 00 = FOSC/2 01 = FOSC/8
 10 = FOSC/32 11 = FRC (oscillateur RC interne)

Bit 5-4-3 CHS2:CHS0: Analogue Channel Select bits
 Ces 3 bits permettent de choisir le canal qui va être converti:

CHS2	CHS1	CHS0	Canal sélectionné
0	0	0	RA ₀ /AN ₀
0	0	1	RA ₁ /AN ₁
0	1	0	RA ₂ /AN ₂
0	1	1	RA ₃ /AN ₃
1	0	0	RA ₅ /AN ₄
1	0	1	RE ₀ /AN ₅
1	1	0	RE ₁ /AN ₆
1	1	1	RE ₂ /AN ₇

Bit 2 GO/DONE: A/D Conversion Status bit
 1 = démarre la conversion.
 0 = la conversion est terminée.

Bit 0 AD ON: A/D On bit
 1 = convertisseur A/N en service.
 0 = convertisseur A/N en arrêt.

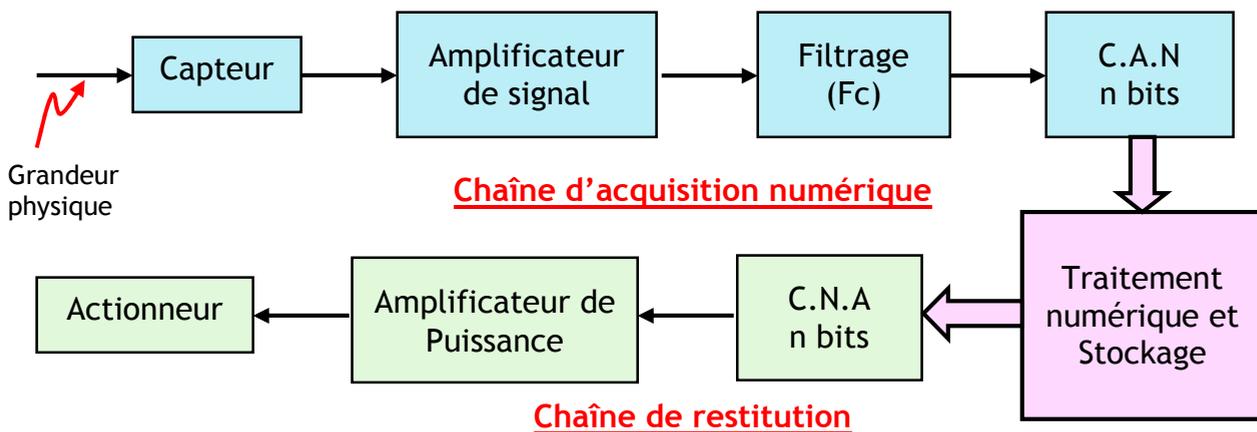
TRAITEMENT NUMERIQUE DE L'INFORMATION

1- Introduction :

1.1- But :

De nombreux systèmes électroniques utilisent la technique numérique, à base de μP ou μC , du fait des avantages que présente cette dernière par rapport à la technique analogique : facilité de conception des fonctions complexes, mémorisation possible des informations, faible sensibilité au bruit ... Lorsque les informations issues des capteurs sont des grandeurs analogiques ou que les actionneurs doivent être commandés par des signaux analogiques, il est nécessaire de procéder à des conversions de données.

1.2- Principe :



Remarques :

- ❖ La grandeur physique à convertir peut-être de nature quelconque : vitesse, température, force. Le capteur permet de convertir cette grandeur en un signal analogique.
- ❖ Le convertisseur analogique numérique (CAN) va convertir le signal analogique en une suite de mots numériques qui pourront être compris et traités par le calculateur (micro processeur).
- ❖ De même, le calculateur pourra générer en entrée du CNA des mots numériques qui seront convertis en un signal analogique par le CNA (convertisseur Numérique Analogique)

Exemple : L'enregistrement audio numérique

Vibration sonore \rightarrow micro \rightarrow CAN \rightarrow compression \rightarrow enregistrement sur disque dur
 \rightarrow Filtrage numérique \rightarrow CNA \rightarrow ampli \rightarrow baffles

2- Structure :

❖ Capteur :

Il est l'interface entre le monde physique et le monde électrique. Il va délivrer un signal Électrique image du phénomène physique que l'on souhaite numériser. Il est toujours associé à un circuit de mise en forme.

❖ Amplificateur de signal :

Cette étape permet d'adapter le niveau du signal issu du capteur à la chaîne globale d'acquisition.

Page	Acquérir	Système d'irrigation	TRAITEMENT NUMERIQUE DE L'INFORMATION	Lycée.T
2 / 2	<i>F.cours n° 15</i>	Classe : 2STE	Prof : MAHBAB	Mohammedia

❖ **Filtre d'entrée :**

Ce filtre est communément appelé filtre anti-repliement. Son rôle est de limiter le contenu spectral du signal aux fréquences qui nous intéressent. Ainsi il élimine les parasites. C'est un filtre passe bas que l'on caractérise par sa fréquence de coupure et son ordre.

❖ **L'échantillonneur :**

Son rôle est de prélever à chaque période d'échantillonnage (T_e) la valeur du signal. On l'associe de manière quasi-systématique à un bloqueur. Le bloqueur va figer l'échantillon pendant le temps nécessaire à la conversion. Ainsi durant la phase de numérisation, la valeur de la tension de l'échantillon reste constante assurant une conversion aussi juste que possible. On parle d'échantillonneur bloqueur.

❖ **Le convertisseur analogique numérique (CAN) :**

Il transforme la tension de l'échantillon (analogique) en un code binaire (numérique).

❖ **La zone de stockage :**

Elle peut être un support de traitement (ordinateur par exemple), un élément de sauvegarde (RAM, Disque dur) ou encore une transmission vers un récepteur situé plus loin.

❖ **Le convertisseur numérique analogique (CNA) :**

Il effectue l'opération inverse du CAN, il assure le passage du numérique vers l'analogique, en restituant une tension proportionnelle au code numérique.

❖ **Le filtre de sortie :**

Son rôle est de « lisser » le signal de sortie pour ne restituer que le signal utile. Il a les mêmes caractéristiques que le filtre d'entrée.

❖ **Amplificateur de puissance :**

Il adapte la sortie du filtre à la charge.

CAPTEUR DE NIVEAU

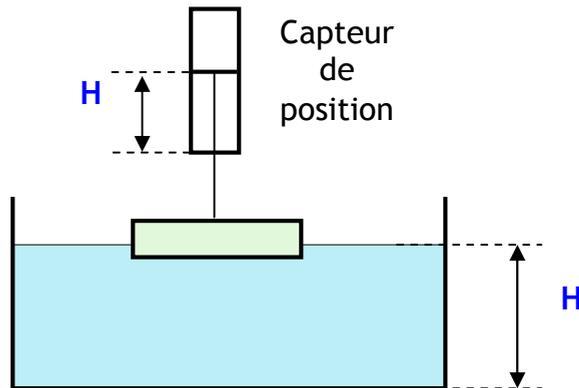
1- Capteur de pression :

Pour un liquide homogène donné, la pression relative en fond de réservoir est proportionnelle au niveau de celui-ci. La mesure de cette pression nous informe directement sur le niveau de liquide, mais dépend de la masse volumique du liquide.



$$P \text{ (Pa)} = \rho \text{ (Kg/m}^3\text{)} \times g \text{ (m/s}^{-2}\text{)} \times H \text{ (m)}$$

2- Flotteur :



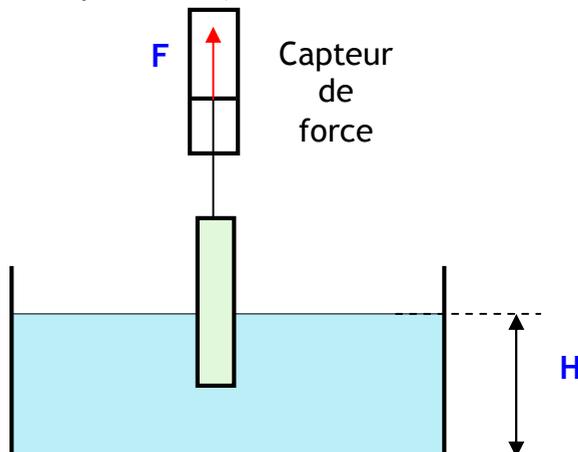
Principe de mesure de niveau par flotteur



Flotteur

3- Plongeur :

Le plongeur est un cylindre immergé dont la hauteur est au moins égale à la hauteur maximale du liquide dans le réservoir. Il est suspendu à un capteur dynamométrique qui se trouve soumis à une force F (le poids apparent), fonction de la hauteur L du liquide : $F = P - \rho \cdot g \cdot s \cdot L$; avec P le poids du plongeur, s sa section et $\rho \cdot g \cdot s \cdot L$ la poussée d'Archimède s'exerçant sur le volume immergé du plongeur (ρ : masse volumique du liquide, g : accélération de la pesanteur).



Principe de mesure de niveau par plongeur



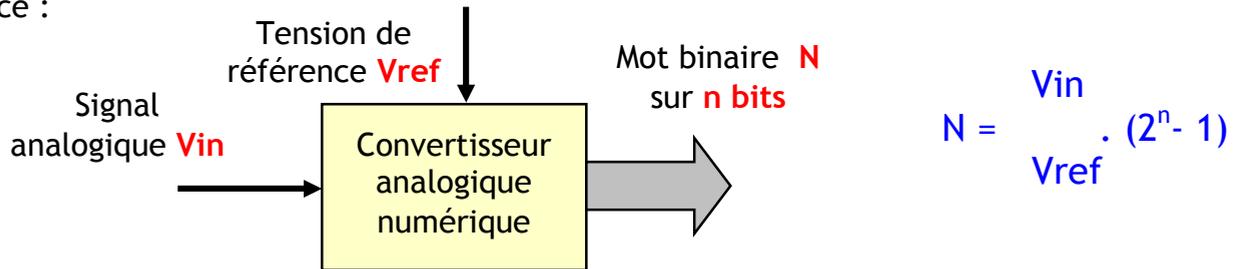
Plongeur

CONVERTISSEUR ANALOGIQUE NUMERIQUE

1- Introduction :

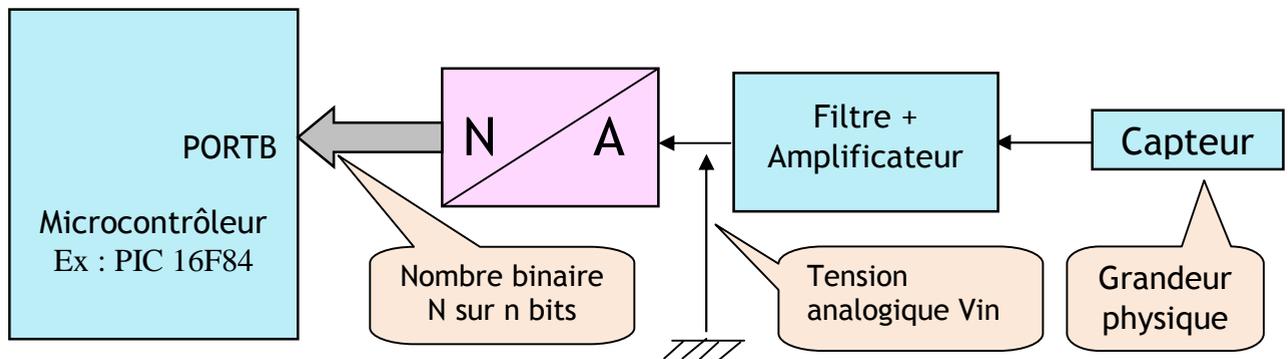
1.1- Définition :

Un convertisseur analogique numérique est un dispositif qui permet de convertir un signal analogique à son homologue numérique sur n bits. Dans le plus part des convertisseurs, le mot binaire N en sortie est proportionnel au rapport de la tension d'entrée V_{in} à une tension de référence :



1.2- But :

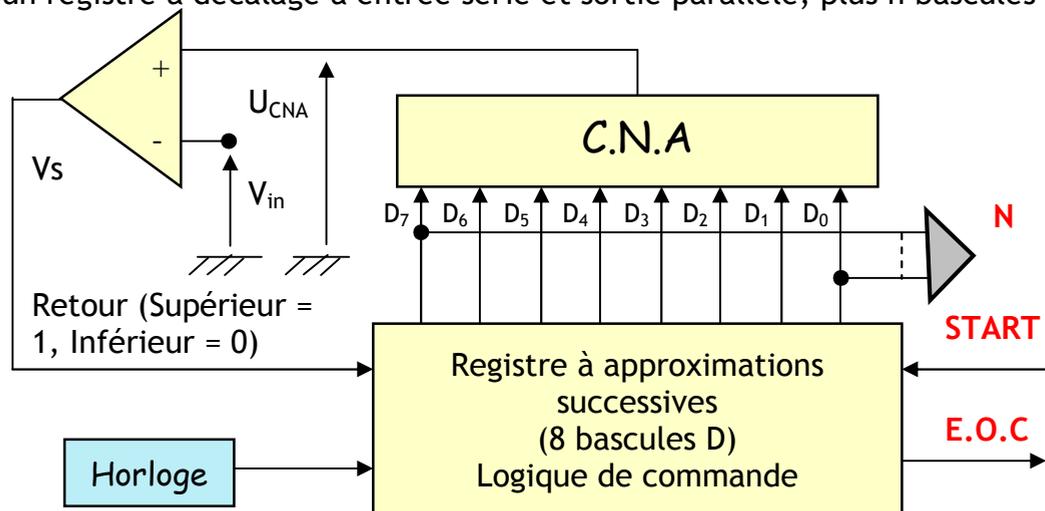
Les CAN permettent aux microcontrôleurs de traiter des signaux analogiques.



2- CAN à approximations successives :

2.1- Schéma de Principe :

Ce type de convertisseur analogique numérique utilise un convertisseur numérique analogique et un registre à décalage à entrée série et sortie parallèle, plus n bascules D.



2.2- Fonctionnement :

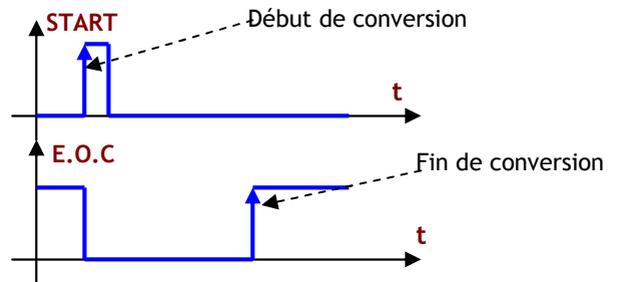
On détermine les valeurs des différents bits l'un après l'autre en commençant par le MSB, un peu à la manière d'un marchand de marché:

- ❖ On met le bit D_7 à 1 tout en gardant les autres à 0. Ce code présent dans le registre R.A.S est converti en une tension U_{CNA} par le C.N.A, qui est comparée à V_{in} (tension à convertir). Si $V_{in} > U_{CNA}$ on garde le bit D_7 à 1 si non on le remet à zéro.
- ❖ On met le bit suivant à 1 (D_6), tout en gardant les autres à 0 - bits de poids faible-. Ce code est converti en une tension U_{CNA} par le C.N.A, qui est comparée à V_{in} . Si $V_{in} > U_{CNA}$ on garde ce bit à 1 si non on le remet à zéro.
- ❖ On continue ainsi jusqu'au dernier bits (D_0).

2.3- Remarque :

START : signal de demande de conversion.
E.O.C : signal indiquant la fin de conversion.
Les principaux types de CAN sont :

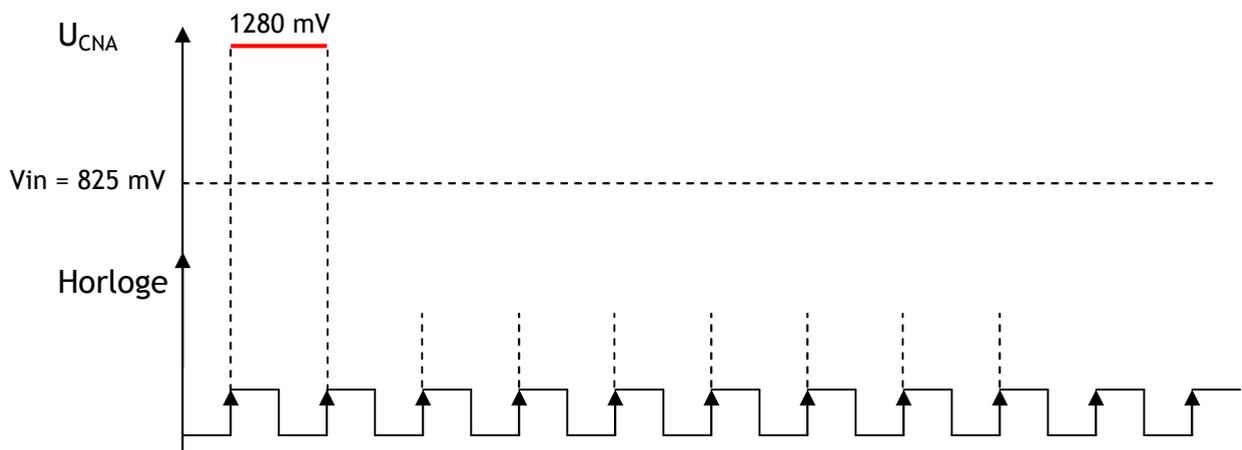
- ❖ Les CAN à simple rampe
- ❖ les CAN à double rampe
- ❖ les CAN à approximations successives
- ❖ les CAN flash ou parallèle



2.3- Exemple de Conversion :

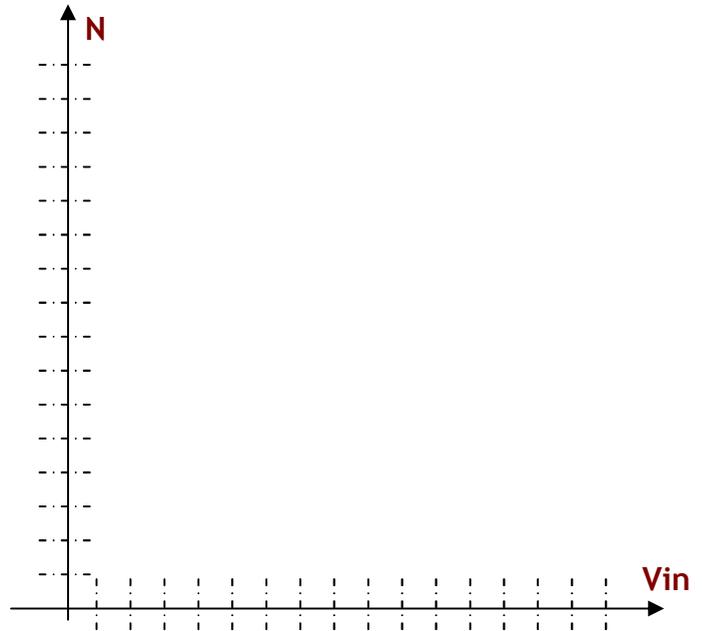
Soit à convertir par exemple, une tension $V_{in} = 825 \text{ mV}$. Le CNA a une résolution $K=10 \text{ mV}$.
Donc $U_{CNA} = K \cdot N$. Après un fond montant du signal START, le signal EOC passe à zéro, indiquant le début de la conversion. A la fin de la conversion, le signal E.O.C passe à 1.

horloge	N	$U_{CNA} = 10 \cdot N$	comparaison
1 ^{ère} impulsion
2 ^{ère} impulsion
3 ^{ère} impulsion
4 ^{ère} impulsion
5 ^{ère} impulsion
6 ^{ère} impulsion
7 ^{ère} impulsion
8 ^{ère} impulsion
9 ^{ère} impulsion	Fin de conversion : le signal E.O.C passe à 1		
N =		N = en décimal	$U_{CNA} = \dots\dots\dots$



Si le signal numérique est composé de 4 entrées, on a $2^4 = 16$ nombres binaires distincts.
 On donne : $q = 0.5 \text{ V}$ et donc $N = \text{Vin} / q = \text{Int} (\text{Vin} / 0.5)$
 Compléter le tableau ci contre et le graphe ci-dessous :

Vin	D	C	B	A
$0 \text{ v} \leq \text{Vin} < 0.5\text{v}$	0	0	0	0
$0.5 \text{ v} \leq \text{Vin} < 1\text{v}$				
$1 \text{ v} \leq \text{Vin} < 1.5\text{v}$				
$2 \text{ v} \leq \text{Vin} < 2.5\text{v}$				
$2.5 \text{ v} \leq \text{Vin} < 3\text{v}$				
$3 \text{ v} \leq \text{Vin} < 3.5\text{v}$				
$4 \text{ v} \leq \text{Vin} < 4.5\text{v}$				
$4.5 \text{ v} \leq \text{Vin} < 5\text{v}$				
$5 \text{ v} \leq \text{Vin} < 5.5\text{v}$				
$6 \text{ v} \leq \text{Vin} < 6.5\text{v}$				
$6.5 \text{ v} \leq \text{Vin} < 7\text{v}$				
$7.5 \text{ v} \leq \text{Vin}$				
$\text{Vin} = 10 \text{ v}$				



Exemple 3 :

Calculer V_s pour $q = 0.75\text{V}$ et $N = 1001$, $N=0110$, $N=1111$

$N = 1001$	$V_s = \dots\dots\dots$	$V_s = \dots\dots\dots$
$N = 0110$	$V_s = \dots\dots\dots$	$V_s = \dots\dots\dots$
$N = 1111$	$V_s = \dots\dots\dots$	$V_s = \dots\dots\dots$

Exemple 4 :

Sachant que $V_{\text{max}} = 20\text{V}$ et CNA de 8 bits, calculer la tension en sortie, pour $N=10010001$ puis $N=00010110$

$K = \dots\dots\dots$	$V_s = K * N = \dots\dots\dots$
$N = \dots\dots\dots$	$V_s = \dots\dots\dots$
$N = \dots\dots\dots$	$V_s = \dots\dots\dots$

Exemple 5 :

Quelle est la plus grande tension de sortie d'un CNA si ce dernier fournit 1V pour $N=00010111$?

2- Le temps de conversion :

Temps nécessaire pour que la sortie prenne la valeur indiquée par le code d 'entrée et soit stable.

3- Tension de décalage :

C'est la tension ou courant qui existe en sortie, lorsqu'on applique 00 en entrée.
 Idéalement, le CNA doit afficher 0V mais en réalité on mesure une petite tension qui est due à l'erreur de décalage de l'amplificateur opérationnel en sortie.

C.A.N interne du 16F877

1- PRESENTATION :

Il s'agit d'un convertisseur A/N 10 bits à 8 entrées. Les 5 premiers sont sur le PORTA en RA₀, RA₁, RA₂, RA₃ et RA₅. Les 3 entrées supplémentaires sont sur le PORTE en RE₀, RE₁, RE₂. Les tensions de références haute et basse peuvent être choisies par programmation comme suit :

- ✓ Vref+ peut être VDD ou la broche RA₃.
- ✓ Vref- peut être VSS ou la broche RA₂.

Ce module convertisseur A/N utilise 4 registres qui sont :

- ❖ ADRESH en page 0 : MSB des 10 bits résultat.
- ❖ ADRESL en page 1 : LSB des 10 bits résultat.
- ❖ ADCON0 en page 0 : registre de contrôle n°0 du module CAN.
- ❖ ADCON1 en page 1 : registre de contrôle n°1 du module CAN.

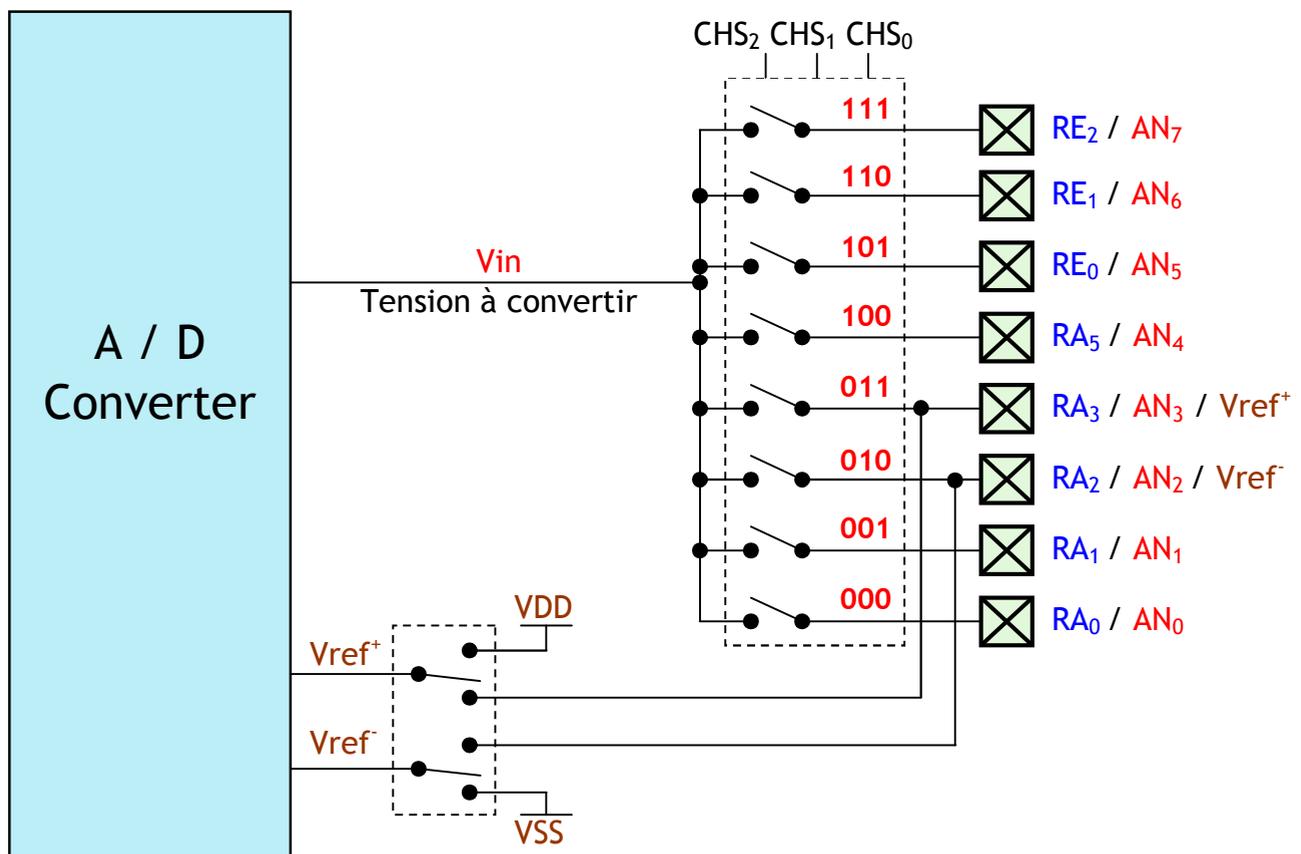
Une conversion commence toujours par la mise à **1** du bit **GO/DONE** du registre **ADCON0**. Lorsque la conversion est terminée ce bit repasse à **0**. La valeur résultante **N** de la conversion est le contenu de **ADRESH: ADRESL** est égale à :

Si Vref+ = VDD = 5V et Vref- = VSS = 0V
Alors : $N = 1023 * (VIN / 5)$

$$N = \frac{V_{in} - V_{ref^-}}{V_{ref^+} - V_{ref^-}} \times 1023$$

VDD et VSS sont les tensions d'alimentation du microcontrôleur le PIC16 F 877

2- ORGANISATION INTERNE :



3- Le Registre ADCON1 :

IL permet de choisir une configuration parmi les 16 proposées.

La configuration de ce registre ne dispense pas de configurer les registres de directions des PORTA et PORTE respectivement TRISA et TRISE.



Bit 7

ADFM: A/D Result Format Select bit

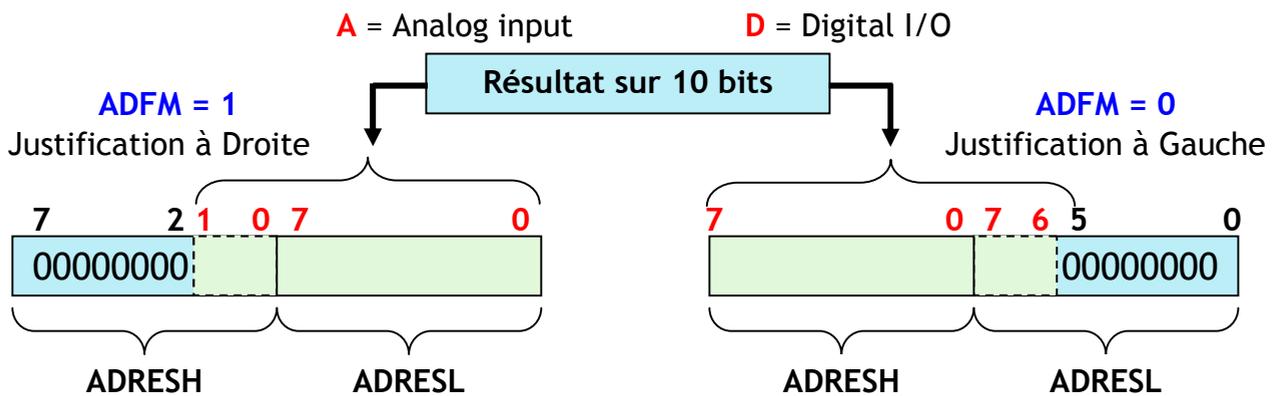
1 = le résultat sera justifié à droite.

0 = le résultat sera justifié à gauche.

Bit 3-0

PCFG3...PCFG0: A/D Port Configuration Control bits

PCFG3 PCFG0	AN ₇ RE ₂	AN ₆ RE ₁	AN ₅ RE ₀	AN ₄ RA ₅	AN ₃ RA ₃	AN ₂ RA ₂	AN _{0R} A ₀	AN ₀ RA ₀	VREF+	VREF-	CHAN
0000	A	A	A	A	A	A	A	A	VDD	VSS	8/0
0001	A	A	A	A	VREF +	A	A	A	RA3	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	RA3	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	RA3	VSS	2/1
011x	D	D	D	D	D	D	D	D	VDD	VSS	0/0
1000	A	A	A	A	VREF +	VREF -	A	A	RA3	RA2	6/2
1001	D	D	A	A	A	A	A	A	VDD	VSS	6/0
1010	D	D	A	A	VREF +	A	A	A	RA3	VSS	5/1
1011	D	D	A	A	VREF +	VREF -	A	A	RA3	RA2	4/2
1100	D	D	D	A	VREF +	VREF -	A	A	RA3	RA2	3/2
1101	D	D	D	D	VREF +	VREF -	A	A	RA3	RA2	2/2
1110	D	D	D	D	D	D	D	A	VDD	VSS	1/0
1111	D	D	D	D	VREF +	VREF -	D	A	RA3	RA2	1/2



4- Le Registre ADCON0 :

Ce registre permet de définir l'horloge de conversion, le canal à convertir, la mise en fonctionnement du CAN, et le lancement d'une conversion.



Bit 7-6

ADCS1:ADCS0: A/D Conversion Clock Select.
 Ces 2 bits permettent de choisir la vitesse de conversion:
00 = FOSC/2
10 = FOSC/32
01 = FOSC/8
11 = FRC (oscillator RC interne)

Bit 5-4-3

CHS2:CHS1:CHS0: Analogue Channel Select bits
 Ces 3 bits permettent de choisir le canal qui va être converti:

CHS2	CHS1	CHS0	Canal sélectionné
0	0	0	RA ₀ /AN ₀
0	0	1	RA ₁ /AN ₁
0	1	0	RA ₂ /AN ₂
0	1	1	RA ₃ /AN ₃
1	0	0	RA ₅ /AN ₄
1	0	1	RE ₀ /AN ₅
1	1	0	RE ₁ /AN ₆
1	1	1	RE ₂ /AN ₇

Bit 2

GO/DONE: A/D Conversion Status bit
1 = démarre la conversion.
0 = la conversion est terminée.

Bit 0

AD ON: A/D On bit
0 = convertisseur A/N en arrêt.
1 = convertisseur A/N en service.

5- Exemple d'utilisation :

Configuration :

On souhaite obtenir la configuration suivante avec un PIC16F877 :

RE2 : Sortie logique RE1 : Sortie logique RE0 : Entrée logique
 RA5 : Sortie logique RA4 : Entrée Logique RA3 : Entrée analogique
 RA2 : Entrée logique RA1 : Entrée analogique RA0 : Entrée analogique

Tension de référence VREF = VDD - VSS = 5V et fréquence du quartz égale à 12MHz.

Programme en assembleur :

Toutes les lignes de sorties des PORTs sont mises à zéro.

```

.....
..... ; Mise à zéro des ports A et E
      ; Accès aux registres TRISx (Banque mémoire 1)
..... ; RPO = 1
..... ; RP1 = 0
      ; Configuration des registres de directions
.....
..... ; Configuration du PORTA X X S E E E E E
.....

```

```

..... ; Configuration du PORTE 0 0 0 0 0 S S E
; Configuration du registre ADCON1 Page 1
; ADFM = 1 justification à droite du résultat
; PCFG 3:0 0100 => RE3:RE0 Type D comme Digitale
; => RA4 : D, RA3 : A comme Analogique
; => RA2 : D, RA1 : A et RA0 : A

```

```

..... ; Valeur binaire 1 0 0 0 0 1 0 0
; Retour en banque mémoire 0
..... ; RP0 = 0
..... ; RP1 = 0

```

```

; Configuration du registre ADCON0 Page 0
; ADCS1 et ADSC0 = 1 0 Fréquence Max 20MHz
; ADON = 1 Mise en route du CAN
; 0 pour les autres bits

```

```

..... ; Valeur binaire 1 0 0 0 0 0 0 1
; Conversion du canal RA3
; Sélection du canal 3 avec les bits CHS2, CHS1 et CHS0 : 0 1 1
; GO/DONE = 1 Lancement d'une conversion

```

```

..... ; Déclenchement de la conversion
ATT ..... ; attendre la fin de conversion

```

```

; Fin de conversion, lecture du résultat
..... ; Partie haute

```

```

..... ; Passage en page 1
..... ; Partie basse
..... ; Passage en page 0
.....

```

LES FILTRES

1- Présentation - Définition :

L'information issue d'un capteur qu'elle soit numérique ou analogique peut être perturbée, bruitée, parasitée. Le filtrage des grandeurs mesurées permet d'obtenir un signal épuré. Les filtres sont classés en deux familles :

Signal d'entrée, plus des
Fréquences indésirables



Signal d'entrée filtré
Nettoyé

- ❖ **Les filtres passifs** : exclusivement composés de résistances, condensateurs, inductances.
Inconvénient : **Aucune amplification possible**
- ❖ **Les filtres actifs** : composés de résistances, condensateurs, inductances et AOP et/ou transistor.
Avantage : **Amplification possible**

2- Notion de spectre d'un signal :

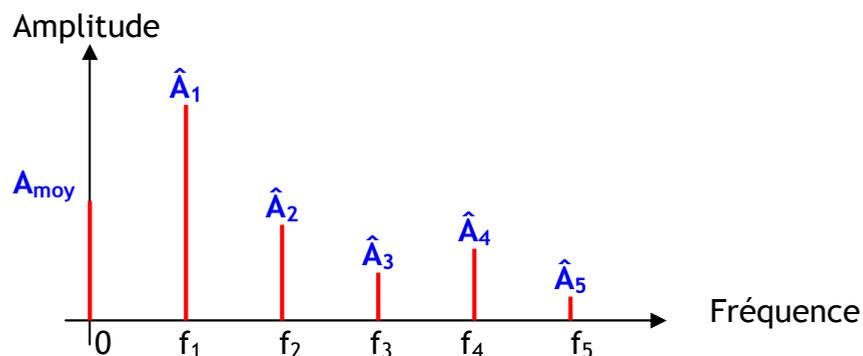
Un signal périodique quelconque $a(t)$ peut être décomposé en une somme :

- ❖ D'une grandeur constante A égale à la **valeur moyenne** du signal d'origine.
- ❖ De signaux **sinusoïdaux** d'amplitude et de fréquence liées au signal $a(t)$.

On distingue :

- ✓ Le signal **fondamental** (de fréquence identique au signal initial).
- ✓ **Les harmoniques** (de fréquences supérieures au signal initial).

On peut alors représenter le spectre de ce signal dans un repère. On représente les amplitudes des sinusoïdes sur l'axe des ordonnées et les fréquences sur l'axe des abscisses.



Le signal dont le spectre est décrit ci-dessus aurait alors pour expression :

$$a(t) = A_{\text{moy}} + \hat{A}_1 \sin(2\pi f_1 t + \varphi_1) + \hat{A}_2 \sin(2\pi f_2 t + \varphi_2) + \dots + \hat{A}_n \sin(2\pi f_n t + \varphi_n)$$

3- Caractéristiques :

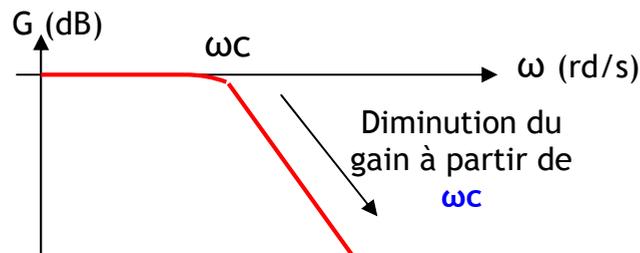
Les filtres quoique classés en deux familles sont aussi classés par caractéristiques :

- ❖ **les filtres passe-bas** : Laissent passer uniquement les signaux de basses fréquences.
(Exemple les sons graves)
- ❖ **les filtres passe-haut** : Laissent passer uniquement les signaux de hautes fréquences.
(Exemple les sons aigus)
- ❖ **les filtres passe-bande** : Laissent passer les signaux ayant une gamme de fréquences définie
(Exemple les sons médiums)
- ❖ **les filtres coupe-bande** : Rejetent les signaux ayant une certaine gamme de fréquences.

4- Etude des filtres :

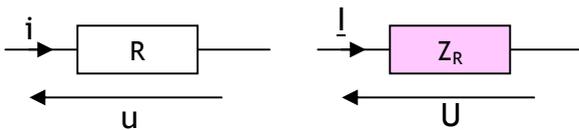
L'étude d'un filtre consiste à :

- ❖ Définir sa fonction de transfert $\underline{A}_v = \underline{V}_s / \underline{V}_e$
- ❖ Étudier l'évolution de cette fonction de transfert en fonction de la fréquence du signal d'entrée et représenter les variations du gain $G = 20 \text{ Log } |\underline{A}_v|$ et du déphasage du signal de sortie par rapport au signal d'entrée en fonction de la fréquence \Rightarrow **Diagramme de Bode en gain.**



5- Les composants et les nombres complexe :

L'élément résistif :



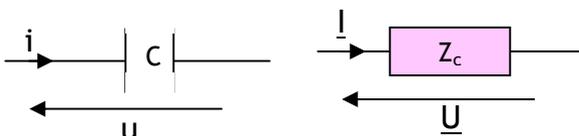
$$u(t) = R \cdot i(t) \quad \text{alors} \quad \underline{U} = R \cdot \underline{I}$$

$$\text{d'où} \quad \underline{Z}_R = R \quad \underline{Z}_R = [R, 0]$$

$$|\underline{Z}_R| = R \quad \text{Arg}(\underline{Z}_R) = 0$$

\underline{Z}_R est un réel pur, son argument sera toujours nul. En effet $i(t)$ et $u(t)$ sont toujours en phase dans un élément résistif.

Le condensateur :



$$i(t) = C \cdot du(t)/dt \quad \text{alors} \quad \underline{I} = Cj\omega \cdot \underline{U} \quad \text{d'où}$$

$$\underline{Z}_C = 1/jC\omega \quad \underline{Z}_C = -j/C\omega \quad \underline{Z}_C = [1/C\omega, -\pi/2]$$

$$|\underline{Z}_C| = 1/C\omega \quad \text{Arg}(\underline{Z}_C) = -\pi/2$$

La tension $u(t)$ est en retard de $\pi/2$ par rapport au courant $i(t)$.

On appelle ω la vitesse angulaire ou encore la pulsation du signal : $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$

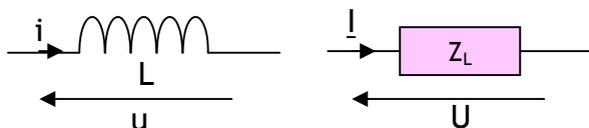
f : fréquence en Hz

ω : rad.s⁻¹

Retenez que : $\lim_{f \rightarrow \infty} |\underline{Z}_C| = 0$: la capacité se comporte comme un fil (court-circuit).

$\lim_{f \rightarrow 0} |\underline{Z}_C| = \infty$: la capacité se comporte comme un circuit ouvert.

L'inductance :



$$u(t) = L \cdot di(t)/dt \quad \text{alors} \quad \underline{U} = jL\omega \cdot \underline{I} \quad \text{d'où}$$

$$\underline{Z}_L = jL\omega \quad \underline{Z}_L = [L\omega, +\pi/2]$$

$$|\underline{Z}_L| = L\omega \quad \text{Arg}(\underline{Z}_L) = +\pi/2$$

La tension $u(t)$ est en avance de $\pi/2$ par rapport au courant $i(t)$.

Retenez que : $\lim_{f \rightarrow 0} |\underline{Z}_L| = 0$: l'inductance se comporte comme un fil (court-circuit).

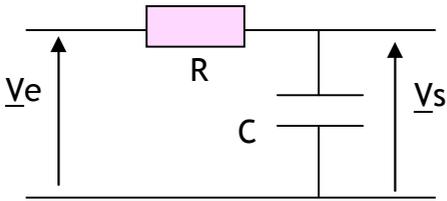
$\lim_{f \rightarrow \infty} |\underline{Z}_L| = \infty$: l'inductance se comporte comme un circuit ouvert.

6- Quelques formules à connaître :

Amplification en tension : $\underline{A}_v = \underline{V}_s / \underline{V}_e$
 Module de \underline{A}_v : $|\underline{A}_v| = |\underline{V}_s| / |\underline{V}_e|$
 Argument de \underline{A}_v : $\text{Arg}(\underline{A}_v) = \text{Arg} \underline{V}_s - \text{Arg} \underline{V}_e$
 $\text{Log } 0 = -\infty$; $\text{Log } 1 = 0$
 $\text{Log } \infty = \infty$; $\text{Arc tan } 0 = 0$
 $\text{Arc tan } \infty = \pi/2$; $\text{Arc tan } -\infty = -\pi/2$

Module de $\underline{z} = a + jb$: $\rho = \sqrt{a^2 + b^2}$
 Argument de $\underline{z} = a + jb$: $\varphi = \text{arc tan}(b/a)$
 Gain (dB): $G = 20 \text{ Log } |\underline{A}_v| \Rightarrow |\underline{A}_v| = 10^{(G/20)}$
 $j^2 = -1$; $1/j = -j$
 $\text{Log}(A \times B) = \text{Log } A + \text{Log } B$
 $\text{Log}(A / B) = \text{Log } A - \text{Log } B$

7- Le filtre passe bas :



Pour des signaux de basse fréquence la capacité se comporte comme un circuit ouvert ; donc $V_s = V_e$
 Pour des signaux de haute fréquence la capacité se comporte comme un court-circuit; donc $V_s = 0$ v

Recherche de l'expression complexe du Gain :

$$\underline{V}_s = \underline{V}_e \cdot \frac{\underline{Z}_C}{\underline{Z}_C + \underline{Z}_R} = \underline{V}_e \cdot \frac{1/jC\omega}{R + 1/jC\omega}$$

$$\underline{A}_v = \frac{\underline{V}_s}{\underline{V}_e} = \frac{1}{1 + jCR\omega} = \frac{1}{1 + j\omega/\omega_c} = \frac{1}{1 + jf/f_c}$$

Avec $\omega_c = 1/RC$ et $f_c = 1/2\pi RC$

$$G = 20 \cdot \text{Log} |\underline{A}_v| = 20 \cdot \text{Log} (A_v)$$

$$G = 20 \cdot \text{Log} 1 - 20 \cdot \text{Log} \sqrt{1 + f^2/f_c^2}$$

$$G = -10 \cdot \text{Log} (1 + f^2/f_c^2)$$

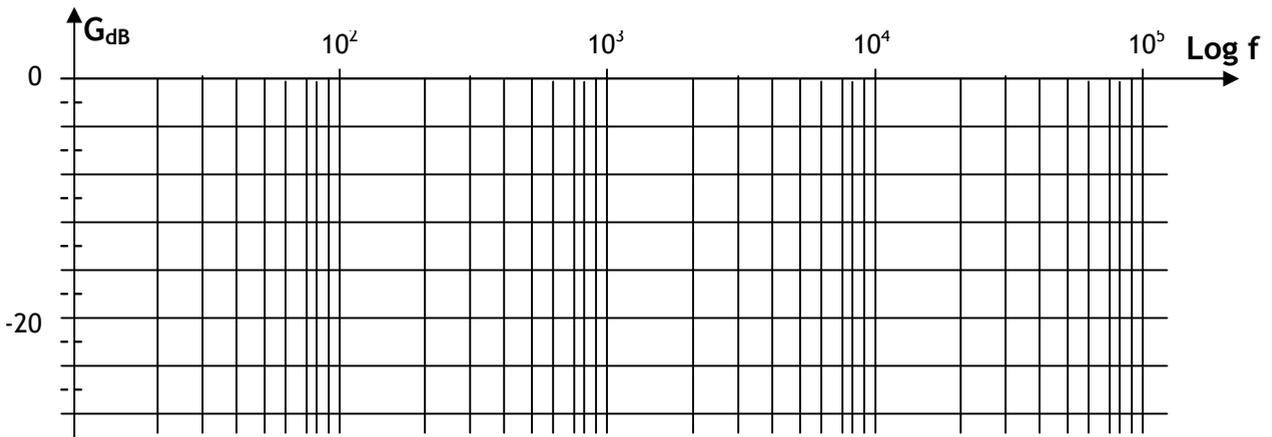
$$\text{Arg}(\underline{A}_v) = \text{Arg}(1) - \text{Arg}(1 + jf/f_c) = -\text{Arctg}(f/f_c)$$

Etude du comportement asymptotique :

Pour les basses fréquence : $f \ll f_c \rightarrow (f/f_c) \ll 1$
 $\underline{A}_v \approx 1$ $|\underline{A}_v| = 1$ $G = 20 \cdot \text{Log} 1 = 0$ dB
 $\text{Arg}(\underline{A}_v) = \text{Arg}(1) = 0$.

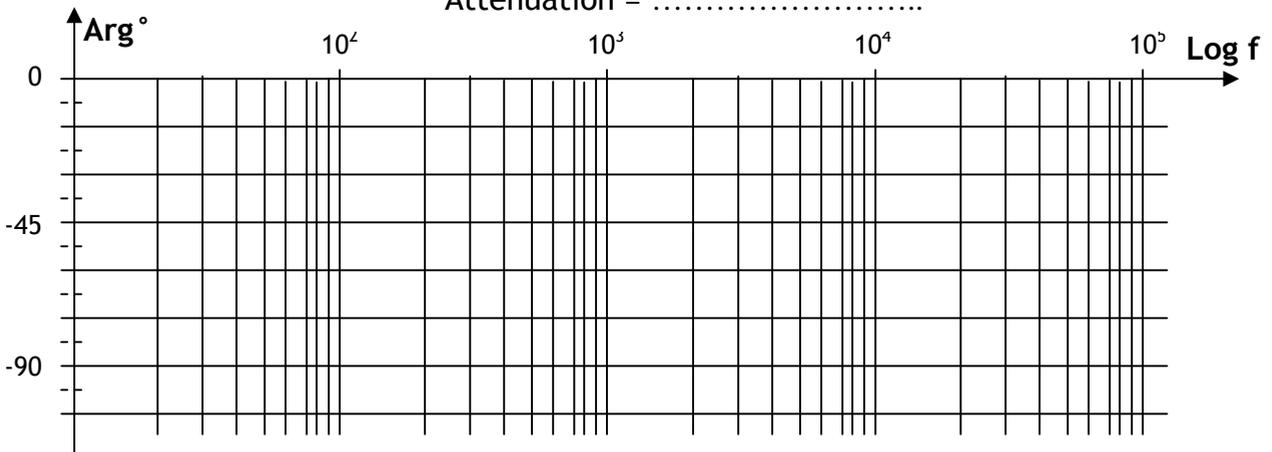
Pour $f = f_c \rightarrow (f/f_c) = 1 \rightarrow \underline{A}_v = 1/(1 + j)$
 $|\underline{A}_v| = 1/\sqrt{2}$ $G = -20 \cdot \text{Log} \sqrt{2}$ $G = -3$ dB
 $\text{Arg}(\underline{A}_v) = -\text{Arg}(1 + j) = -\text{Arctg}(1) = -\pi/4$

Pour les hautes fréquence : $f \gg f_c \rightarrow (f/f_c) \gg 1$
 $\underline{A}_v \approx -j f_c/f$ $|\underline{A}_v| = f_c/f$ $G = 20 \cdot \text{Log} f_c/f$
 $G = 20 \cdot \text{Log} f_c - 20 \cdot \text{Log} f$
 Si f varie de 10 (une décade de fréquence) le gain varie de -20 dB
 $\text{Arg}(\underline{A}_v) = \text{Arg}(-j f_c/f) = -\pi/2$.



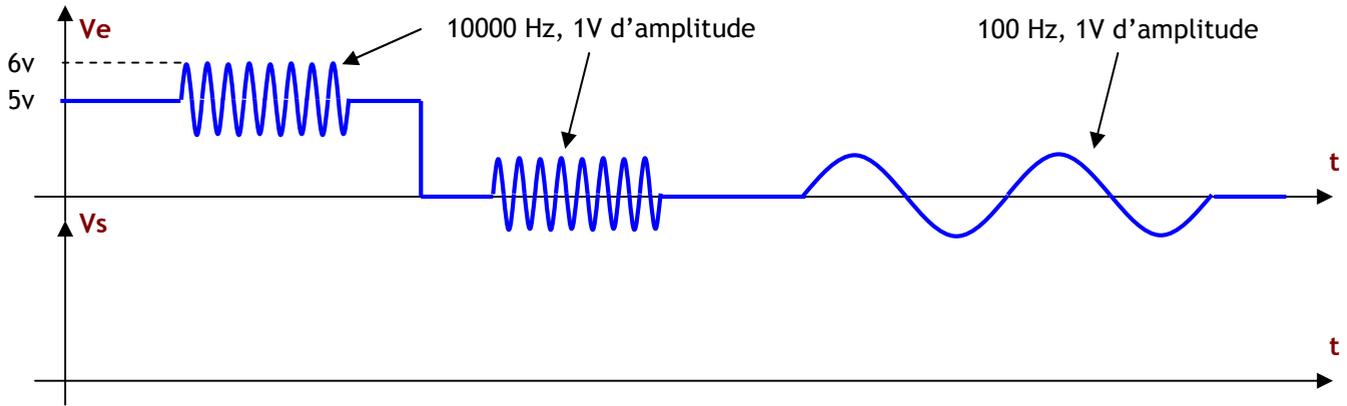
Courbe de gain pour $f_c = 1000$ Hz

Bande passante = Fréquence de coupure =
 Atténuation =

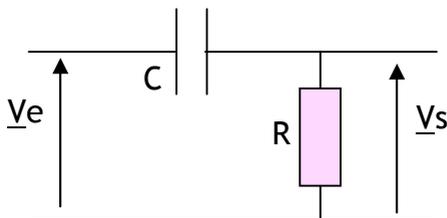


Courbe d'argument pour $f_c = 1000$ Hz

Exemple de réponse :



8- Le filtre passe haut :



Pour des signaux de basse fréquence la capacité se comporte comme un circuit ouvert ; donc Vs = 0 v
Pour des signaux de haute fréquence la capacité se comporte comme un court-circuit; donc Vs = Ve

Recherche de l'expression complexe du Gain :

$$\underline{V}_s = \underline{V}_e \cdot \frac{\underline{Z}_R}{\underline{Z}_C + \underline{Z}_R} = \underline{V}_e \cdot \frac{R}{R + 1/jC\omega}$$

$$\underline{A}_v = \frac{\underline{V}_s}{\underline{V}_e} = \frac{R}{R + 1/jC\omega} = \frac{jCR\omega}{1 + jCR\omega} = \frac{j\omega/\omega_c}{1 + j\omega/\omega_c} = \frac{jf/f_c}{1 + jf/f_c}$$

Avec $\omega_c = 1/RC$ et $f_c = 1/2\pi RC$

$$G = 20 \cdot \text{Log} |\underline{A}_v| = 20 \cdot \text{Log} (A_v)$$

$$G = 20 \cdot \text{Log} (f/f_c) - 20 \cdot \text{Log} \sqrt{1 + f^2/f_c^2}$$

$$G = 20 \cdot \text{Log} (f/f_c) - 10 \cdot \text{Log} (1 + f^2/f_c^2)$$

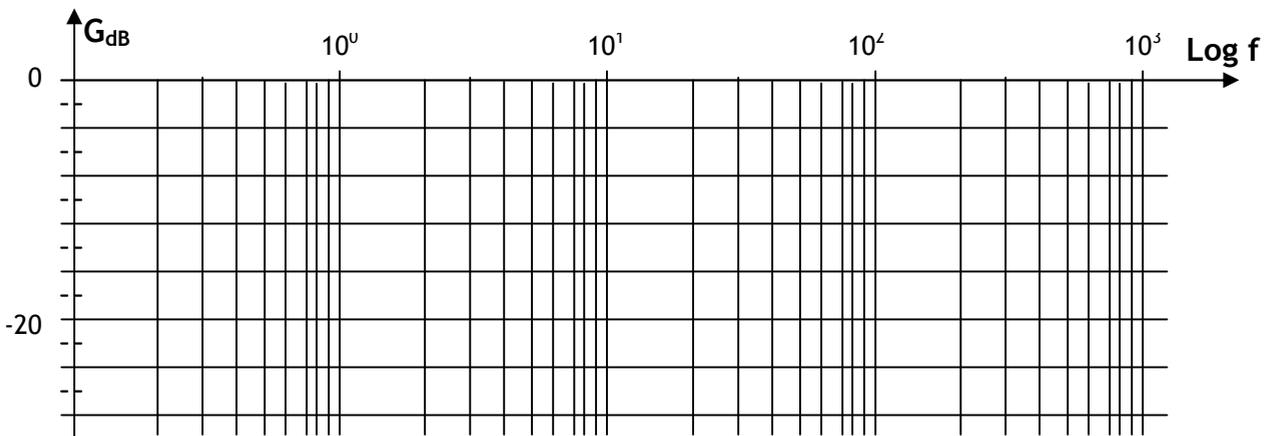
$$\text{Arg} (\underline{A}_v) = \text{Arg} (jf/f_c) - \text{Arg} (1 + jf/f_c) = \pi/2 - \text{Arctg} (f/f_c)$$

Etude du comportement asymptotique :

Pour les basses fréquence : $f \gg f_c \rightarrow (f/f_c) \gg 1$
 $\underline{A}_v \approx 1$ $|\underline{A}_v| = 1$ $G = 20 \cdot \text{Log} 1 = 0 \text{ dB}$
 $\text{Arg} (\underline{A}_v) = \text{Arg} (1) = 0$

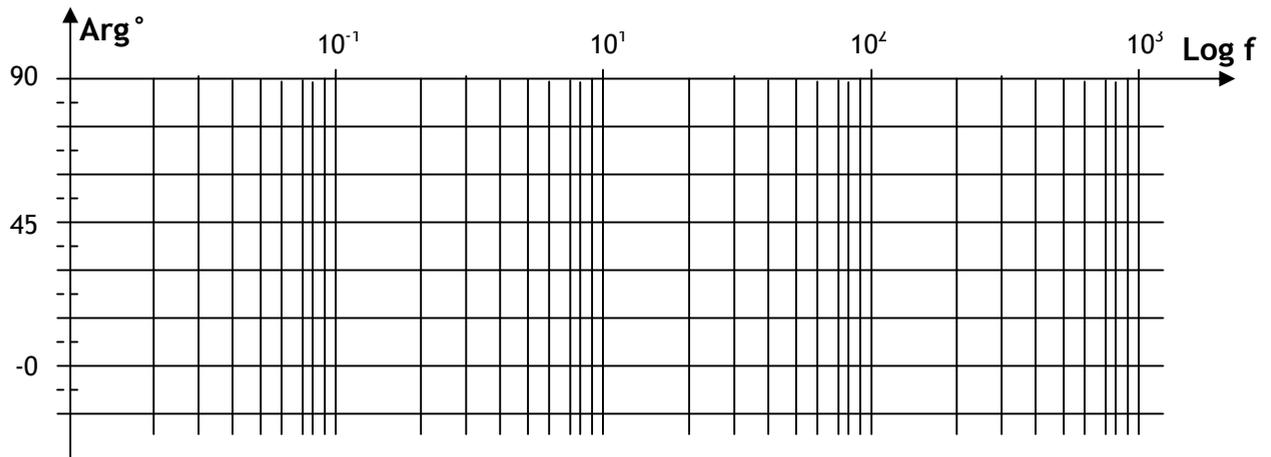
Pour $f = f_c \rightarrow (f/f_c) = 1 \rightarrow \underline{A}_v = j / (1 + j)$
 $|\underline{A}_v| = 1/\sqrt{2}$ $G = -20 \cdot \text{Log} \sqrt{2} = -3 \text{ dB}$
 $\text{Arg}(\underline{A}_v) = \text{Arg}(j) - \text{Arg}(1+j) = \pi/2 - \text{Arctg}(1) = \pi/4$

Pour les hautes fréquence : $f \ll f_c \rightarrow (f/f_c) \ll 1$
 $\underline{A}_v \approx j f/f_c$ $|\underline{A}_v| = f/f_c$ $G = 20 \cdot \text{Log} f/f_c$
 $G = 20 \cdot \text{Log} f - 20 \cdot \text{Log} f_c$
 Si f varie de 10 (une décade de fréquence) le gain varie de +20 dB
 $\text{Arg} (\underline{A}_v) = \text{Arg} (j f_c/f) = \pi/2$



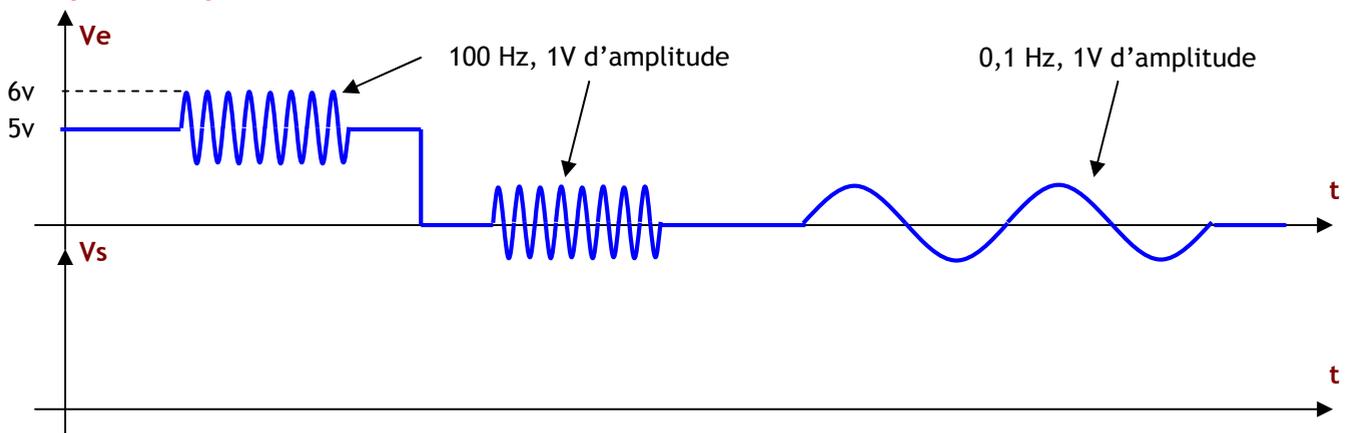
Courbe de gain pour $f_c = 10 \text{ Hz}$

Bande passante = Fréquence de coupure =
 Atténuation =

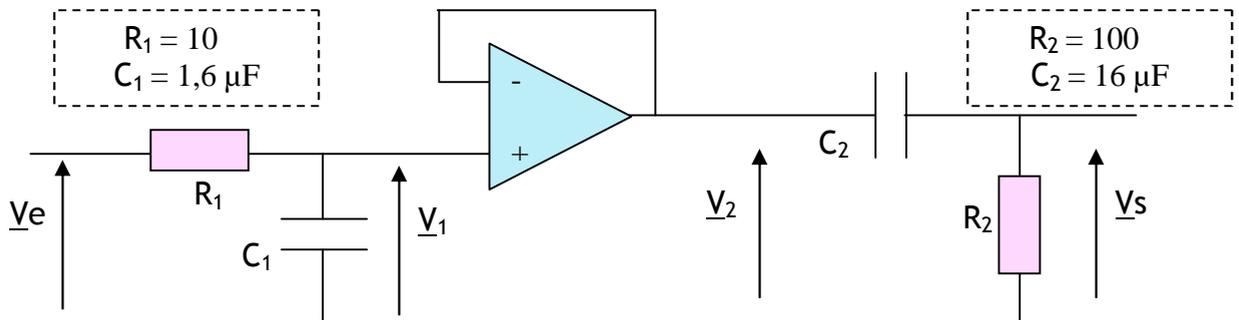


Courbe d'argument pour $f_c = 10 \text{ Hz}$

Exemple de réponse :



9- Le filtre passe bande :



Recherche de l'expression complexe du Gain :

$$\underline{V}_1 = \underline{V}_e \cdot \frac{\underline{Z}_{C1}}{\underline{Z}_{C1} + \underline{Z}_{R1}} = \underline{V}_e \cdot \frac{1/jC_1\omega}{R_1 + 1/jC_1\omega} \quad \underline{T}_1 = \frac{\underline{V}_1}{\underline{V}_e} = \frac{1}{1 + jf/f_1} \quad \text{avec } f_1 = 1/2\pi R_1 C_1$$

$$\underline{V}_s = \underline{V}_2 \cdot \frac{\underline{Z}_{R2}}{\underline{Z}_{C2} + \underline{Z}_{R2}} = \underline{V}_2 \cdot \frac{R_2}{R_2 + 1/jC_2\omega} \quad \underline{T}_2 = \frac{\underline{V}_s}{\underline{V}_2} = \frac{jf/f_2}{1 + jf/f_2} \quad \text{avec } f_2 = 1/2\pi R_2 C_2$$

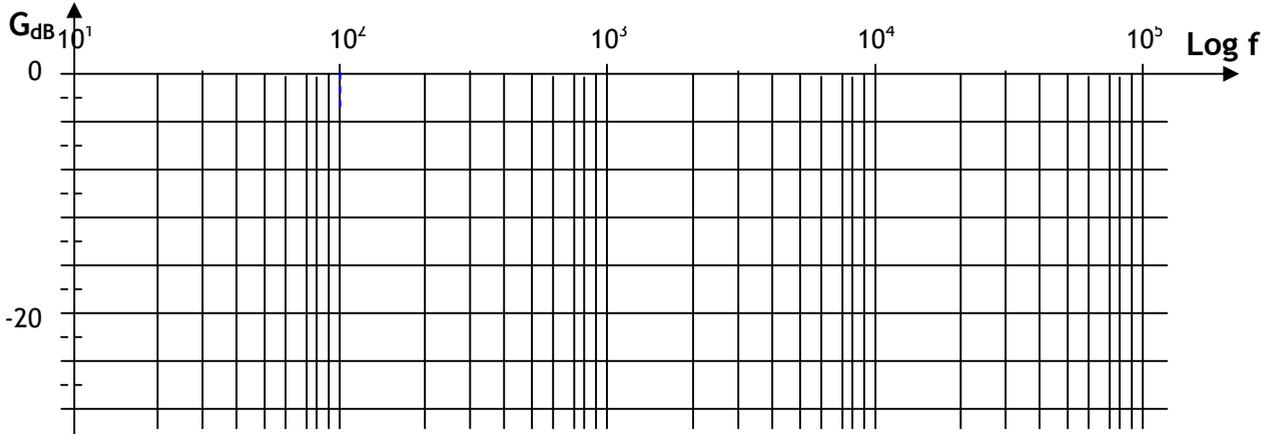
$$\underline{T} = \frac{\underline{V}_s}{\underline{V}_e} = \frac{\underline{V}_s}{\underline{V}_1} \cdot \frac{\underline{V}_1}{\underline{V}_e} = \underline{T}_1 \cdot \underline{T}_2 \quad \underline{V}_1 = \underline{V}_2$$

$$f_1 = 1/2\pi \cdot 10 \cdot 1,6 \cdot 10^{-6} \approx 10000 \text{ Hz}$$

$$f_2 = 1/2\pi \cdot 100 \cdot 16 \cdot 10^{-6} \approx 100 \text{ Hz}$$

$$G = 20 \cdot \text{Log } |\underline{T}| = 20 \cdot \text{Log } |\underline{T}_1 \cdot \underline{T}_2| = 20 \cdot \text{Log } |\underline{T}_1| + 20 \cdot \text{Log } |\underline{T}_2| \quad G = G_1 + G_2$$

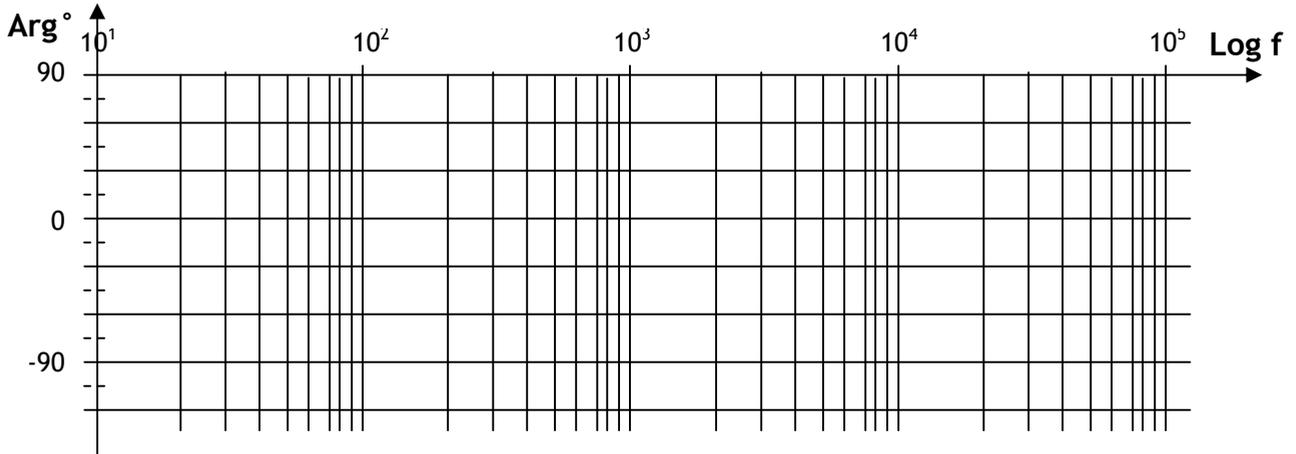
$$\text{Arg } (\underline{T}) = \text{Arg } (\underline{T}_1 \cdot \underline{T}_2) = \text{Arg } (\underline{T}_1) + \text{Arg } (\underline{T}_2)$$



Courbe de gain pour $f_1 = 10000 \text{ Hz}$ et $f_2 = 100 \text{ Hz}$

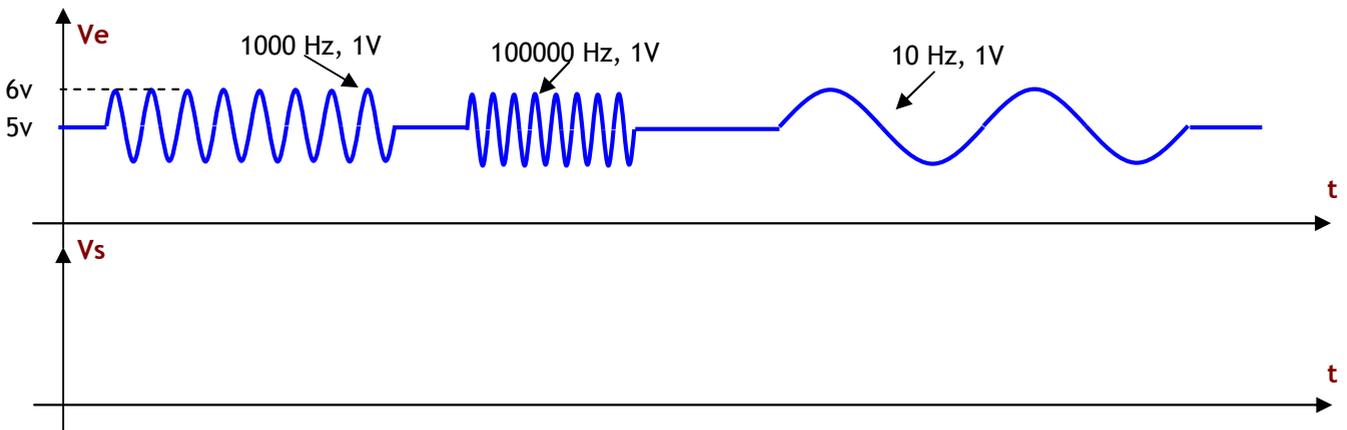
Bande passante = Atténuation =

Fréquences de coupure :



Courbe d'argument pour $f_1 = 10000 \text{ Hz}$ et $f_2 = 100 \text{ Hz}$

Exemple de réponse :



ETUDE D'UN FILTRE

Etude pratique :

Soit le filtre suivant :



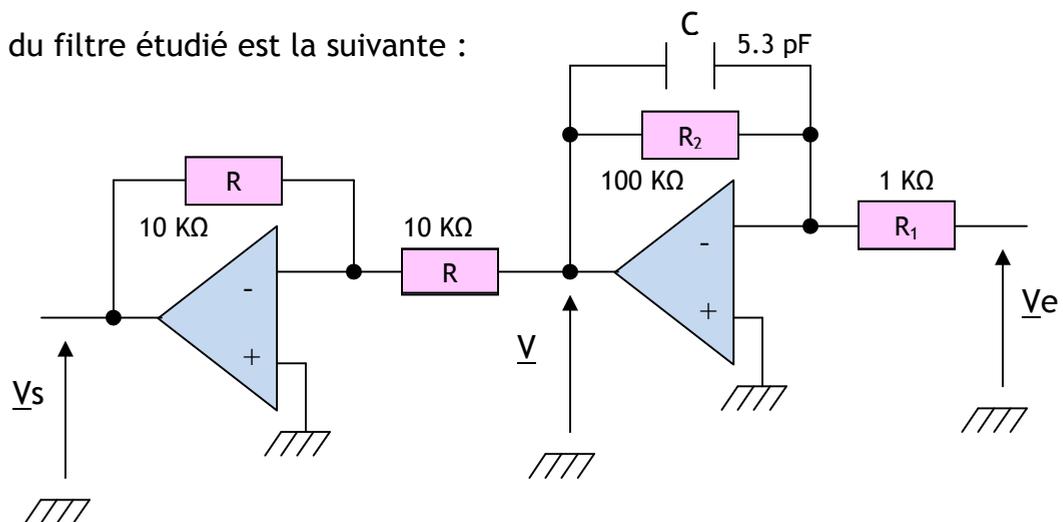
On effectue les mesures suivantes

f(Hz)	10	20	30	60	100	200	300	400	600	1000	2000	3000	6000
Ve(mV)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Vs(mV)	99.95	99.78	99.50	98.05	94.86	83.20	70.71	60.00	44.72	28.73	14.83	09.95	04.99
Arg(°)	-01.90	-03.81	-05.71	-11.31	-18.43	-33.69	-45.00	-53.13	-63.44	-73.30	-81.46	-84.29	-87.14

1. Pour différentes valeurs de f, calculer le module et le gain de $\underline{T} = \underline{Vs} / \underline{Ve}$.
2. Trace le diagramme de Bode de \underline{T}
3. En déduire le gain max, l'amplification max, la fréquence de coupure, la nature du filtre et sa bande passante.
4. Ce filtre est-il passif ou actif

Etude théorique :

Le montage du filtre étudié est la suivante :



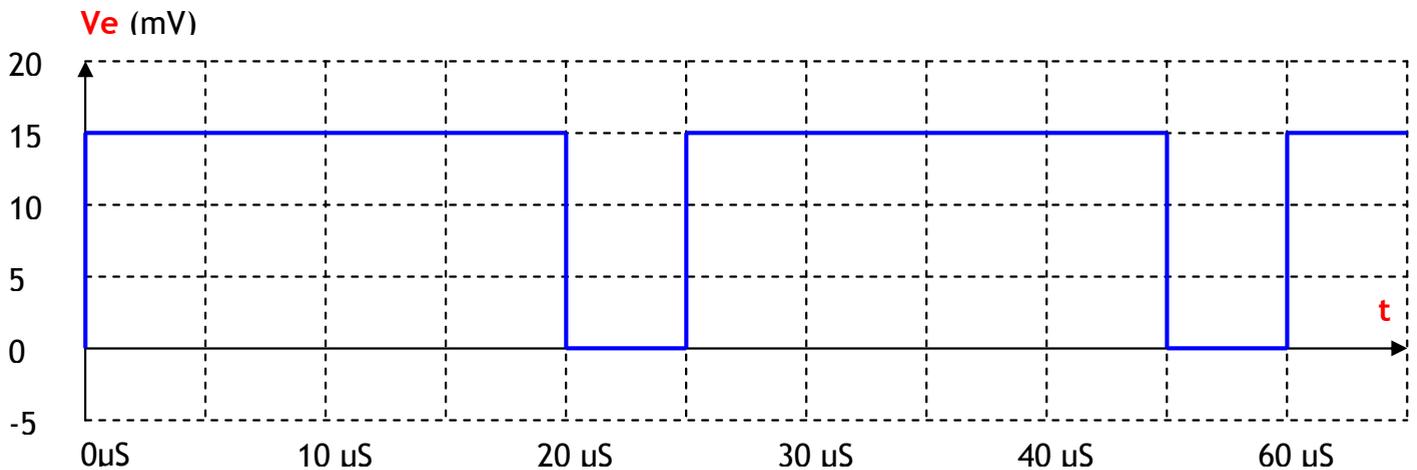
1. Donner l'expression de $\underline{T}_1 = \underline{V} / \underline{Ve}$.
2. Donner l'expression de $\underline{T}_2 = \underline{Vs} / \underline{V}$.
3. En déduire l'expression de $\underline{T} = \underline{Vs} / \underline{Ve}$.
4. Montrer que la fonction de transfert de ce filtre, peut s'écrire sous la forme suivante :

$$\underline{T} = \frac{100}{1 + j f/300}$$

5. Donner l'expression de T, module de \underline{T}
6. En déduire l'expression du gain et de l'argument.
7. Montrer que pour f = 300Hz, le gain = 37 dB
8. Tracer le diagramme asymptotique de T

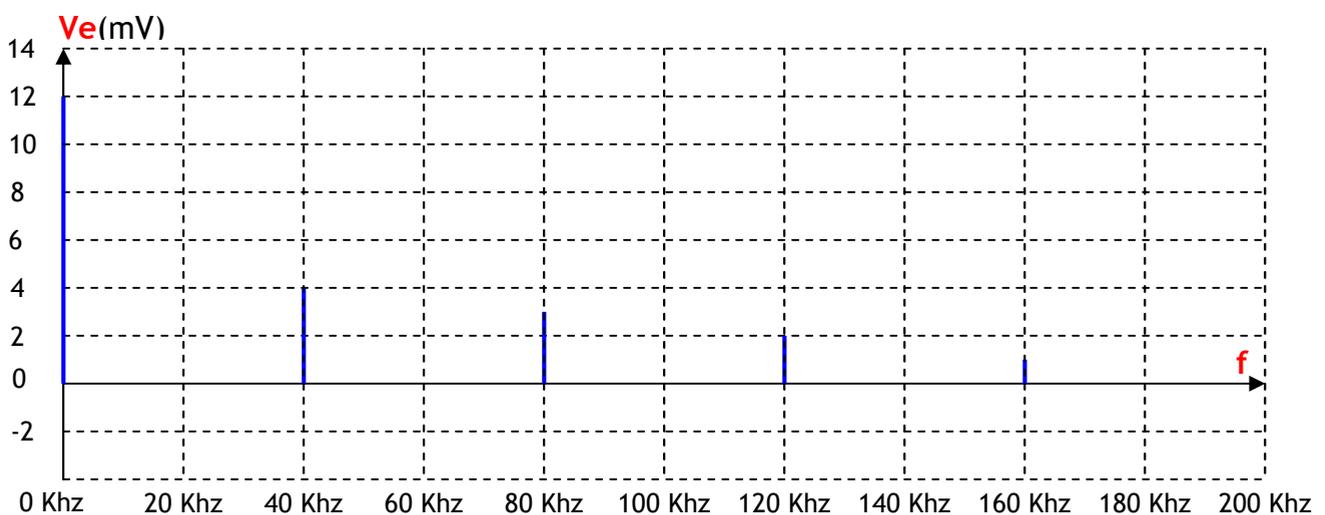
Réponse à un signal carré :

Le filtre étudié est attaqué par le signal suivant.



1. Calculer la fréquence et le rapport cyclique de ce signal.
2. Calculer alors sa valeur moyenne.

On donne le spectre de fréquence du signal ci-dessus



3. Que représentent alors, les signaux de fréquences suivantes : $f = 0$ Hz, $f = 40$ KHz, $f = 80$ KHz, $f = 120$ KHz et $f = 160$ KHz.
4. Donner les amplitudes des différents signaux qui composent le signal V_e .
5. Calculer alors l'amplification, le gain et l'argument pour chaque spectre du signal V_e .
6. Donner alors la valeur de V_s .

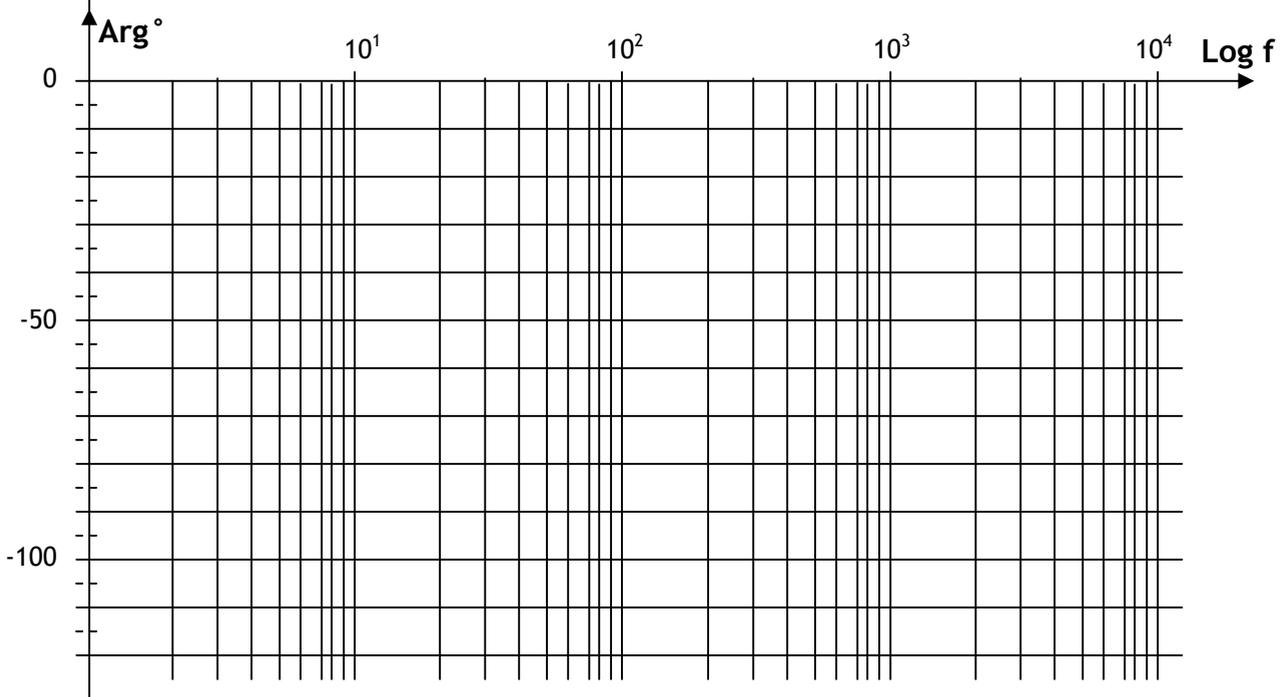
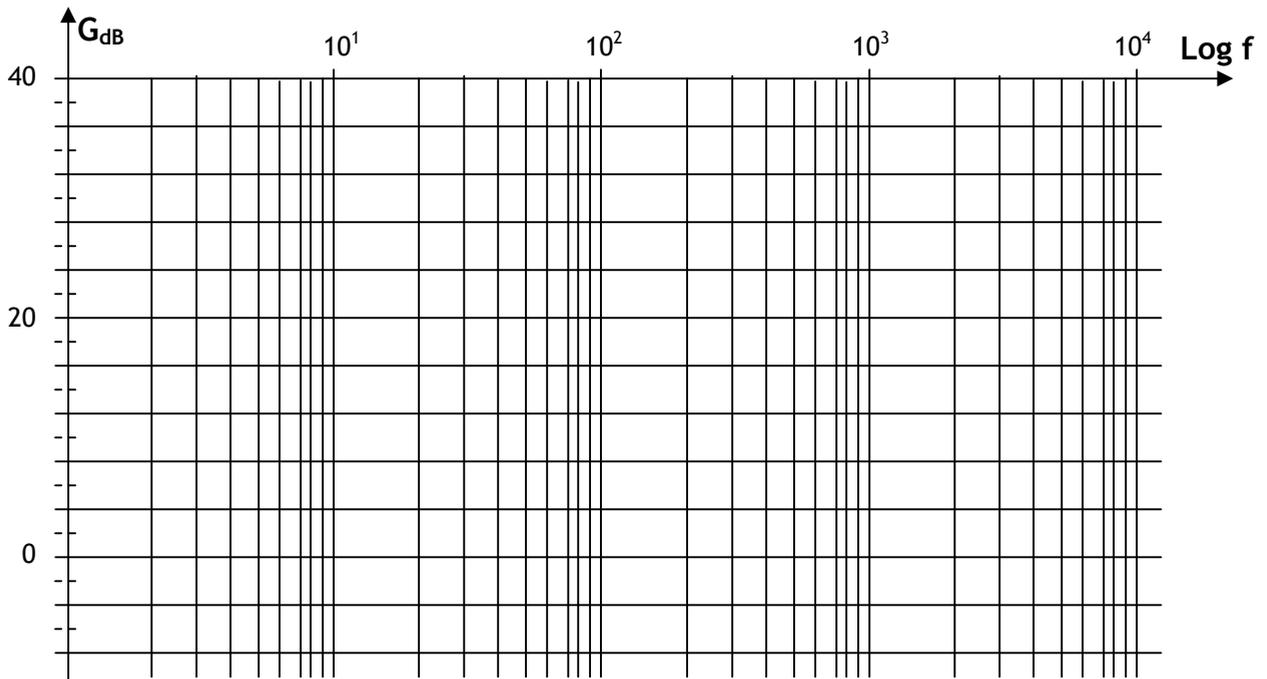
Documents réponse

Etude pratique :

Question n° 1 :

f(Hz)	10	20	30	60	100	200	300	400	600	1000	2000	3000	6000
Ve(mV)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Vs(mV)	99.95	99.78	99.50	98.05	94.86	83.20	70.71	60.00	44.72	28.73	14.83	09.95	04.99
Arg(°)	-01.90	-03.81	-05.71	-11.31	-18.43	-33.69	-45.00	-53.13	-63.44	-73.30	-81.46	-84.29	-87.14
T													
G(dB)													

Question n° 2 :



Question n° 3 :

$G_{max} = \dots\dots\dots$

$G_{max} = 20 \log T_{max}$ $T_{max} = \dots\dots\dots$ $T_{max} = \dots\dots\dots$

Fréquence de coupure = $\dots\dots\dots$ $G(300) = G_{max} - \dots\dots = \dots\dots\dots$

Nature du filtre : Filtre passe bas

Bande passante = $\dots\dots\dots$

Question n° 4 :

.....

Etude théorique :

Question n° 1 :

.....

Question n° 2 :

.....

Question n° 3 :

.....

Question n° 4 :

.....

Question n° 5 :

.....

Question n° 6 :

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Question n° 7 :

.....

Question n° 8 :

Courbe de gain

Réponse à un signal carré :

Question n° 1 :

.....

Question n° 2 :

.....

Question n° 3 :

Ve (0 Hz) :

Ve (40 KHz) :

Ve (80,120, 160 KHz) :

Question n° 4 :

Fréquence	0 Hz	40 KHz	80 KHz	120 KHz	160 KHz
Amplitude					

Question n° 5 :

Fréquence	0 Hz	40 KHz	80 KHz	120 KHz	160 KHz
Amplification					
Amplitude ⁽¹⁾					
Gain					
Argument					

(1) amplitude à la sortie du filtre

Question n° 6 :

Vs =