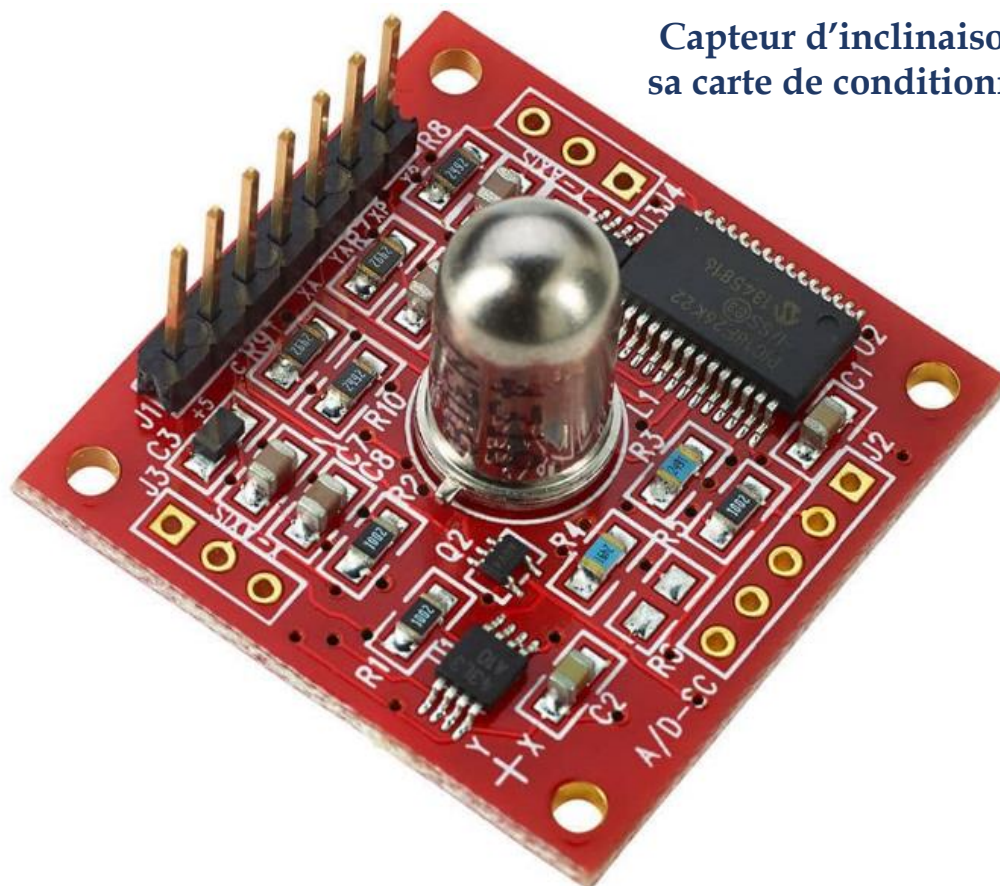


PARTIE**1**

La fonction ACQUERIR



Capteur d'inclinaison avec
sa carte de conditionnement

1

CAPTEURS**Mise en situation**

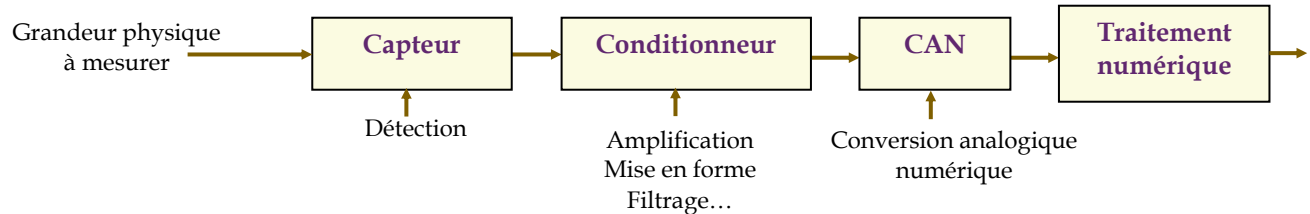
En automobile, tout devient électronique, l'injection, l'allumage, la climatisation, l'indicateur de vitesse du véhicule, la position des sièges, le freinage...

Tout cela est géré par des calculateurs à base de microprocesseur.

Cependant, pour fonctionner, ces calculateurs ont besoin d'informations qui sont prélevées sur le moteur, la boîte de vitesse, les roues... ; c'est le rôle des capteurs.

Rappel de la chaîne d'acquisition

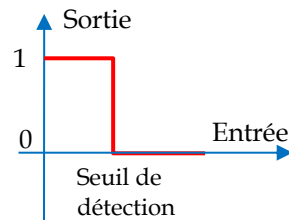
La chaîne d'acquisition d'un système technique permet de transformer une grandeur à mesurer en un signal électrique exploitable. Dans la chaîne d'acquisition, le capteur est l'élément sensible à la grandeur physique :



Selon la nature du signal de sortie, on peut classer les capteurs en 3 grandes catégories :

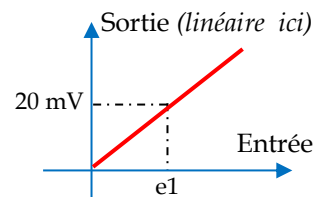
- Capteur **logique** ou Tout Ou Rien (TOR) : la sortie est binaire (information vraie ou fausse).
Exemples : détecteur de fin de course, thermostat

Exemple de caractéristique de transfert d'un capteur logique



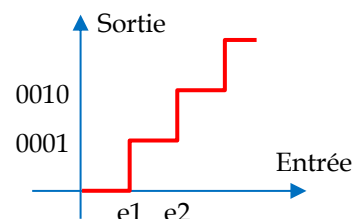
- Capteur **analogique** : la sortie varie de façon progressive (variation continue).
Exemples : thermocouple, dynamo tachymétrique

Exemple de caractéristique de transfert d'un capteur analogique



- Capteur **numérique** : la sortie varie par échelons.
Exemple : codeur absolu

Exemple de caractéristique de transfert d'un capteur numérique



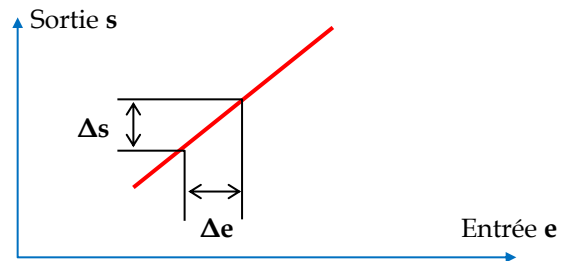
Caractéristiques des capteurs

⇒ Sensibilité

C'est le rapport entre la variation de la grandeur de sortie et celle de la grandeur d'entrée $S = \Delta s / \Delta e$.

⇒ Linéarité

Un capteur est linéaire si sa caractéristique de transfert $s = f(e)$ est linéaire donc si sa sensibilité est constante dans toute sa plage d'emploi.



⇒ Autres caractéristiques : étendue de mesure, précision, fidélité et rapidité.

Les capteurs numériques

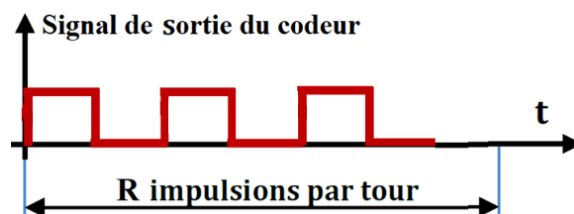
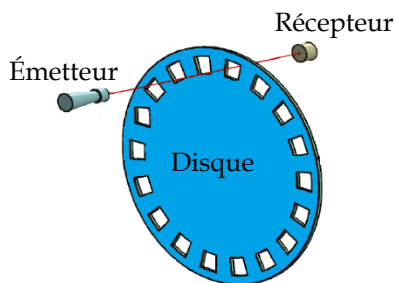
1. Codeur Incremental

L'élément principal est un disque portant une piste divisée régulièrement en secteurs alternativement opaques et transparents.

Autour de la piste, sont installés un émetteur et un récepteur de lumière.

Les impulsions émises par le codeur peuvent renseigner sur :

- La **position** ;
- La **vitesse** ;
- Le **sens de mouvement**.



Résolution :

Précision angulaire :

R = nombre de points/tour

c'est l'angle de rotation qui correspond à une seule impulsion ; c'est donc la plus petite position angulaire détectée ; soit $\theta = \frac{360^\circ}{R}$ ou $\theta = \frac{2\pi}{R}$

Vitesse de rotation :

$N = 60 \cdot \frac{f}{R}$ (N en tr/min ; f : fréquence du signal de sortie)

Application 1 : détection de vitesse

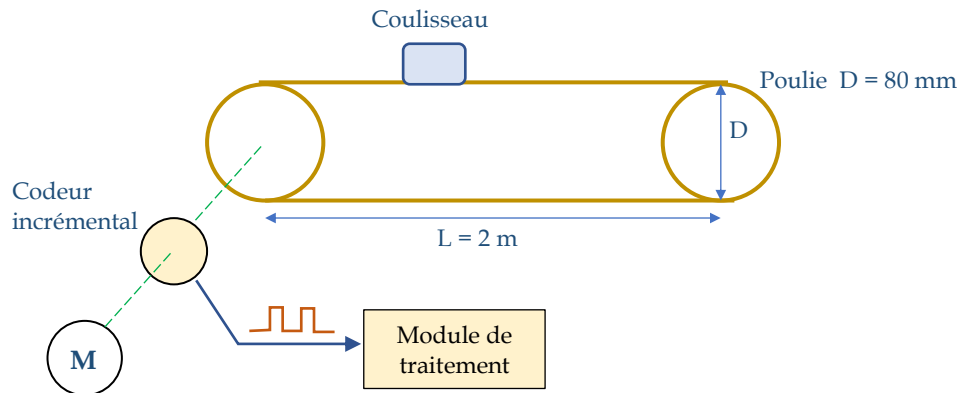
Principe : mesure de la fréquence des signaux émis par le codeur

Un codeur incrémental ayant une résolution de $R = 1000$ pts/tr, délivre un signal de fréquence $f = 25$ kHz.
Calculer sa vitesse de rotation

$$\text{on a } N = 60 \cdot \frac{f}{R} = 60 \cdot \frac{25 \times 10^3}{1000} = 1500 \text{ tr/min}$$

Application 2 : détection de position

Principe : comptage du nombre d'impulsions des signaux émis par le codeur

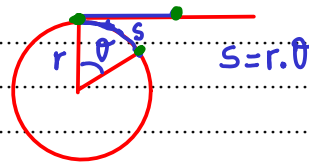


1. Calculer la précision angulaire θ du codeur sachant que sa résolution est $R = 126$ pts/tr.
En déduire la précision d du coulisseau (c'est-à-dire le déplacement qui correspond à une impulsion du codeur).
2. Combien d'impulsions devra-t-on compter pour la course maximale du coulisseau ?
3. Sur combien de bits sera codé, sur le module de traitement, le mot image de la position du coulisseau ?

$$1.- \text{Précision angulaire est } \theta = \frac{2\pi}{R} = \frac{2\pi}{126} = \frac{\pi}{63} \text{ rad.}$$

$$\text{on sait que } S = r \cdot \theta$$

$$\text{ici, } d = \frac{D}{2} \cdot \theta = \frac{80}{2} \cdot \frac{\pi}{63} = 2 \text{ mm}$$



2.- La course maxi. est $L = 2$ m ; le nombre d'impulsions correspondant est $\frac{L}{d} = \frac{2000}{2} = 1000$ impulsions.

3- Le nombre maxi. d'impulsions à compter est 1000.

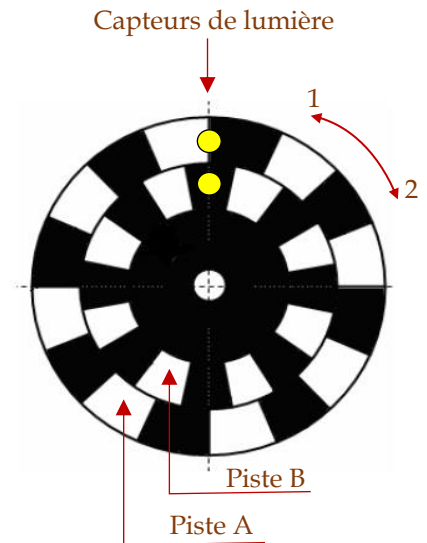
$$\text{on a } 2^9 = 512 < 1000 < 2^{10} = 1024$$

Donc, il faut 10 bits pour compter 1000 impulsions

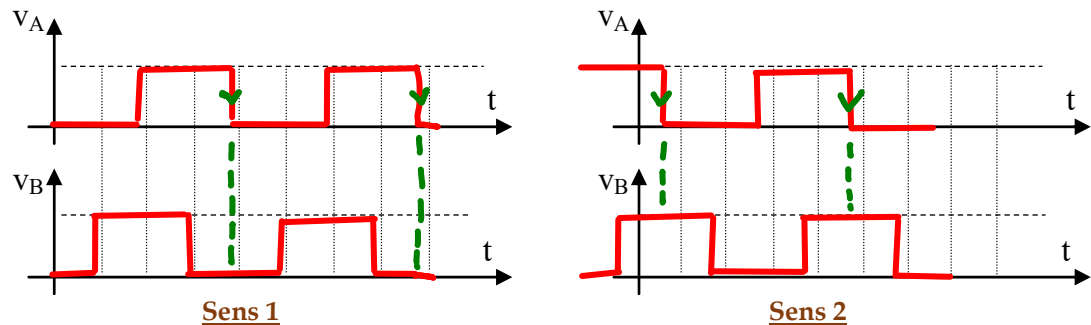
Application 3 : détection de sens de rotation

Principe : Analyse du déphasage entre les signaux des voies A et B

Le codeur est équipé de 2 pistes A et B décalées comme l'indique la figure. Chacune des pistes est dotée d'un capteur de lumière à base d'émetteur-récepteur.

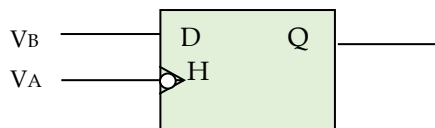


- Tracer l'allure des signaux v_A et v_B issus des capteurs A et B.



- On relie les 2 sorties v_A et v_B à une bascule D ; constater l'état de la sortie Q à chaque front descendant de l'horloge.

Rappel : pour une bascule D, à chaque front sur H, l'état de l'entrée D est transféré à la sortie Q.



	$V_A = H$	$V_B = D$	Q
Sens 1		0	0
Sens 2		1	1

- Conclure

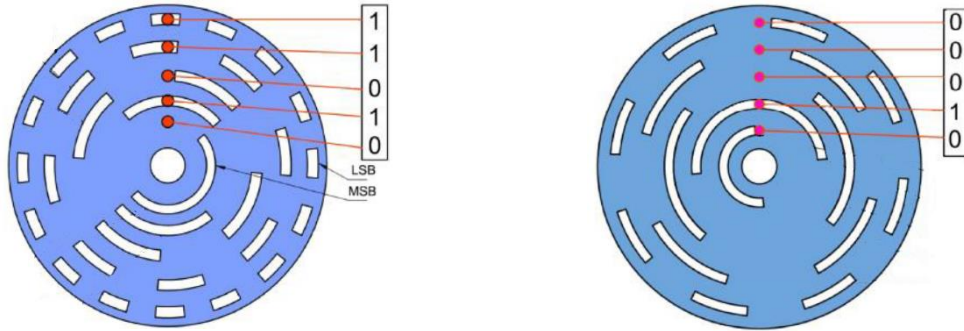
On obtient une information logique qui correspond au sens de rotation. En effet, la sortie Q se maintient toujours à :

- 0 pour le **premier sens**
- 1 pour le **deuxième sens**

2. Codeur absolu

Le codeur absolu génère le **code numérique** sur **n bits** correspondant à la **position** d'un mobile, moyennant :

- Un disque codé le plus souvent en Gray et comportant **n pistes** ;
- Un ensemble de **n capteurs** optiques (un capteur par piste).



Résolution :

$R = 2^n$ positions/tour (nombre de positions possibles)

Précision angulaire :

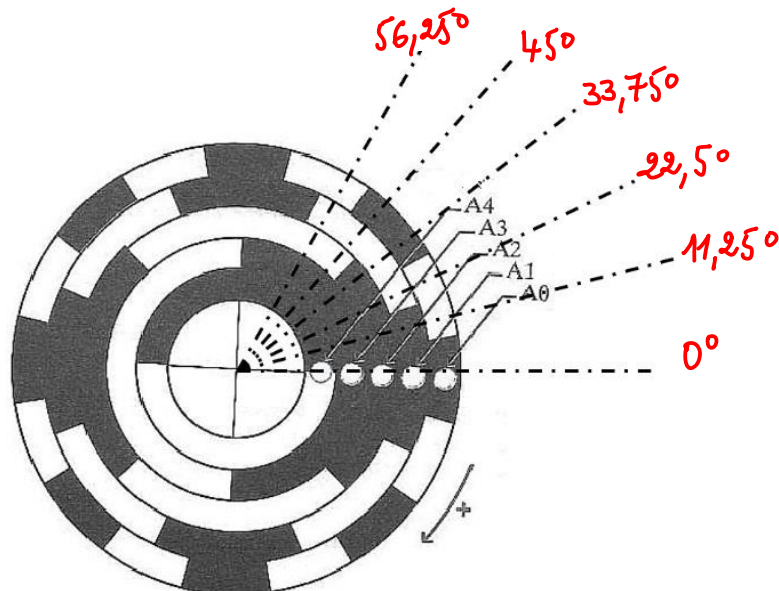
$\theta = \frac{360^\circ}{2^n}$ (angle qui provoque un changement du code de sortie)

Exercice

Pour le codeur absolu fourni ci-dessous, donner :

- Le nombre de pistes : **5**
- La résolution : **$R = 2^5 = 32$ positions/tour**
- La précision en degrés : **$\theta = \frac{360}{32} = 11,25^\circ$**
- Les codes numériques correspondant aux angles 22,5°, 45° et 46° :

Angle (°)	0	22,5	45	46
Sortie numérique	0 0 0 0 0	0 0 0 1 1	0 0 1 1 0	0 0 1 1 0

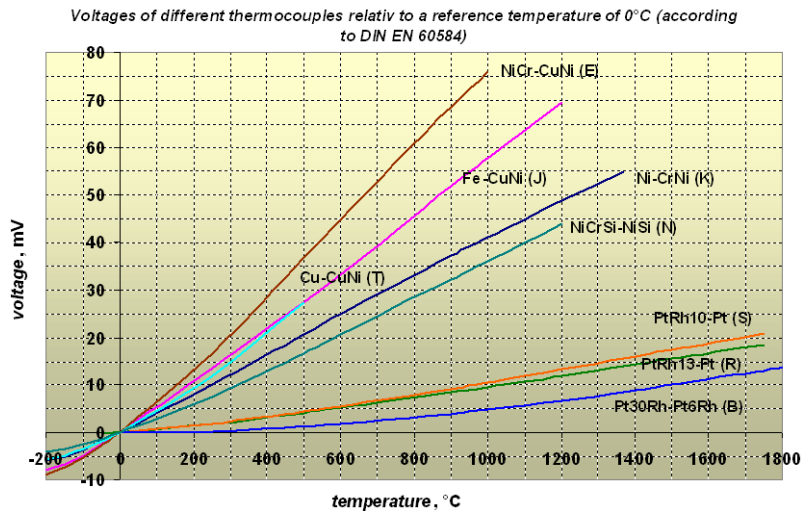
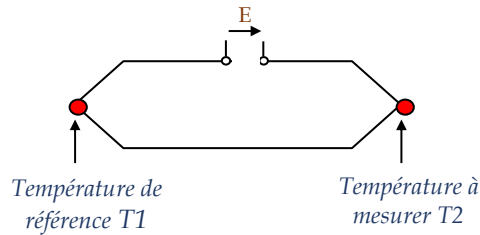


Capteurs analogiques

1. Capteur de température

⇒ Mesure par thermocouple

Un thermocouple est constitué de deux conducteurs de natures différentes reliés en 2 points.
Une f.é.m E , fonction de la différence des températures T_1 et T_2 , apparaît entre ces deux points.



⇒ Mesure par thermistance

Une thermistance est constituée d'un matériau semi-conducteur. Sa résistance varie en fonction de la température.

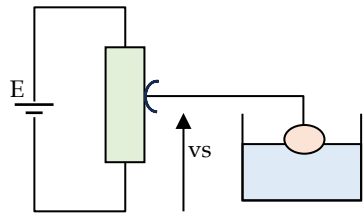
On distingue deux types de thermistances : les CTN et les CTP

- Les CTN (Coefficient de Température Négatif) sont des thermistances dont la résistance diminue de façon uniforme avec la température.
- Les CTP (Coefficient de Température Positif) sont des thermistances dont la résistance augmente fortement avec la température.

4. Capteur de déplacement ou de position

⇒ Capteur résistif linéaire ou angulaire

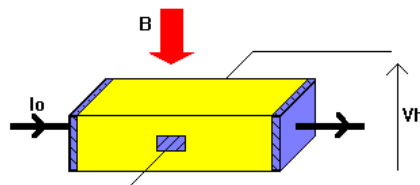
Essentiellement utilisé pour mesurer des déplacements linéaires ou angulaires (Jauge de carburant, niveau de cuve...), il utilise le principe du montage potentiométrique permettant d'obtenir une relation directe entre la tension de sortie v_s et le déplacement.



5. Effet Hall

Si un courant I_0 traverse un barreau conducteur immergé dans un champ magnétique B perpendiculaire à I_0 , une tension V_h dite de Hall, proportionnelle au champ magnétique et au courant I_0 , apparaît sur les faces latérales. Les capteurs à Effet Hall permettent de :

- Réaliser des capteurs de position et de vitesse sans contact, utilisés notamment dans l'automobile (boîte à vitesse, cardans,...) ;
- Mesurer les champs magnétiques (Teslamètres) ;
- Mesurer l'intensité des courants électriques (capteurs de courant à Effet Hall).



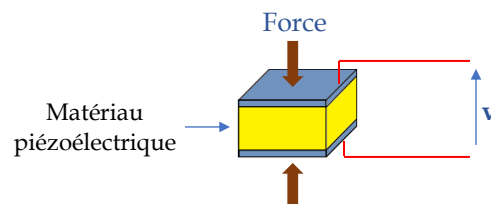
6. Piézoélectricité

La piézoélectricité est la propriété que possèdent certains corps de :

- Générer une tension sous l'action d'une contrainte mécanique ;
- Se déformer sous l'effet d'une tension électrique (effet piézoélectrique inverse).

Le plus connu des matériaux piézoélectriques est sans doute le quartz, toujours utilisé aujourd'hui dans les montres pour générer des impulsions d'horloge.

Application : capteur de pression, d'accélération, de force...



Exercices

Exercice 1 : examen national 2021, session normale

L'ADCP est équipé d'un capteur acoustique dit transducteur. Ce dernier émet des ondes ultrasons qui sont réfléchies sur des particules en suspension entraînées par le courant d'eau (Figure 14).

La différence en fréquence des signaux émis et reçu dépend de la vitesse des courants marins : c'est l'effet Doppler.

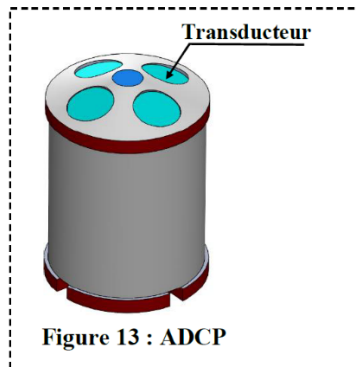


Figure 13 : ADCP

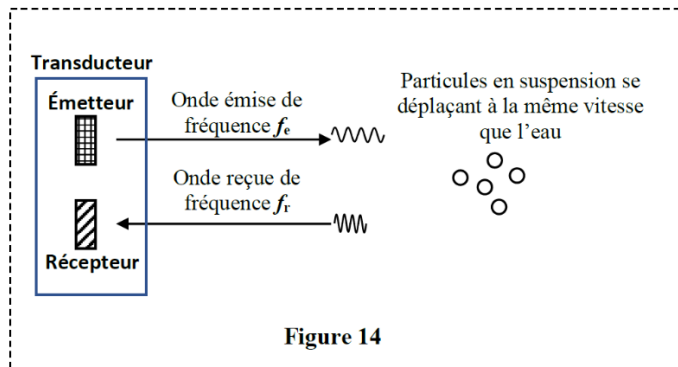


Figure 14

Le décalage Doppler $\Delta f = f_r - f_e$ (différence entre la fréquence f_r de l'onde reçue et la fréquence f_e de l'onde émise) est donné par la relation :

$$\Delta f = \frac{2 \cdot f_e \cdot V}{c}$$

Où : Δf : décalage Doppler (en **Hz**) ;

f_e : fréquence de l'onde émise (en **Hz**) ;

V : vitesse des courants marins (en **m/s**) ;

c : vitesse du son dans le milieu (en **m/s**).

La fréquence d'émission utilisée par le transducteur est $f_e = 150 \text{ kHz}$, ce dernier mesure un décalage Doppler $\Delta f = 300 \text{ Hz}$, on donne la vitesse du son dans le milieu $c = 1500 \text{ m/s}$:

Question : 30. calculer la vitesse V (en **m/s**) des courants marins.

1 pt

Question : 31. Calculer, en **kHz**, la fréquence f_r de l'onde reçue.

1 pt

Question : 32. Pour un décalage Doppler Δf positif, préciser, en se référant au **DRES 03**, le sens de déplacement des particules

1 pt

La vitesse du son dans l'eau de mer n'est pas constante mais dépend de certains paramètres ambiants dont la température.

Ainsi, il faut renseigner la température de l'eau afin d'en tenir compte.

On dit que le pont est en équilibre lorsque sa tension de sortie est nulle ($U = V_b - V_a = 0 \text{ V} \Rightarrow V_b = V_a$).

Question : 34. Calculer la valeur de R_2 pour que le pont soit équilibré à la température $T = 0^\circ \text{C}$.

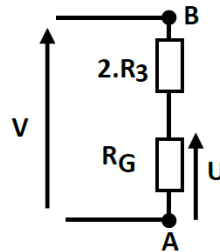
2 pts

Question : 35. Pour $R_2 = R_0$, calculer la valeur de la tension U (en mV) à $T = 25^\circ \text{C}$.

2 pts

Amplificateur d'instrumentation

La branche **AB** de l'amplificateur d'instrumentation peut être simplifiée comme le montre la figure suivante :



Question : 36. Montrer alors que $V = \left(1 + \frac{2.R_3}{R_G}\right) \cdot U$

1,5 pt

Question : 37. Dans le montage construit autour de l'amplificateur opérationnel A3, montrer que $V_s = V$ (remarquer que $V = V_2 - V_1$).

2 pts

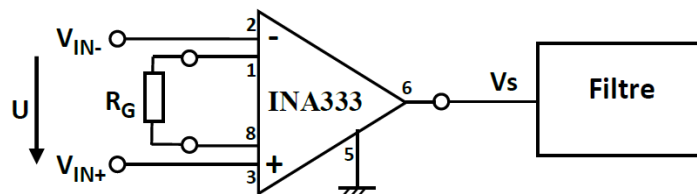
On admet que la caractéristique U en fonction de la température T peut être assimilée à une droite et a pour équation : $U = 1,12 \cdot 10^{-3} \cdot T$ (avec T en $^\circ \text{C}$ et U en Volt).

Question : 38. Montrer que l'expression de la tension de sortie V_s en fonction de la température T est

$$V_s = 1,12 \cdot 10^{-3} \cdot \left(1 + \frac{2.R_3}{R_G}\right) \cdot T$$

1,5 pt

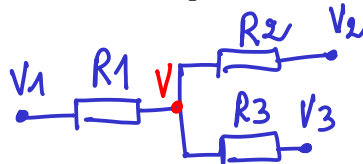
La réalisation matérielle de l'amplificateur d'instrumentation est confiée à l'amplificateur intégré INA333 conformément à la figure suivante :



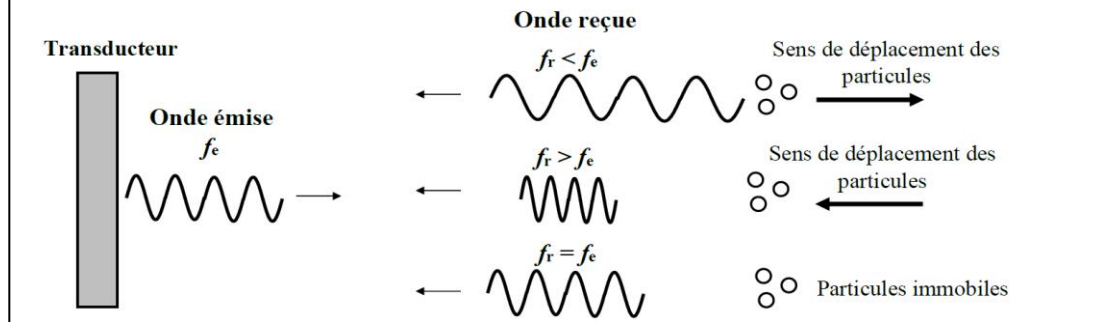
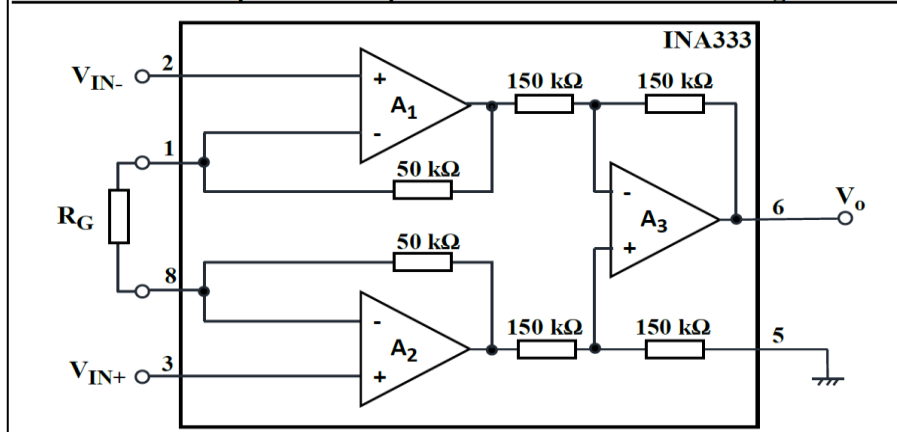
Question : 39. En se référant au schéma interne de l'amplificateur intégré **INA333** (**DRES 03**), relever la valeur de la résistance R_3 . En déduire la valeur à donner à la résistance R_G pour obtenir une tension $V_s = 5 \text{ V}$ à la température $T = 25^\circ \text{C}$.

2 pts

th. de Millman



$$V = \frac{\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

Fréquence de l'onde reçue**DRES 03**Schéma interne simplifié de l'amplificateur d'instrumentation intégré INA333

30/ on a $\Delta f = \frac{2 \cdot f_e \cdot V}{c} \Rightarrow V = \frac{c \cdot \Delta f}{2 \cdot f_e} = \frac{1500 \cdot 300}{2 \cdot 150 \cdot 10^3} = 1,5 \text{ m/s}$

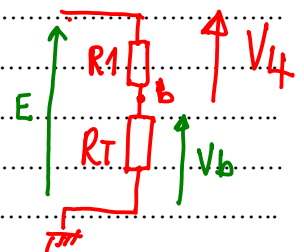
31/ on a $\Delta f = f_r - f_e \Rightarrow f_r = \Delta f + f_e = 300 \times 10^{-3} + 150 = 150,3 \text{ KHz}$

32/ $\Delta f > 0$ donc $f_r > f_e$ et selon DRES 03, les particules se rapprochent du capteur.

33/ Par diviseur de tension, $V_b = E \cdot \frac{R_T}{R_1 + R_T}$

De m, $V_a = E \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$

et $U = V_b - V_a = E \left(\frac{R_T}{R_1 + R_T} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$



34/ À l'équilibre $V_b = V_a \Rightarrow E \cdot \frac{R_T}{R_1 + R_T} = E \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$

$\Rightarrow \frac{R_T}{R_1 + R_T} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \Rightarrow R_T (R_1 + R_2) = R_2 (R_1 + R_T)$

$\Rightarrow R_T \cdot R_1 + R_T \cdot R_2 = R_2 \cdot R_1 + R_2 \cdot R_T \Rightarrow R_T \cdot R_1 = R_2 \cdot R_1 \Rightarrow R_2 = R_T$

à $T = 0^\circ\text{C}$, $R_T = R_0 + \alpha \cdot T = R_0$ donc $R_2 = R_0 = 100 \Omega$.

35/ on a $U = E \left(\frac{R_T}{R_1 + R_T} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$

à $T = 25^\circ\text{C}$, $R_T = R_0 + \alpha \cdot T = 100 + 0,385 \cdot 25 = 109,625 \Omega$

et $U = 5 \left(\frac{109,625}{1500 + 109,625} - \frac{100}{1500 + 100} \right) = 0,028 \text{ V} = 28 \text{ mV}$

36/ Par diviseur de tension, $U = V \cdot \frac{R_G}{R_G + 2R_3}$

$\Rightarrow V = \frac{U(R_G + 2R_3)}{R_G} = U \left(1 + \frac{2R_3}{R_G} \right)$

37/ Par diviseur de tension, $V^+ = V_2 \cdot \frac{R}{R + R} = \frac{V_2}{2}$

• Par le th. de Millman, $V^- = \frac{\frac{V_1}{R} + \frac{V_5}{R}}{\frac{1}{R} + \frac{1}{R}} = \frac{V_1 + V_5}{2}$

or $V^+ = V^- \Rightarrow \frac{V_2}{2} = \frac{V_1 + V_5}{2} \Rightarrow V_5 = V_2 - V_1 = V$

38/ Selon Q37 et Q36, $V_5 = V = \left(1 + \frac{2R_3}{R_G} \right) \cdot U = 1,12 \times 10^{-3} \left(1 + \frac{2R_3}{R_G} \right) \cdot T$

39/ Du DRES 03, on relève $R_3 = 50 \text{ k}\Omega$

ona $V_5 = 1,12 \times 10^{-3} \left(1 + \frac{2R_3}{R_G} \right) \cdot T \Rightarrow \frac{2R_3}{R_G} = \frac{V_5}{1,12 \times 10^{-3} \cdot T} - 1$

$\Rightarrow R_G = \frac{2R_3}{\frac{V_5}{1,12 \times 10^{-3} \cdot T} - 1} = \frac{2 \times 50 \times 10^3}{\frac{5}{1,12 \times 10^{-3} \cdot 25} - 1} = 563,15 \Omega$

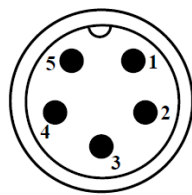
Exercice 2 : examen national 2021, session de rattrapage

Tâche 2 : Acquisition et conditionnement du signal

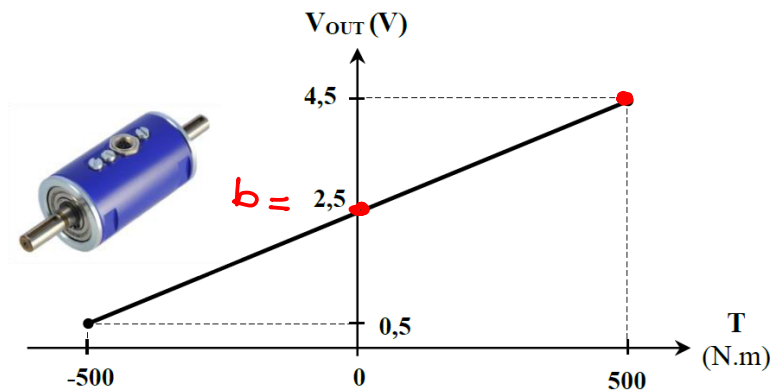
Le moteur **M3** du concasseur fournit un couple nominal T_N de **240 N.m**. Un capteur de couple mesure en permanence le couple T du moteur pour arrêter le concasseur en cas de surcharge ou de blocage des mâchoires de concassage.

Couplemètre SM 2200-500 de la série 2000 :

Le SM 2200-500 est un capteur de couple rotatif sans contact à électronique intégrée. Alimenté en **9-12V**, le SM 2200 délivre une sortie analogique de **0,5 à 4,5 V** lorsque le couple mesuré varie de **- 500 à +500 N.m**.



- 1- Supply voltage V_{CC} .
- 2- Signal output V_{OUT} .
- 3- Ground GND.
- 4- Not used.
- 5- Reference voltage V_{ref} .



Brochage et fonction de transfert du couplemètre

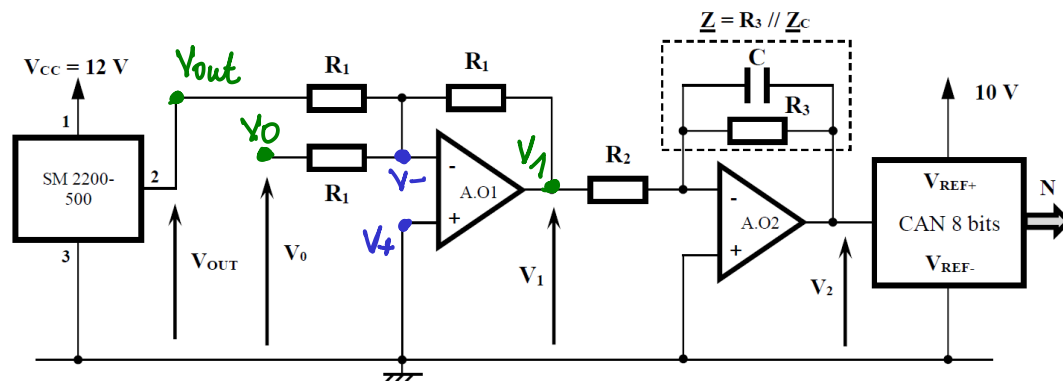
Q39- Calculer la sensibilité de ce capteur $s = \frac{\Delta V_{OUT}}{\Delta T}$ et préciser son unité. 1 pt

Q40- Donner alors l'expression de la tension V_{OUT} (en volt) en fonction du couple T (N.m). 1 pt

Conditionnement du signal :

La tension V_{OUT} image du couple moteur T à la sortie du couplemètre est conditionnée (décalage, amplification et filtrage) avant d'être numérisée par un convertisseur analogique numérique (CAN 8 bits).

Le circuit de conditionnement de la page 8 fournit une tension V_2 , proportionnelle à la tension V_{OUT} .



Les amplificateurs opérationnels sont supposés parfaits.

On donne :

- V_0 tension de référence continue.
- $C = 4,7 \mu\text{F}$, $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ et R_3 ajustée à $50 \text{ k}\Omega$

Le montage autour de l'AO1 permet de supprimer le décalage du zéro de la tension V_{OUT} ($V_{\text{OUT}} = 2,5 \text{ V}$ lorsque le couple $T = 0$).

Q41- Donner l'expression de la tension V_1 en fonction des tensions V_{OUT} et V_0 .

2 pts

Q42- On admet que $V_{\text{OUT}} = 4 \cdot 10^{-3} \cdot T + 2,5$, donner l'expression de la tension V_1 en fonction du couple T mesuré et calculer la valeur de V_0 pour avoir $V_1 = -4 \cdot 10^{-3} \cdot T$.

1,5 pt

39/ la sensibilité est $s = \frac{\Delta V_{\text{out}}}{\Delta T} = \frac{4,5 - 2,5}{500 - 0} = 4 \times 10^{-3} \text{ V/(N.m)}$

40/ V_{out} est de la forme $V_{\text{out}} = s \cdot T + b$

Graphiquement, on relève $b = 2,5 \text{ V}$

donc $V_{\text{out}} = 4 \times 10^{-3} \cdot T + 2,5$

41/ Il est clair que $V_+ = 0$

et, par le th. de Millman, $V_- = \frac{\frac{V_{\text{out}}}{R_1} + \frac{V_0}{R_1} + \frac{V_1}{R_1}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_1}}$

or $V_+ = V_- \Rightarrow \frac{V_{\text{out}}}{R_1} + \frac{V_0}{R_1} + \frac{V_1}{R_1} = 0 \Rightarrow \frac{V_{\text{out}} + V_0 + V_1}{R_1} = 0$

$\Rightarrow V_{\text{out}} + V_0 + V_1 = 0 \Rightarrow V_1 = -(V_{\text{out}} + V_0)$

42/ on a $V_1 = -(V_{\text{out}} + V_0)$ donc $V_1 = -(4 \cdot 10^{-3} \cdot T + 2,5 + V_0)$

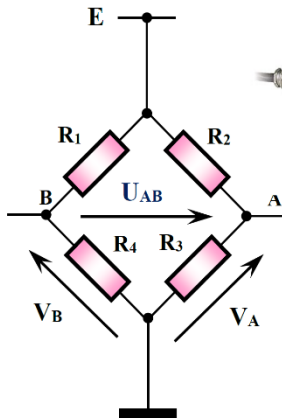
Pour avoir $V_1 = -4 \times 10^{-3} \cdot T$, il faut $2,5 + V_0 = 0$

$\Rightarrow V_0 = -2,5 \text{ V}$

Exercice 3 : examen national 2022, session normale**Tâche 1 : Acquisition et conditionnement du signal**

Pour contrôler la masse supportée par la cabine, on utilise un capteur de pesage en traction.

Le corps d'épreuve du capteur se déforme légèrement lorsqu'il est soumis à une charge et revient à sa position initiale quand cette charge est retirée. Ces déformations extrêmement faibles sont acquises par 4 jauges de contrainte R_1 , R_2 , R_3 et R_4 identiques montées en pont de Wheatstone.

Caractéristiques du capteur de poids

- Etendue de mesure : **1000 Kg**
- Tension d'alimentation max tolérée **15 V**.
- Sensibilité $s = 2 \text{ mV/V}$ (en pleine charge $m = 1000 \text{ Kg}$).
- Charge statique maximale (% sur la pleine échelle) **150 %**.
- Charge de rupture (% sur la pleine échelle) **300 %**.
- Résistance au repos $R = 350 \Omega$.
- R_1 et R_3 des jauges qui travaillent en extension, avec : $R_1 = R_3 = R + \Delta R$
- R_2 et R_4 des jauges qui travaillent en compression, avec : $R_2 = R_4 = R - \Delta R$

Étude du capteur :

- La variation relative $\frac{\Delta R}{R}$ de la résistance d'une jauge est liée à la masse m par la relation : $\frac{\Delta R}{R} = K.m$.
- La tension de déséquilibre du pont de Wheatstone U_{AB} est liée à la variation ΔR par la relation : $U_{AB} = E \cdot \frac{\Delta R}{R}$.
- En pleine charge ($m = 1000 \text{ Kg}$), la sensibilité du capteur $s = \frac{U_{AB}}{E} = 2 \text{ mV/V}$.
- Tension d'alimentation du pont $E = 10 \text{ V}$.

Q.36 - Donner la valeur numérique de la tension U_{AB} en pleine charge.

1,5 pt

Q.37 - Calculer le coefficient K et préciser son unité.

1,5 pt

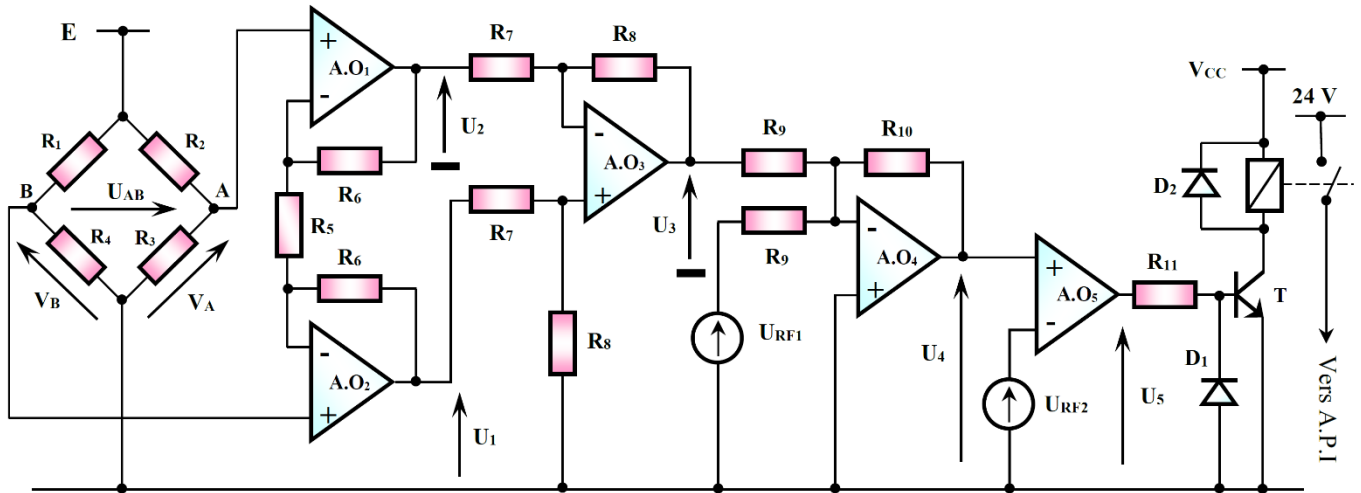
Q.38 - Exprimer la tension U_{AB} en fonction de la masse m .

1,5 pt

Q.39 - Déterminer en Kg la charge statique C_s maximale supportée par le capteur, et sa charge de rupture C_R minimale.

2 pts

Le montage ci-dessous représente le circuit de conditionnement du signal U_{AB} permettant d'informer l'A.P.I en cas de surcharge.



Les amplificateurs opérationnels sont supposés parfaits avec $\pm V_{SAT} = \pm V_{CC} = \pm 15 \text{ V}$.

Étude du conditionneur :

La tension de déséquilibre U_{AB} est amplifiée et mise en forme avant d'être utilisée par l'A.P.I. Pour cela, on utilise un amplificateur (montage autour de AO1, AO2, AO3 et AO4) associé à un comparateur à seuil (montage autour de AO5).

Q.40 - Pour le montage autour de AO3, montrer que $U_3 = \frac{R_8}{R_7} \cdot (U_1 - U_2)$.

2 pts

On donne :

- $R_8 = R_7$;
- $U_1 = 51 \cdot V_B - 50 \cdot V_A$;
- $U_2 = 51 \cdot V_A - 50 \cdot V_B$.

Q.41 - Donner l'expression de U_3 en fonction de U_{AB} , puis en fonction de la masse m (cabine + charge).

2 pts

Q.42 - Pour le montage autour de AO4, montrer que $U_4 = -\frac{R_{10}}{R_9} \cdot (U_3 + U_{RF1})$.

2 pts

On donne :

- $U_3 = -2,02 \cdot 10^{-3} \cdot m$;
- $m = m_0 + m_C$, avec :
 - ✓ $m_0 = 200 \text{ Kg}$: masse de la cabine vide ;
 - ✓ m_C : masse de la charge transportée ;
 - ✓ m : masse totale (cabine + charge).
- U_{RF1} tension continue de référence ($U_{RF1} = 0,404 \text{ V}$).

Q.43 - Montrer alors que $U_4 = 2,02 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{R_{10}}{R_9} \cdot m_C$.

1 pt

Q.44 - On veut que U_4 soit égale à 5 V lorsque $m_C = 800 \text{ kg}$, déterminer alors la valeur de R_{10} , sachant que $R_9 = 22 \text{ k}\Omega$.

1,5 pt

Voir la correction sur la page
www.albawaba.ma/2ste

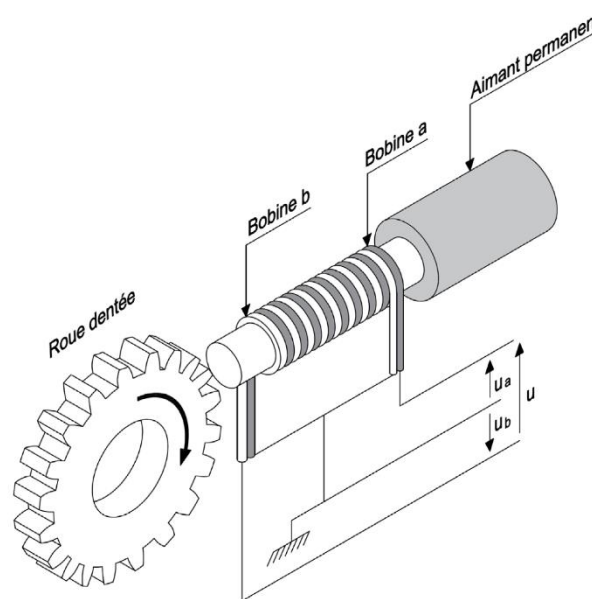
Exercice 4 : examen national 2022, session de rattrapage**Tâche 1 : Acquisition de la vitesse du moteur d'entraînement du bac**

La vitesse de rotation du moteur d'entraînement est surveillée en permanence au cours du déplacement du bac. Le prélèvement de la vitesse est réalisé par un capteur inductif monté sur l'arbre de sortie du moteur.

⇒ **Capteur de vitesse inductif** (figure ci-dessous)

Le capteur intègre deux bobines soumises à l'action du champ magnétique d'un aimant permanent. L'ensemble est placé devant une roue dentée qui, en tournant, module le flux magnétique dans les bobines.

La variation de flux engendre deux tensions u_a et u_b en opposition de phase. Le capteur fournit une tension de sortie différentielle $u = u_a - u_b$; cela le rend moins sensible aux signaux parasites.

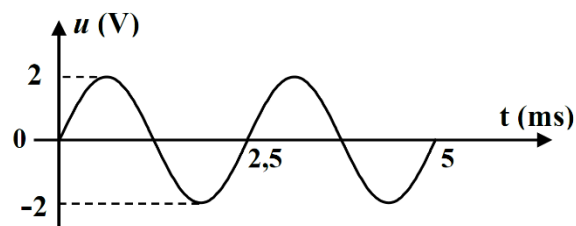


La fréquence f de la tension u est proportionnelle à la vitesse de rotation n :

$$f = \frac{n}{60} \cdot Z \quad \text{avec :} \quad \begin{array}{l} f : \text{fréquence du signal de sortie du capteur (en Hz)} ; \\ n : \text{vitesse de la roue dentée (en tr/min)} ; \\ Z : \text{nombre de dents de la roue.} \end{array}$$

Q.33) On donne $Z = 20$ dents ; calculer la valeur de la fréquence f (en Hz) qui correspond à une vitesse de rotation du moteur $n = 1475$ tr/min. **1 pt**

Un relevé de la sortie u issue du capteur a donné l'oscillogramme suivant :



Q.34) Calculer la vitesse de rotation n (en **tr/min**) qui correspond à cet oscillogramme ;

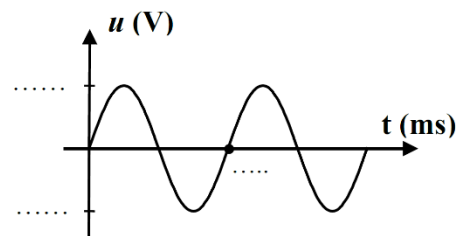
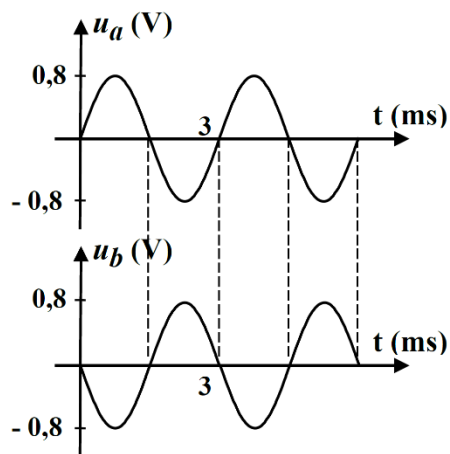
1,5 pt

Q.35) Pour les signaux u_a et u_b proposés, compléter les trois valeurs manquantes du signal $u(t)$.

1,5 pt

Voir la correction sur la page
www.abawaba.ma/2ste

Q.35)



Exercice 5 : examen national 2023, session normale

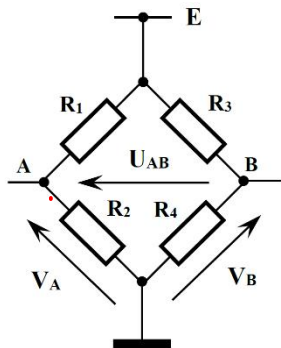
Tâche 2 : Acquisition, adaptation et conditionnement du signal

Le moteur utilisé dans l'escalier fournit un couple nominal C_N de **72,2 N.m**. La mesure du couple permet de vérifier la puissance réelle du moteur.

Le système de sécurité contrôle en permanence le couple moteur pour arrêter l'escalier en cas de surcharge ou de blocage.

Acquisition du couple moteur (couplemètre DM-DR1) :

Ce couplemètre est un capteur de couple à jauges extensométriques inséré sur l'arbre, entre le moteur et la charge à entraîner. Il est constitué d'un barreau cylindrique sur lequel sont collées quatre jauges métalliques identiques.



- ✓ Etendu de mesure : 160 N.m (E.M)
- ✓ Sensibilité : 2 mV/V
- ✓ Résistance du pont : 350 Ω
- ✓ Grande précision : 0,1% de l'E.M
- ✓ Couple ultime minimal de rupture : 250% de l'E.M

Les paires de jauges sont diamétralement opposées de telle sorte qu'une torsion du barreau, proportionnelle au couple exercé sur l'arbre, entraîne une variation symétrique de leurs résistances respectives :

$$R_1 = R_4 = R - \Delta R \text{ et } R_2 = R_3 = R + \Delta R$$

- R est la résistance au repos ($R = 350 \Omega$) ;
- ΔR est la variation de résistance proportionnelle au couple à mesurer C_u selon la relation $\frac{\Delta R}{R} = K \cdot C_u$.
- Les quatre jauges sont interconnectées en pont de Wheatstone qui est alimenté en continu sous la tension $E = 10 \text{ V}$.

Q.31-Exprimer les tensions V_A et V_B en fonction de E , R et ΔR .

2 pts

Q.32-Montrer alors que la tension de déséquilibre U_{AB} s'écrit sous la forme : $U_{AB} = E \cdot \frac{\Delta R}{R}$.

1 pt

En pleine charge ($C_u = 160 \text{ N.m}$), la valeur numérique de la tension de déséquilibre est : $U_{AB} = 20 \text{ mV}$.

Q.33-Mettre l'expression de U_{AB} sous la forme $U_{AB} = a \cdot C_u$. Calculer alors, la valeur du coefficient a en précisant son unité.

2 pts

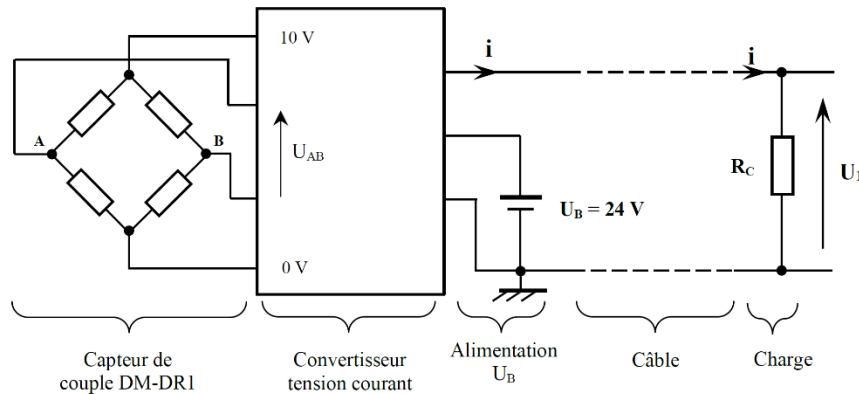
Q.34-Déterminer C_r le couple ultime minimal de rupture en **N.m**.

1 pt

Adaptation du signal :

Le capteur de couple DM-DR1 est relié à un convertisseur tension-courant délivrant un courant d'intensité qui varie linéairement avec le couple.

La figure ci-dessous représente le câblage du capteur associé au convertisseur tension-courant.



On a branché une résistance de charge R_C de 180Ω dans la boucle de courant.

On donne l'expression du courant i (mA) en fonction du couple C_u (N.m) : $i = 0,16.C_u + 4$

Q.35- Donner l'expression de la tension U_1 (mV) en fonction du couple C_u (N.m).

1,5 pt

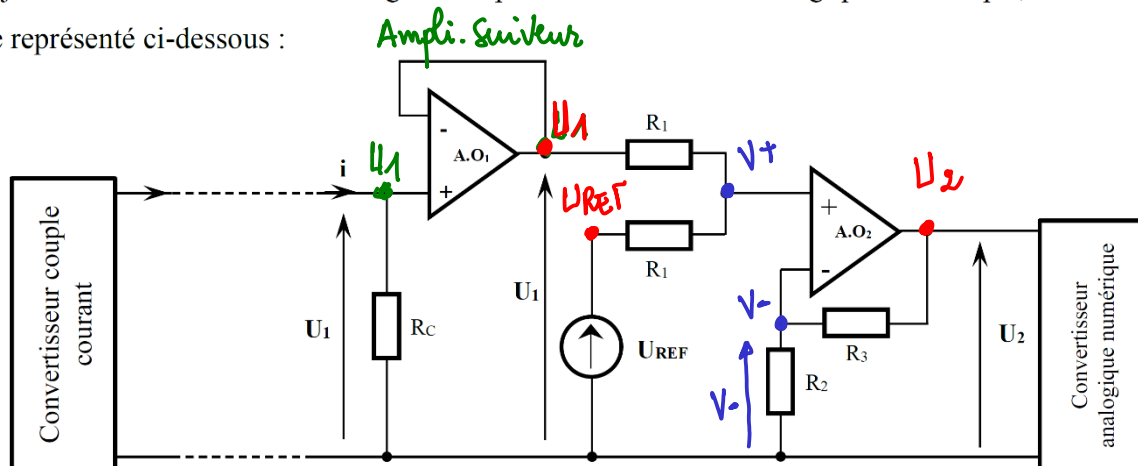
Q.36- En déduire la sensibilité s du montage et donner son unité.

1,5 pt

Amplification et décalage du signal analogique U_1 :

Le signal U_1 image du couple C_u , doit être numérisé par un convertisseur analogique numérique (CAN). Le signal à l'entrée du CAN doit être compris entre 0 et 5 V, lorsque le couple C_u varie de 0 à 100 N.m.

L'objectif est de conditionner le signal U_1 pour la conversion analogique numérique, alors on utilise le montage représenté ci-dessous :



Les amplificateurs opérationnels sont supposés parfaits.

On donne :

- U_{REF} tension continue, avec $U_{REF} = -0,72$ V.
- U_1 (V) = $29.10^{-3}. C_u + 0,72$.

Q.37- Donner l'expression de U_2 en fonction de U_1 , U_{REF} , R_2 et R_3 .

3 pts

Q.38- En déduire l'expression de U_2 en fonction du couple moteur C_u .

1 pt

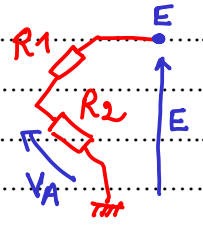
Q.39- On veut que U_2 soit égale à 5 V pour $C_u = 100$ N.m pour exploiter toute l'échelle du CAN, calculer alors la résistance R_3 , sachant que $R_2 = 3,3$ K Ω .

1,5 pt

31/ Par diviseur de tension,

$$V_A = E \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = E \cdot \frac{R + \Delta R}{R - \Delta R + R + \Delta R} = E \cdot \frac{(R + \Delta R)}{2R}$$

$$V_B = E \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4} = \frac{E(R - \Delta R)}{R + \Delta R + R - \Delta R} = \frac{E(R - \Delta R)}{2R}$$



32/ on a $U_{AB} = V_A - V_B = \frac{E(R + \Delta R)}{2R} - \frac{E(R - \Delta R)}{2R}$

$$U_{AB} = \frac{E}{2R} (R + \Delta R - R + \Delta R) = E \cdot \frac{\Delta R}{R}$$

33/ on a $U_{AB} = E \cdot \frac{\Delta R}{R}$ et $\frac{\Delta R}{R} = K \cdot \epsilon$ donc $U_{AB} = E \cdot K \cdot \epsilon = \alpha \cdot \epsilon$

donc $U_{AB} = \alpha \cdot \epsilon$ et $\alpha = \frac{U_{AB}}{\epsilon} = \frac{20}{160} = 0,125 \text{ mV}/(\text{Nm})$

34/ on a $\epsilon = 250\% \cdot EM = \frac{250}{100} \times 160 = 400 \text{ Nm}$

35/ Loi d'Ohm, $U_1 = R_c \cdot i = \underbrace{180}_{\Omega} \cdot (\underbrace{0,16 \times \epsilon}_{\text{mA}} + \underbrace{4}_{\text{mA}}) = \underbrace{28,8 \cdot \epsilon}_{\text{mV}} + \underbrace{720}_{\text{mV}} \text{ (mV)}$

36/ D'après Q35, la sensibilité est $s = 28,8 \text{ mV}/(\text{Nm})$

37/ Par diviseur, $V^- = U_2 \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_3}$

Par Ph. Millman, $V^+ = \frac{\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_{REF}}{R_1}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_1}} = \frac{U_1 + U_{REF}}{2}$

or $V^+ = V^-$

$$\Rightarrow U_2 \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_3} = \frac{U_1 + U_{REF}}{2} \Rightarrow U_2 = \frac{(R_2 + R_3)(U_1 + U_{REF})}{2R_2}$$

38/ on a $U_1 = 29 \cdot 10^{-3} \cdot \epsilon + 0,72$ et d'après Q37,

$$U_2 = \frac{(R_2 + R_3)}{2R_2} (29 \cdot 10^{-3} \cdot \epsilon + 0,72 - 0,72) = 29 \cdot 10^{-3} \frac{(R_2 + R_3)}{2R_2} \cdot \epsilon$$

39/ on a $U_2 = 29 \cdot 10^{-3} \frac{(R_2 + R_3)}{2R_2} \cdot \epsilon \Rightarrow R_3 = \frac{2R_2 \cdot U_2}{29 \cdot 10^{-3} \cdot \epsilon} - R_2$

$$R_3 = R_2 \left(\frac{2U_2}{29 \cdot 10^{-3} \cdot \epsilon} - 1 \right) = 3,3 \times 10^3 \left(\frac{2 \cdot 5}{29 \cdot 10^{-3} \times 100} - 1 \right) = 8079,3 \Omega$$

Exercice 6 : examen national 2023, session de rattrapage**⇒ Acquisition du taux d'oxygène dissous**

L'oxygène dissous dans l'eau du bassin d'aération est mesuré à l'aide d'une sonde oxygène dont voici un extrait de ses caractéristiques techniques :

Sonde pour oxygène dissous	
Précision de mesure	$\pm 0,1$ mg/L (milligrammes par litre)
Tension d'alimentation	18 ... 30 V DC
Signal de sortie	4-20 mA correspondant à la plage de mesure
Principe de mesure	Optique
Plage de mesure	0,1 ... 20 mg/L



Q.31) À partir de la fiche technique du capteur, ci-dessus, compléter le tableau.

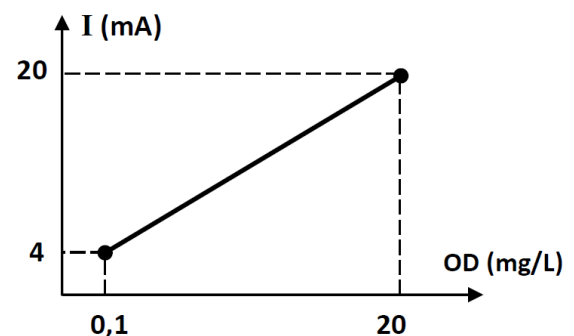
2 pts

La sortie **4-20 mA** présente l'avantage de maintenir la précision malgré les chutes de tension dues aux résistances des fils de liaison.

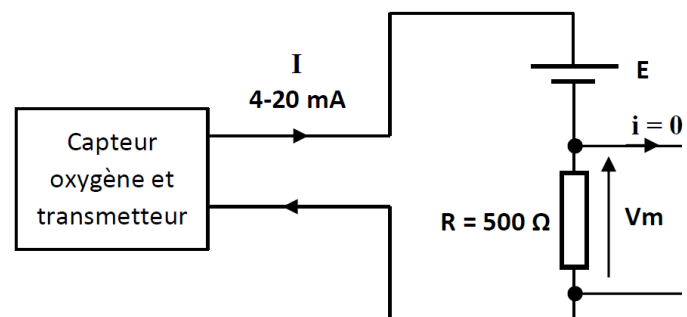
La courbe ci-contre est la caractéristique de transfert **I** en fonction de l'oxygène dissous **OD** du capteur

On note que la courbe a pour équation : $I = a \cdot OD + 3,92$

(**OD** en **mg/L** et **I** en **mA**)



Le schéma ci-contre est d'un montage typique de conversion du courant **I** délivré par le capteur en une tension **V_m**.



Q.32) Pour une consigne typique d'oxygène dissous **OD = 2 mg/L**, calculer l'intensité du courant **I** délivrée par le capteur.

1,5 pt

Q.33) En déduire la tension **V_m** correspondante

1 pt

Grandeur mesurée	Oxygène dissous		
Étendue de mesure	0,1 à 20 mg/L		
Grandeur de sortie	☐ Tension	☒ Courant	☐ Impédance
Nature de la sortie	☒ Analogique	☐ Numérique	☐ TOR

$$32/ a = \frac{\Delta I}{\Delta OD} = \frac{20 - 4}{20 - 0,1} = 0,8 \text{ mA}/(\text{mg/L})$$

$$\text{en a } I = a \cdot OD + 3,92 = 0,8 \cdot 2 + 3,92 = 5,52 \text{ mA}$$

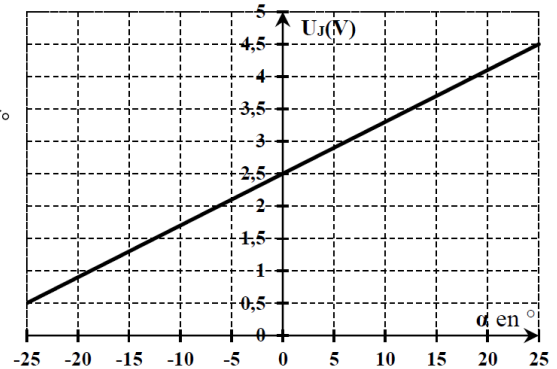
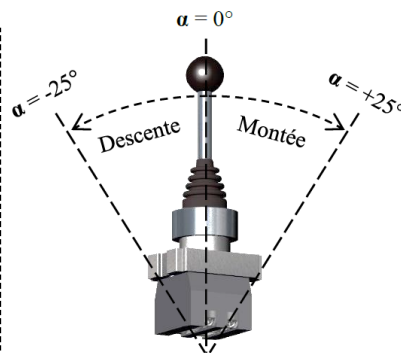
$$33/ V_m = RI = 500 \times 5,52 \times 10^{-3} = 2,76 \text{ V}$$

Exercice 7 : examen national 2024, session normale**Tâche 2 : Acquisition de la position du manche de la manette de commande du crochet**

La montée ou la descente du crochet est commandée par l'opérateur grâce à une manette industrielle : plus le manche de la manette est poussé vers l'extrémité plus la vitesse du moteur augmente.

La manette de pilotage du crochet (Joystick **J1**) est de type analogique. Alimentée en **5 V**, elle délivre une sortie analogique **U_J** de **0,5 à 4,5 V** lorsque la position du manche **α** varie de **- 25° à + 25°**.

- **$\alpha = 0^\circ$** : manche de la manette en position médiane (manche relâché).
- **$\alpha = + 25^\circ$** : manche de la manette à l'extrémité avant.
- **$\alpha = - 25^\circ$** : manche de la manette à l'extrémité arrière.



Fonction de transfert de la manette : $U_J = f(\alpha)$

Q.40- Calculer la sensibilité de ce capteur $s = \frac{\Delta U_J}{\Delta \alpha}$ et préciser son unité, en déduire l'expression de la tension U_J (en Volt) en fonction de la position du manche α (en °).

2 pts

ADAPTATION DU SIGNAL ISSU DU JOYSTICK

Le signal **U_J**, à la sortie de la manette, est numérisé par un convertisseur analogique numérique (CAN interne du PIC 16F876). Le signal à l'entrée du CAN doit être compris entre **0** et **5 V**, lorsque la position du manche de la manette **α** varie de **- 25° à + 25°**.

Tâche 3 : Étude du circuit de décalage du signal U_J

L'objectif est de conditionner le signal **U_J** pour exploiter toute l'échelle du convertisseur analogique numérique, alors on utilise le montage autour de l'amplificateur **AO2** représenté sur le document **DRES 03**.

Q.41- Donner l'expression de **U_S** en fonction de **U_J**, **U_d**, **R₂** et **R₃**. En déduire que l'expression de **U_S** en fonction de la position **α** du manche de la manette s'écrit : $U_S = \frac{R_3 + R_2}{2 \cdot R_2} \cdot (0,08 \cdot \alpha + U_d + 2,5)$.

3 pts

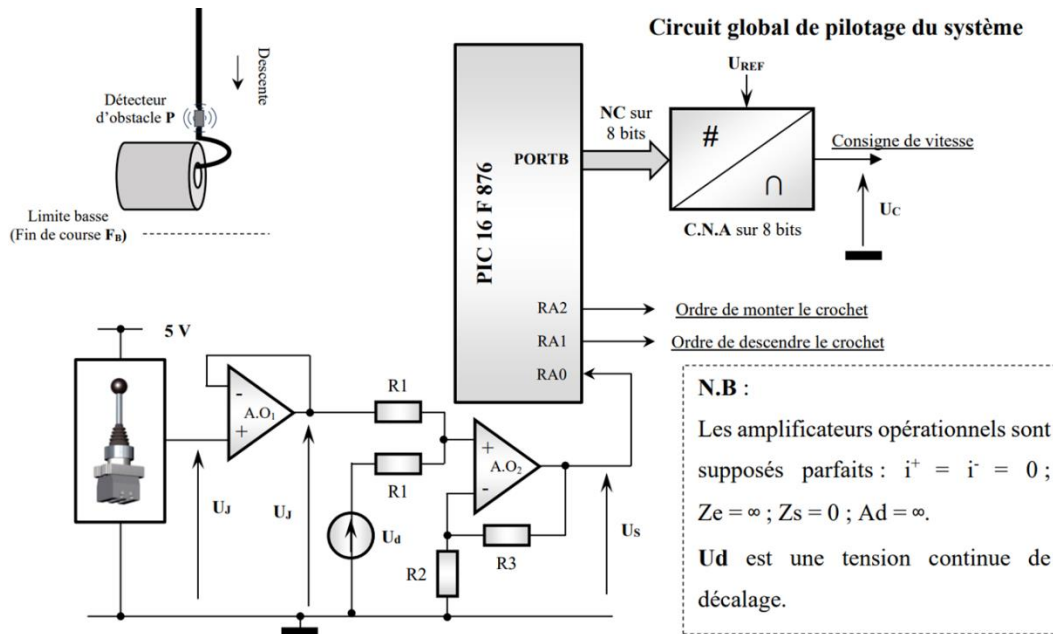
Q.42- Pour **$\alpha = - 25^\circ$** , calculer la valeur de la tension **U_d** pour avoir **U_S = 0 V**.

1,5 pt

Q.43- Sachant que **R₂ = 22 kΩ** et $U_S = \frac{R_3 + R_2}{2 \cdot R_2} \cdot (0,08 \cdot \alpha + 2)$, calculer la valeur de la résistance **R₃** pour avoir

U_S = 5 V pour **$\alpha = + 25^\circ$** .

1,5 pt



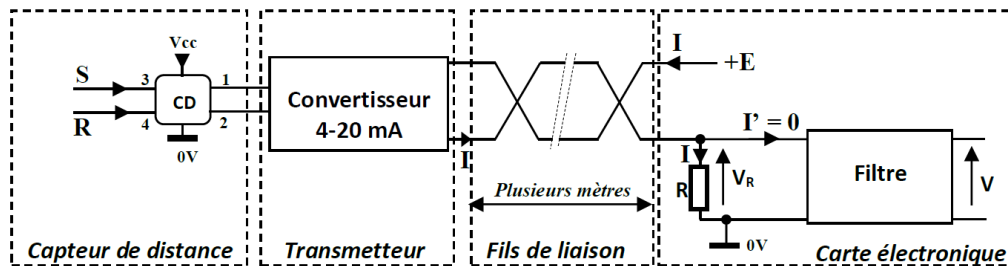
Voir la correction sur la page
www.albanaba.ma/2ste

Exercice 8 : examen national 2024, session de rattrapage

Le capteur de distance (CD) a une étendue de mesure de **0 à 4800 mm**. Il est situé assez loin de l'armoire de commande contenant l'ensemble de l'appareillage ainsi que les cartes électroniques.

Pour éliminer l'effet négatif de la chute de tension due à la longueur importante des câbles, on utilise un transmetteur de type « **4-20 mA** ».

Le schéma de principe du transmetteur est donné ci-dessous.



Le capteur analogique de distance **CD**, qui mesure la longueur du tube à découper, possède six bornes : deux sorties pour la mesure, deux entrées **S** et **R** (**S** : lancement de la mesure ; **R** : réinitialisation de la mesure) et deux bornes d'alimentation **Vcc** et **0 V**.

Tâche 1 : Étude du transmetteur

Le transmetteur comporte un convertisseur qui génère un courant **I** analogique, image de la longueur mesurée, qui varie entre **4 mA** et **20 mA** :

- **I = 4 mA** pour la première valeur de l'échelle de mesure (**L = 0 mm**)
- **I = 20 mA** pour la dernière valeur de l'échelle de mesure (**L = 4800 mm**).

Le courant **I** varie entre **4** et **20 mA** en fonction de la longueur **L** suivant la relation : $I = a.L + b$.

Q35. Calculer les valeurs de **a** (sous forme d'une fraction) et de **b** en précisant leurs unités.

2 pts

Q36. Exprimer V_R (en **V**) en fonction de **R** (en Ω) et **L** (en **mm**).

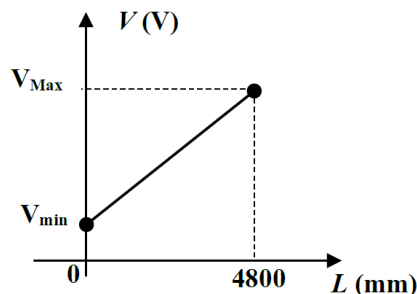
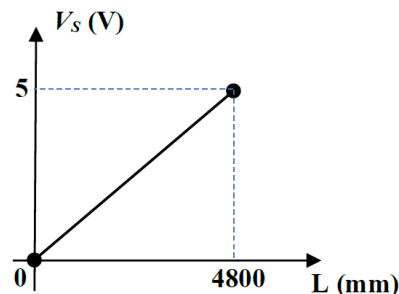
2 pts

Q37. Calculer les valeurs des tensions V_{Rmin} et V_{Rmax} de V_R pour **R = 275 Ω** .

1 pt

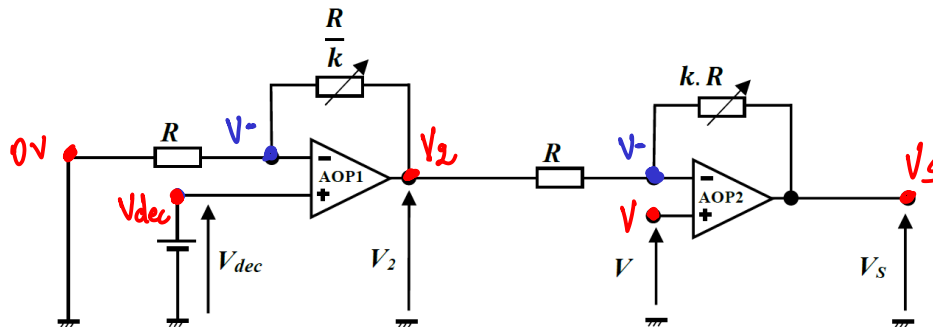
Pour un traitement ultérieur, on est amené à adapter le signal **V** de façon à obtenir une tension **V_S** de **0 V** lorsque la distance mesurée est de **0 mm** et de **5 V** lorsque la distance mesurée est de **4800 mm**.

Les courbes ci-dessous représentent la réponse du capteur avant et après adaptation du signal.

Réponse avant adaptationRéponse après adaptation

Tâche 3 : Étude du circuit d'adaptation

Pour adapter la tension V , on l'applique au circuit électronique ci-dessous, construit autour de deux amplificateurs opérationnels (AOP) considérés parfaits. La tension V_{dec} est une tension continue de décalage.



Q42. Exprimer la tension V_2 en fonction de V_{dec} .

1 pt

Q43. Exprimer la tension V en fonction de V_2 et V_S .

1 pt

Q44. Montrer que $V_S = (1 + k) \cdot (V - V_{dec})$.

2 pts

Q45. Pour $V_{dec} = 1,1 \text{ V}$, calculer la valeur de k (à $\frac{1}{1000}$ près) pour obtenir l'adaptation désirée.

2 pts

$$35/ a = \frac{\Delta I}{\Delta L} = \frac{20 - 4}{4800 - 0} = \frac{1}{300} \text{ mA/mm}$$

$$\text{ona } I = aL + b ; \text{ pour } L = 0 \text{ mm}, I = 4 \text{ mA} \text{ donc } b = 4 \text{ mA}$$

$$36/ V_R = RI = R(aL + b) = R\left(\frac{L}{300} + 4\right) \quad (\text{en mV})$$

$$\text{et } V_R = R\left(\frac{L}{300} + 4\right) \times 10^{-3} \quad (\text{en V})$$

$$37/ V_{R_{\min}} = RI_{\min} = 275 \times 4 \times 10^{-3} = 1,1 \text{ V}$$

$$V_{R_{\max}} = R \cdot I_{\max} = 275 \times 20 \times 10^{-3} = 5,5 \text{ V}$$

$$42/ \text{ona } V_+ = V_{dec} ; \text{ Millman} \rightarrow V_- = \frac{\frac{0}{R} + \frac{V_2}{R/k}}{\frac{1}{R} + \frac{1}{R/k}} = \frac{\frac{KV_2}{R}}{\frac{1}{R} + \frac{k}{R}} = \frac{KV_2}{1+k}$$

$$\text{or } V_+ = V_- \Rightarrow V_{dec} = \frac{KV_2}{1+k} \Rightarrow V_2 = \frac{(1+k)}{k} \cdot V_{dec}$$

$$43/ \text{ona } V_+ = V ; \text{ Par Millman, } V_- = \frac{\frac{V_2}{R} + \frac{V_S}{kR}}{\frac{1}{R} + \frac{1}{kR}} = \frac{\frac{KV_2 + V_S}{k}}{\frac{1}{R} + \frac{1}{kR}}$$

$$\text{or } V_+ = V_- \Rightarrow V = \frac{KV_2 + V_S}{1+k}$$

$$44/ \text{D'après Q43, } V_S = (1+k) \cdot V - kV_2 = (1+k)V - k \cdot \frac{(1+k)}{k} \cdot V_{dec}$$

$$\Rightarrow V_S = (1+k)(V - V_{dec})$$

2

FILTRAGE ANALOGIQUE**Généralités**

La fonction filtrage consiste à atténuer les signaux de fréquences indésirables.

L'intervalle des fréquences autorisées par le filtre s'appelle bande passante.

On distingue :

- Les filtres **passifs** : constitués seulement de dipôles passifs (résistances, condensateurs, bobines) ;
- Les filtres **actifs** : constitués de dipôles passifs et de dipôles actifs (amplificateurs opérationnels, transistors...).

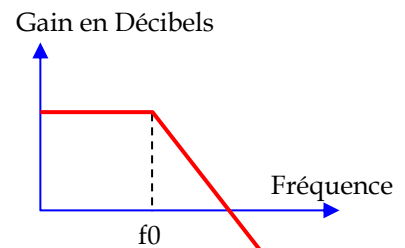
Les filtres actifs ont l'avantage de :

- Avoir des caractéristiques indépendantes de la charge ;
- Avoir une amplification possible dans la bande passante.

1. Types de filtres

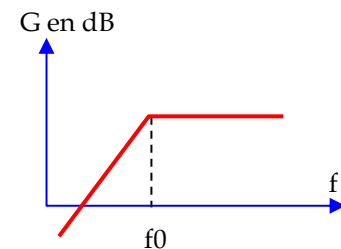
⇒ Filtre passe-bas

Laisse passer les signaux de fréquence **inférieure** à une fréquence déterminée **f₀** dite **fréquence de coupure**.



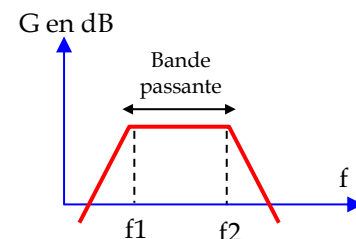
⇒ Filtre passe-haut

Laisse passer les signaux de fréquence **supérieure** à sa fréquence de coupure **f₀**.



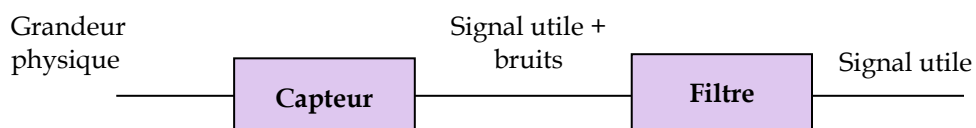
⇒ Filtre passe-bande

Laisse passer les signaux de fréquence **comprise** entre ses deux fréquences de coupure **f₁** et **f₂**.



Parmi les principales applications des filtres, on peut citer :

- Extraire la valeur moyenne d'un signal périodique par un passe-bas ;
- Changer la tonalité d'un son (éliminer les sons aigus par un passe-bas, éliminer les sons graves par un passe-haut) ;
- Sélectionner une fréquence ou une bande de fréquence par un passe-bande (télévision, radio...).

Cas de la chaîne d'acquisition

Lois mathématiques et électriques utiles

- Quelques propriétés de la fonction logarithme décimal

$$\log(ab) = \log a + \log b \quad \log 1 = 0$$

$$\log\left(\frac{a}{b}\right) = \log a - \log b \quad \log 10 = 1$$

$$\log(a^n) = n \cdot \log a \quad \log 100 = 2$$

- Quelques propriétés des nombres complexes

Soit z un nombre complexe, $z = a + jb$ où a, b sont des réels et $j^2 = -1$

Module de z : $\|z\| = \sqrt{a^2 + b^2}$

Argument de z : $\arg(z) = \arctg\left(\frac{b}{a}\right)$

$$\|z_1 \cdot z_2\| = \|z_1\| \cdot \|z_2\|$$

$$\arg(z_1 \cdot z_2) = \arg(z_1) + \arg(z_2)$$

$$\left\| \frac{z_1}{z_2} \right\| = \frac{\|z_1\|}{\|z_2\|}$$

$$\arg\left(\frac{z_1}{z_2}\right) = \arg(z_1) - \arg(z_2)$$

- Impédances en notation complexe

L'impédance d'une résistance R est : $Z_R = R$

L'impédance d'une bobine d'inductance L est : $Z_L = jL\omega$

L'impédance d'un condensateur de capacité C est : $Z_C = \frac{1}{jC\omega}$

2. Fonction de transfert

La fonction de transfert d'un filtre, en notation complexe

$$\underline{Av} = \frac{Vs}{Ve}$$

- **L'amplification $\underline{Av}$** est le module de $\underline{Av}$ soit

$$Av = \|\underline{Av}\|$$

- **La phase φ** (déphasage entre l'entrée et la sortie) est l'argument de $\underline{Av}$ soit

$$\varphi = \arg(\underline{Av})$$

Plutôt que d'utiliser l'amplification $\underline{Av}$, on préfère parler du **gain G** en décibels dB :

$$G = 20 \log(Av)$$

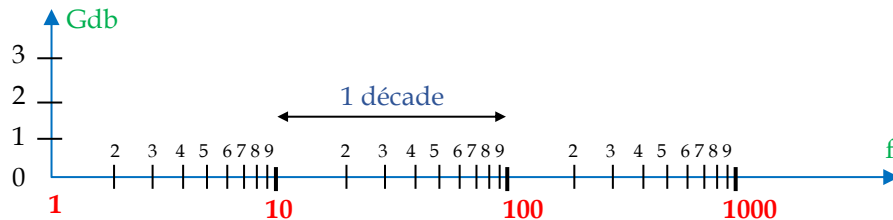
On en déduit l'amplification en fonction du gain

$$Av = 10^{\frac{G}{20}}$$

3. Diagramme de Bode

Un axe gradué linéairement est mal adapté pour représenter une grandeur qui s'étend sur un intervalle très large, c'est le cas du domaine des fréquences d'un filtre. Pour cela, on recourt à une échelle logarithmique.

Le diagramme de Bode est la représentation du gain dB et de la phase en fonction de la fréquence sur une échelle semi-logarithmique.



Une décade se définit par l'intervalle $[f, 10f]$.

Par exemple, $[20\text{Hz}, 200\text{Hz}] = 1$ décade et $[15\text{kHz}, 15\text{MHz}] = 3$ décades

4. Fréquence de coupure à -3db

La fréquence de coupure à -3 dB d'un filtre est telle que $A_v = A_{v0}/\sqrt{2}$

En décibels, cela se traduit par $G = G_0 - 3\text{db}$.

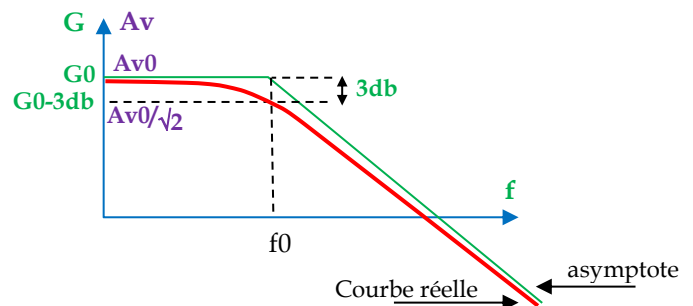
En effet, $A_v = A_{v0}/\sqrt{2}$

$$\Rightarrow G = 20 \cdot \log(A_{v0}/\sqrt{2})$$

$$\Rightarrow G = 20 \log(A_{v0}) - 20 \log\sqrt{2} \\ = G_0 - 3\text{db}$$

G_0 : gain maximal (ou gain dans la bande passante ou encore gain statique)

A_{v0} : amplification maximale



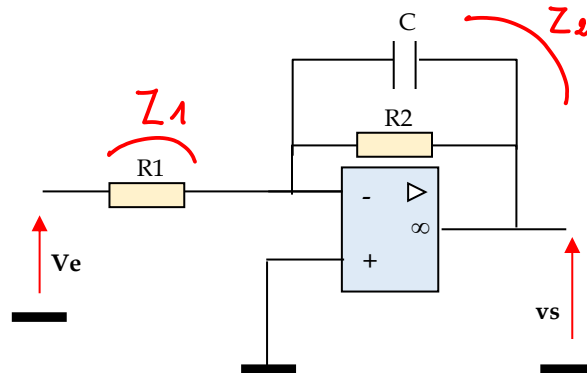
5. Formes canoniques des filtres du 1^e ordre

Les fonctions de transferts, en notation complexe, des filtres du 1^e ordre peuvent s'exprimer sous les formes canoniques suivantes :

Passe-bas	Passe-haut	Passe-bande
$\underline{A_v} = A_{v0} \cdot \frac{1}{1 + j\frac{\omega}{\omega_0}}$	$\underline{A_v} = A_{v0} \cdot \frac{j\frac{\omega}{\omega_0}}{1 + j\frac{\omega}{\omega_0}}$	$\underline{A_v} = A_{v0} \cdot \frac{1}{(1 + j\frac{\omega}{\omega_2})} \cdot \frac{j\frac{\omega}{\omega_1}}{(1 + j\frac{\omega}{\omega_1})}$
A_{v0} : Amplification maximale $f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi}$: fréquence de coupure	A_{v0} : Amplification maximale f_0 : fréquence de coupure	A_{v0} : Amplification maximale f_1 : fréquence de coupure basse f_2 : fréquence de coupure haute ($f_2 \gg f_1$)

Étude des filtres actifs

Filtre passe-bas



on a $V^+ = 0$ et, par le th. de Millman, $V^- = \frac{\frac{V_e}{Z_1} + \frac{V_s}{Z_2}}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2}}$
 or $V^+ = V^- \Rightarrow \frac{V_e}{Z_1} + \frac{V_s}{Z_2} = 0$

donc $\underline{A_v} = \frac{V_s}{V_e} = -\frac{Z_2}{Z_1}$; avec :

$$\underline{Z_1} = \underline{Z_{R1}} = R_1$$

$$\text{et } \underline{Z_2} = \frac{\underline{Z_{R2}} \times \underline{Z_C}}{\underline{Z_{R2}} + \underline{Z_C}} = \frac{R_2 \times \frac{1}{j\omega C}}{R_2 + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{R_2}{1 + jR_2\omega C}$$

$$\text{donc } \underline{A_v} = -\frac{Z_2}{Z_1} = -\frac{R_2}{1 + jR_2\omega C} \times \frac{1}{R_1} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{1 + j\omega/\omega_0} = A_{v0} \cdot \frac{1}{1 + j\omega/\omega_0}$$

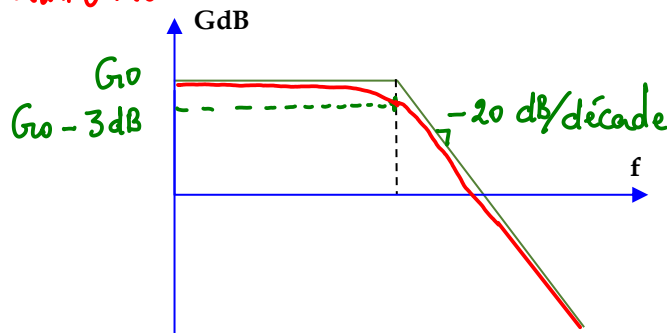
C'est donc un filtre passe-bas :

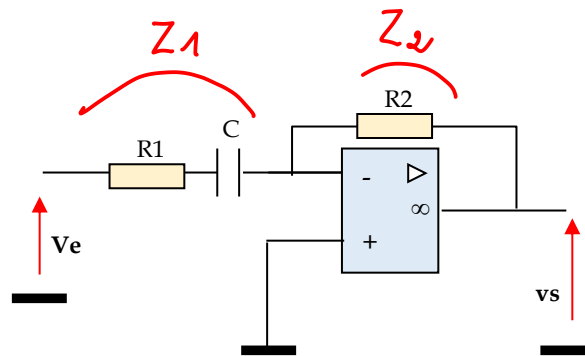
- * Amplification maxi $A_{v0} = -R_2/R_1$ (le signe "-" signifie que V_s et V_e sont en opposition de phase)
- * $R_2C = \frac{1}{\omega_0} \Rightarrow \omega_0 = \frac{1}{R_2C}$ et fréquence de coupure $f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi R_2C}$

AN : $R_1 = 1\text{ k}\Omega$; $R_2 = 5\text{ k}\Omega$ et $C = 1\text{ }\mu\text{F}$

$$\bullet A_{v0} = -\frac{R_2}{R_1} = -5 \text{ et Gain maxi } G_0 = 20 \cdot \log|A_{v0}| = 20 \cdot \log 5 = 14\text{ dB}$$

$$\bullet f_0 = \frac{1}{2\pi R_2C} = \frac{1}{2\pi \times 5 \times 10^3 \times 10^{-6}} = 32\text{ Hz}$$



Filtre passe-haut

Par analogie au montage précédent, il vient :

$$\underline{A_v} = - \frac{\underline{Z_2}}{\underline{Z_1}}$$

$$\text{avec } \underline{Z_1} = \underline{Z_{R1}} + \underline{Z_C} = R1 + \frac{1}{j\omega C} = \frac{1 + jR1\omega C}{j\omega C}$$

$$\text{et } \underline{Z_2} = \underline{Z_{R2}} = R2$$

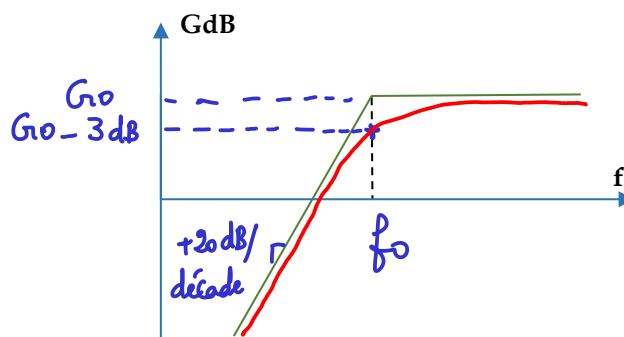
$$\text{donc } \underline{A_v} = - \frac{\underline{Z_2}}{\underline{Z_1}} = - R2 \cdot \frac{j\omega C}{1 + jR1\omega C}$$

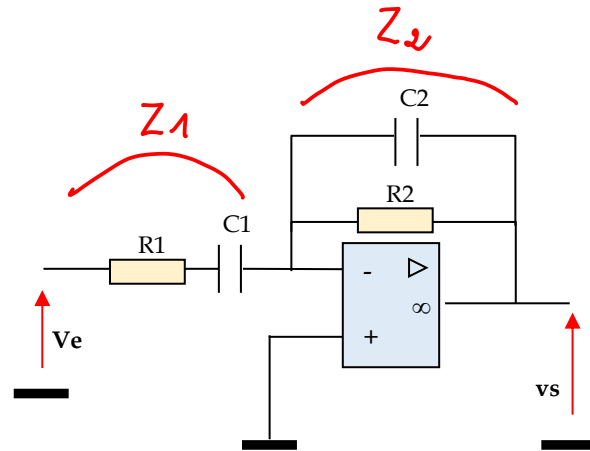
$$= - \frac{R2}{R1} \cdot \frac{jR1\omega C}{1 + jR1\omega C} = A_{v0} \cdot \frac{j\omega/\omega_0}{1 + j\omega/\omega_0}$$

C'est donc un passe-haut :

• Amplification maxi : $A_{v0} = - \frac{R2}{R1}$

• Fréquence de coupure : $f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi R1 C}$



Filtre passe-bande

Par analogie aux montages précédents, il vient : $\underline{A_v} = - \frac{\underline{Z_2}}{\underline{Z_1}}$

avec $\underline{Z_1} = \underline{Z_{R1}} + \underline{Z_{C1}} = R_1 + \frac{1}{j\omega C_1} = \frac{1 + j\omega R_1 C_1}{j\omega C_1}$

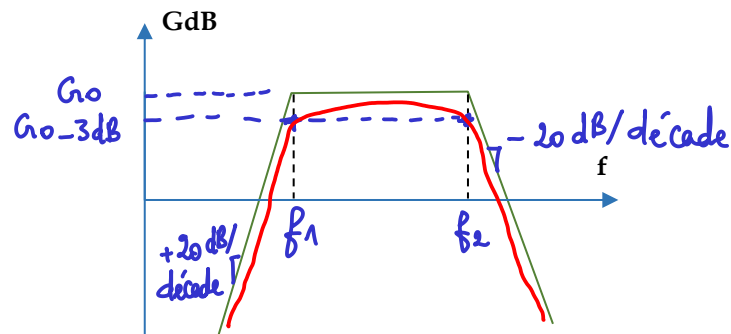
et $\underline{Z_2} = \frac{\underline{Z_{R2}} \times \underline{Z_{C2}}}{\underline{Z_{R2}} + \underline{Z_{C2}}} = \frac{R_2 \times \frac{1}{j\omega C_2}}{R_2 + \frac{1}{j\omega C_2}} = \frac{R_2}{1 + j\omega R_2 C_2}$

donc $\underline{A_v} = - \frac{\underline{Z_2}}{\underline{Z_1}} = \frac{R_2}{1 + j\omega R_2 C_2} \cdot \frac{j\omega C_1}{1 + j\omega R_1 C_1}$

$= - \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{1 + j\omega R_2 C_2} \cdot \frac{j\omega R_1 C_1}{1 + j\omega R_1 C_1} = A_{v0} \cdot \frac{1}{1 + j\frac{\omega}{\omega_2}} \cdot \frac{j\frac{\omega}{\omega_1}}{1 + j\frac{\omega}{\omega_1}}$

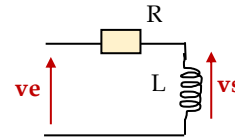
C'est donc un passe-bande :

- Amplification maxi $A_{v0} = - \frac{R_2}{R_1}$
- Fréquence de coupure basse $f_1 = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$
- Fréq. de coupure haute $f_2 = \frac{1}{2\pi R_2 C_2}$



Exercice 1 : filtre passe-haut passif

1. Déterminer la fonction de transfert complexe $\underline{A_v}$ et déduire le type du filtre ;
2. Calculer la fréquence de coupure f_0 et le gain maximal G_0 ;
On donne $R = 2 \text{ k}\Omega$ et $L = 10,6 \text{ mH}$;
3. Esquisser le diagramme asymptotique du gain ;
4. Calculer le gain G en dB pour $f = 1 \text{ KHz}$.



1. Par diviseur de tension, $\underline{V_s} = \underline{V_e} \cdot \frac{\underline{Z_L}}{\underline{Z_R} + \underline{Z_L}}$

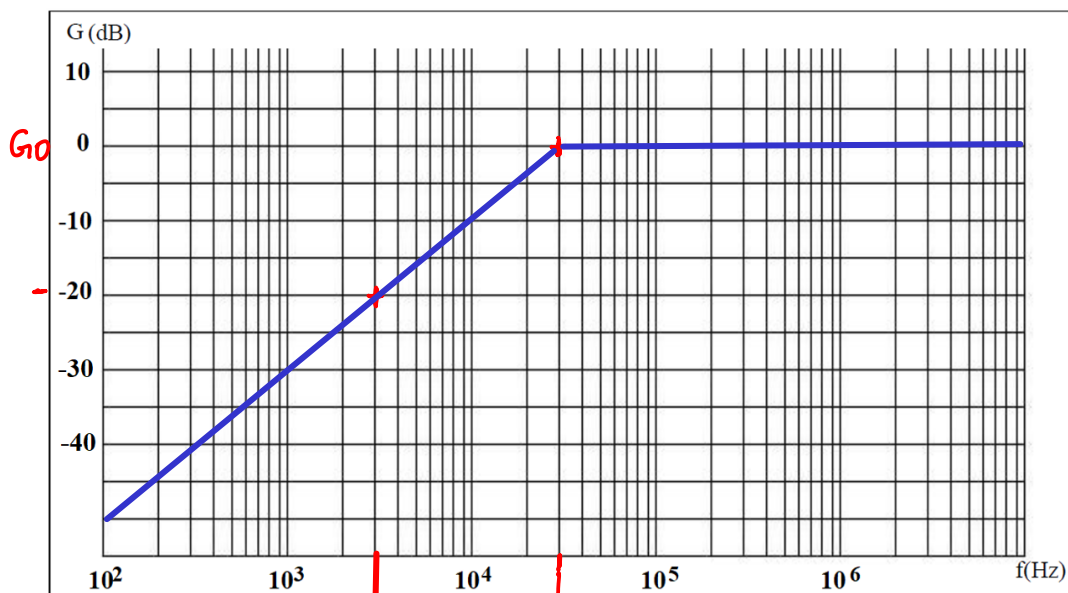
donc $\underline{A_v} = \frac{\underline{V_s}}{\underline{V_e}} = \frac{\underline{Z_L}}{\underline{Z_R} + \underline{Z_L}}$

$\underline{A_v} = \frac{jL\omega}{R + jL\omega} = \frac{j\frac{L\omega}{R}}{1 + j\frac{L\omega}{R}} = A_{v0} \cdot \frac{j\frac{\omega}{\omega_0}}{1 + j\frac{\omega}{\omega_0}}$

c'est un passe-haut.

2. Par analogie, $A_{v0} = 1 \Rightarrow G_0 = 20 \cdot \log 1 = 0 \text{ dB}$

et $\omega_0 = \frac{R}{L} \Rightarrow f_0 = \frac{R}{2\pi L} = \frac{2 \times 10^3}{2\pi \times 10,6 \times 10^{-3}} = 30 \text{ KHz}$



Passe-haut

$A_{v0} = 1$

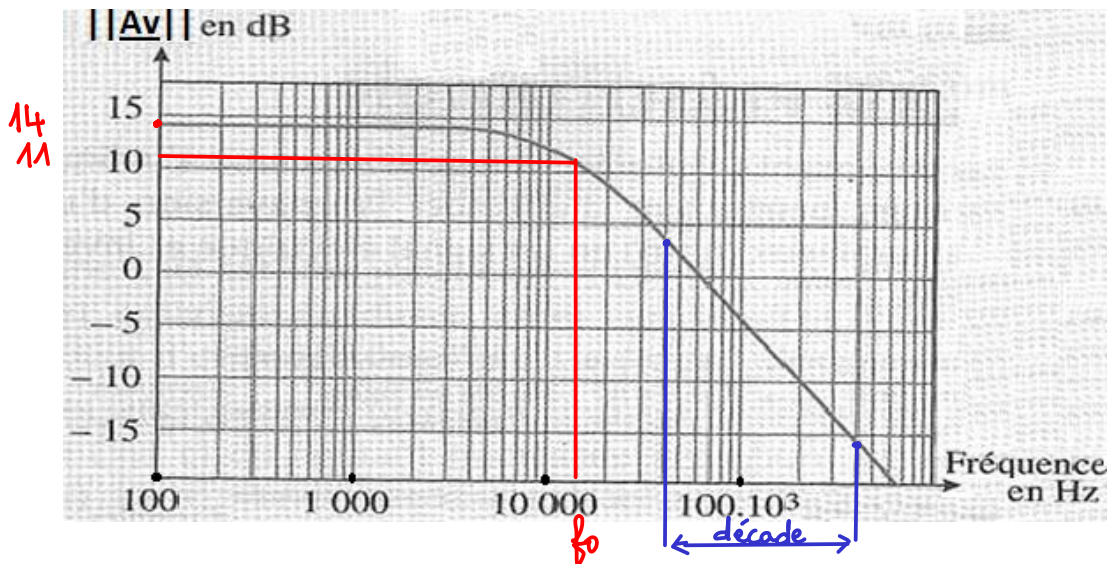
$G_0 = 0 \text{ dB}$

$f_0 = 30 \text{ KHz}$

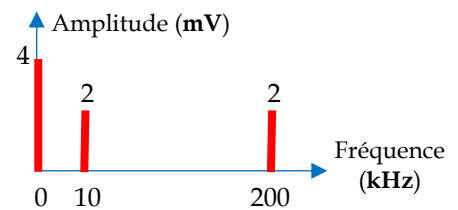
Pente = 20 dB/décade

Exercice 2 : filtre passe-bas

La courbe suivante représente le diagramme de Bode d'un filtre passe-bas.



- Déterminer graphiquement la valeur du gain statique G_0 dans la bande passante, la fréquence de coupure f_0 à -3dB et la **pende** de la droite après la fréquence de coupure.
- On applique à ce filtre le signal $ve(t) = 4 + 2\sin(2\pi f_1 t) + 2\sin(2\pi f_2 t)$ dont voici ci-contre le spectre fréquentiel :
(ve en mV, $f_1 = 10$ kHz et $f_2 = 200$ kHz)



- Déterminer le gain en dB et l'amplification pour chacune des composantes de ve .
- Tracer le spectre du signal de sortie $vs(t)$.

1/ on relève $G_0 = 14$ dB ; $f_0 \approx 12$ kHz

Pente $\approx -16 - 4$ dB/décade $= -20$ dB/décade

2/ * Pour la composante continue 4, $f = 0$ Hz
on relève $G_0 = 14$ dB $\Rightarrow A = 10^{G/20} = 10^{14/20} = 5$

* Pour la composante sinusoïdale $2\sin\omega_1 t$, $f_1 = 10$ kHz
on relève $G_1 = 12$ dB $\Rightarrow A_1 = 10^{G/20} = 10^{12/20} = 3,16$

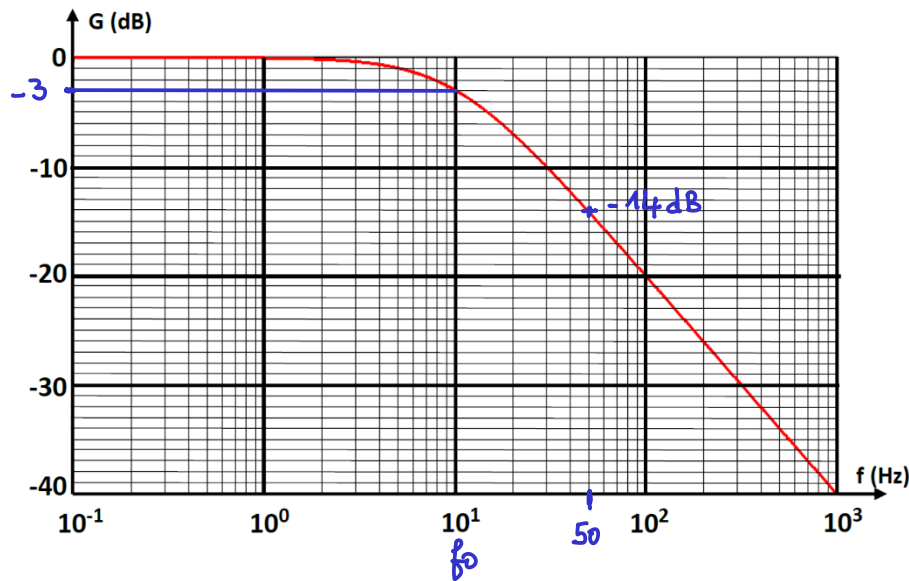
* Pour la composante sinusoïdale $2\sin\omega_2 t$, $f_2 = 200$ kHz
on relève $G_2 = -10$ dB $\Rightarrow A_2 = 10^{G/20} = 10^{-10/20} = 0,316$



Amplitude $= 5 \times 4 = 20$ V
Amplitude 1 $= 3,16 \times 2 = 6,32$ V
Amplitude 2 $= 0,316 \times 2 = 0,632$ V

Exercice 4 : examen national 2021, session normale

Le signal V_S issu de l'amplificateur d'instrumentation est appliqué à un filtre dont la courbe de gain est la suivante :



En vue d'identifier ce filtre,

Question : 40. Préciser son type (passe-bas, passe-haut ou passe-bande).

1 pt

Question : 41. Relever graphiquement le gain maximal G_{MAX} en dB du filtre, sa fréquence de coupure f_0 à -3 dB en Hz et sa pente en dB/décade.

3 pts

En vue de voir le comportement du filtre vis-à-vis d'un signal parasite de fréquence $f = 50$ Hz pouvant affecter la tension de sortie V_S :

Question : 42. Relever, sur la courbe, le gain G (en dB) attribué à ce signal parasite. En déduire l'amplification A qui correspond à ce signal (on rappelle que $G = 20 \cdot \log(A)$).

2 pts

40/ Passe-bas

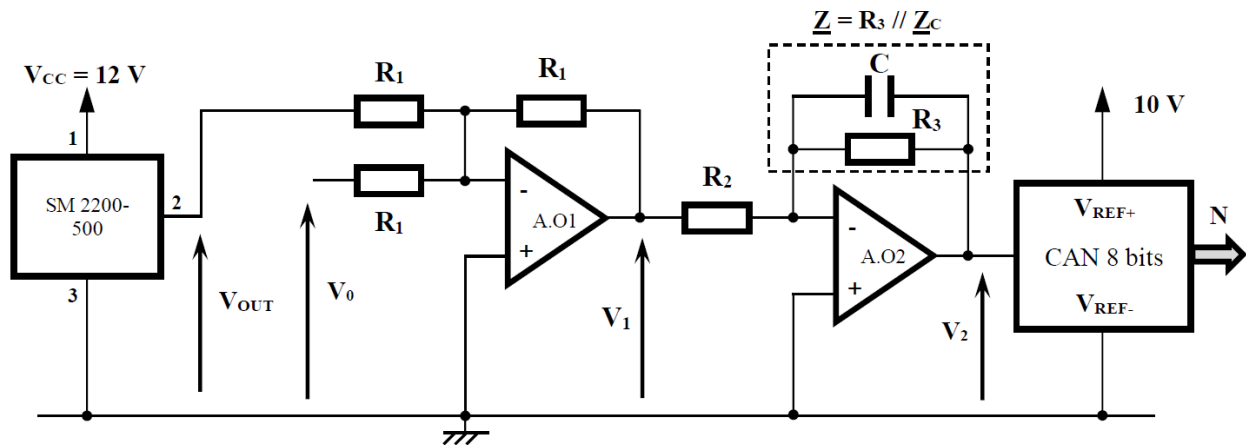
41/ on relève $G_{max} = 0$ dB ; $f_0 = 10$ Hz

$$\text{pente} = \frac{\Delta G}{\text{décade}} = \frac{-40 - (-20)}{\text{décade}} = -20 \text{ dB/décade}$$

42/ Graphiquement, $G = -14$ dB pour $f = 50$ Hz

$$\text{et } A = 10^{G/20} = 10^{-14/20} = 0,2$$

Exercice 5 : examen national 2021, session de rattrapage



On donne : $C = 4,7 \mu\text{F}$, $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ et R_3 ajustée à $50 \text{ k}\Omega$.

Le montage autour de l'AO2 permet de filtrer et d'amplifier le signal V_1 .

Q43- Sachant que $\underline{Z} = R_3 // \underline{Z}_C$, montrer que $\underline{Z} = \frac{R_3}{1+jR_3.C.\omega}$

1 pt

Q44- Donner l'expression de la fonction de transfert du filtre $\underline{A} = \frac{V_2}{V_1}$ en fonction de R_2 et $\underline{Z}$.

2 pts

Q45- Mettre l'expression de la fonction de transfert $\underline{A}$ sous la forme $\underline{A} = \frac{A_{MAX}}{1+j\frac{f}{f_0}}$, en déduire les valeurs numériques de l'amplification maximale A_{MAX} et de la fréquence f_0 . Que représente la fréquence f_0 ?

3,5 pts

Q46- Calculer le gain maximal G_{MAX} et le gain G_0 à $f = f_0$.

1 pt

Q47- Tracer le diagramme asymptotique du gain (prendre $G_{MAX} = 14 \text{ dB}$ et $f_0 = 0,70 \text{ Hz}$). Préciser la nature du filtre (passe-bas, passe-haut, passe- bande) et donner sa bande passante.

2 pts

$$43/ \underline{Z} = R_3 // \underline{Z}_C = \frac{R_3 \cdot \underline{Z}_C}{R_3 + \underline{Z}_C} = \frac{R_3 \cdot \frac{1}{j\omega C}}{R_3 + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{R_3}{1 + jR_3 C \omega}$$

$$44/ V^+ = 0 ; \text{ par th. Millman } V^- = \frac{\frac{V_1}{R_2} + \frac{V_2}{\underline{Z}_C}}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{\underline{Z}_C}}$$

$$\text{or } V^+ = V^- \Rightarrow \frac{V_1}{R_2} + \frac{V_2}{\underline{Z}_C} = 0$$

$$\Rightarrow \underline{A} = \frac{V_2}{V_1} = -\frac{\underline{Z}_C}{R_2}$$

$$45/ \underline{A} = \frac{-Z_2}{R} = \frac{-R_3}{1+jR_3C\omega} \times \frac{1}{R_2} = \frac{-R_3/R_2}{1+j\frac{\omega}{\omega_0}} = \frac{A_{\max}}{1+j\frac{\omega}{\omega_0}} = \frac{A_{\max}}{1+j\frac{f}{f_0}}$$

$$\text{avec } A_{\max} = \frac{-R_3}{R_2} = \frac{-50 \times 10^3}{10 \times 10^3} = -5$$

$$\text{et } \omega_0 = \frac{1}{R_3 C} \Rightarrow f_0 = \frac{1}{2\pi R_3 C} = \frac{1}{2\pi \times 50 \times 10^3 \times 4,7 \times 10^{-6}} = 0,677 \text{ Hz}$$

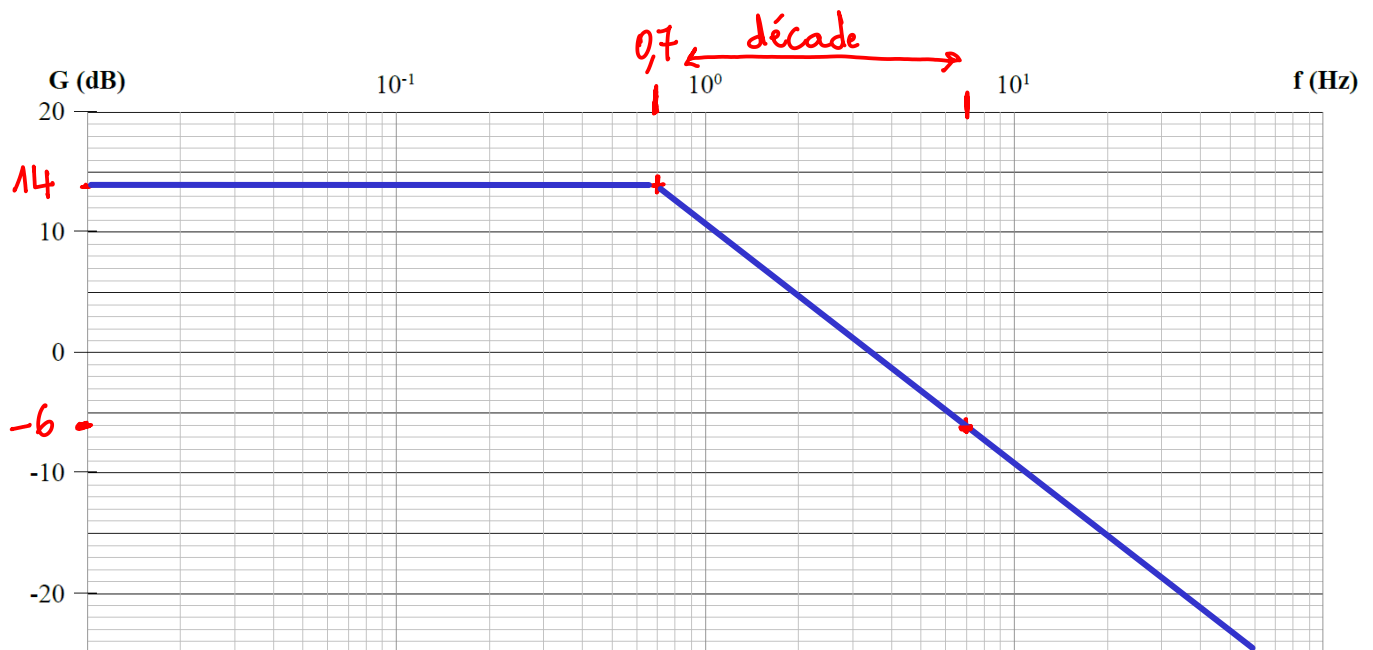
f_0 : fréq. de coupure

$$46/ \bullet G_{\max} = 20 \cdot \log A_{\max} = 20 \cdot \log 5 = 14 \text{ dB}$$

$$\bullet \text{ Amplification } A = \|\underline{A_v}\| = \frac{\|A_{\max}\|}{\|1+j\frac{f}{f_0}\|} = \frac{A_{\max}}{\sqrt{1+(\frac{f}{f_0})^2}}$$

$$\text{et } G = 20 \cdot \log A = 20 \cdot \log \frac{A_{\max}}{\sqrt{1+(\frac{f}{f_0})^2}}$$

$$\text{Pour } f=f_0, G_0 = 20 \cdot \log \frac{5}{\sqrt{2}} = 11 \text{ dB.}$$



Nature du filtre : ... Passé-bas ...

Bande passante : ... [0 ; 0,7 Hz] ...

Exercice 6 : examen national 2024, session de rattrapage**Tâche 2 : Étude du Filtre**

Pour réduire les parasites probables à la réception, on utilise un filtre **RC** dont la fonction de transfert est :

$$\underline{T} = \frac{1}{1 + jRC\omega}$$

Q38. Préciser la nature de ce filtre : passe-bas ou passe-haut. **1 pt**

Q39. Déterminer le module **T** de la fonction de transfert de ce filtre en fonction de **f** et **f₀** ; avec **f₀** fréquence de coupure à **-3 db**. **2 pts**

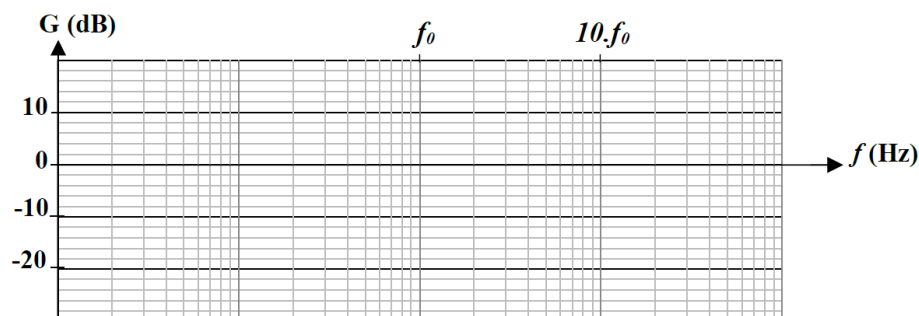
Q40. Monter que le gain **G (en db)** peut se mettre sous la forme suivante : $G = -10 \cdot \log \left(1 + \left(\frac{f}{f_0} \right)^2 \right)$. **2 pts**

Q41. Calculer le gain **G** pour **f = 0**, **f = 10.f₀** et **f → ∞** et tracer le diagramme asymptotique **G** en fonction de la fréquence **f** (Diagramme de Bode). **3,5 pts**

Voir la correction sur la page
www.abawaba.ma/2ste

Q41.

Fréquence f	0	10.f ₀	f → ∞
Gain G (en dB)			



3

MISE EN FORME**Régimes de fonctionnement de l'amplificateur opérationnel****1. Régime linéaire**

Ce régime se reconnaît lorsque la sortie est reliée à l'entrée "-" de l'AOP. On parle de contre réaction négative.
 Dans ce cas, $v_+ = v_-$

⇒ Exemples d'application du régime linéaire : fonctionnement en amplificateur, filtre.

2. Régime non linéaire (ou de saturation)

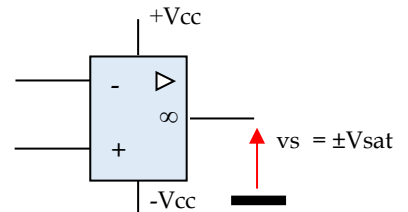
Ce régime se reconnaît lorsque la sortie est reliée à l'entrée "+" de l'AOP (contre réaction positive) ou lorsque l'AOP est en boucle ouverte.

La sortie de l'AOP ne peut prendre que 2 valeurs possibles :

+V_{sat}	si $v_+ > v_-$
-V_{sat}	si $v_+ < v_-$

Le **basculement** se produit à l'instant où $v_+ = v_-$

⇒ Exemple d'application du régime de saturation : fonctionnement en comparateur.

Notes

Si l'alimentation est symétrique c'est-à-dire par **+V_{cc}** et **-V_{cc}**, les tensions de saturation seront **+V_{sat}** et **-V_{sat}** ;

Si l'alimentation est simple c'est-à-dire par **+V_{cc}** et la **masse**, les tensions de saturation seront **+V_{sat}** et **0 V** ;

La tension de saturation V_{sat} est presque égale à la tension d'alimentation de l'AOP ; soit $V_{sat} \approx V_{cc}$.

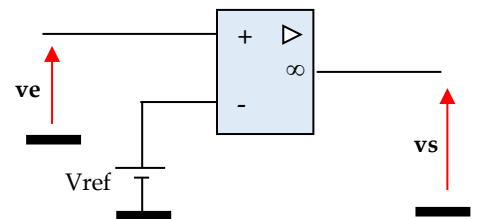
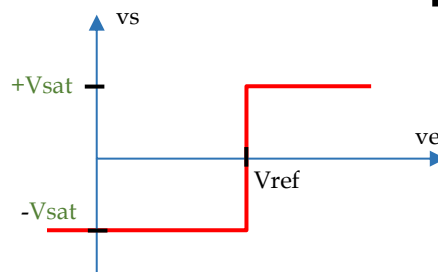
Comparateur à un seul seuil**1. Comparateur non inverseur**

On utilise un comparateur à base d'AOP en boucle ouverte.

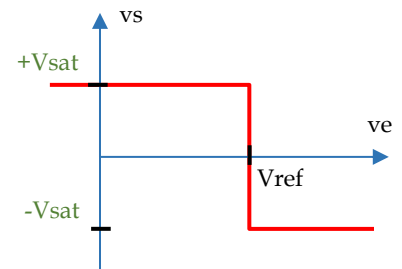
Le signal d'entrée v_e est appliqué à l'entrée non inverseuse "+" de l'AOP

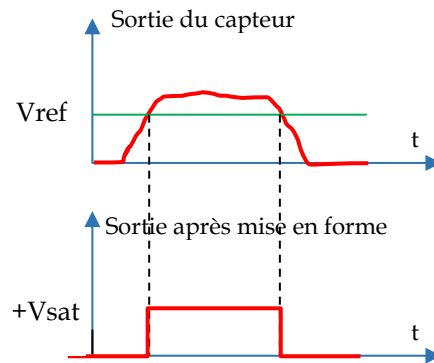
Deux cas sont possibles :

Si $v_e > V_{ref}$	alors $v_s = +V_{sat}$
Si $v_e < V_{ref}$	alors $v_s = -V_{sat}$

Caractéristique de transfert du comparateur**2. Comparateur inverseur**

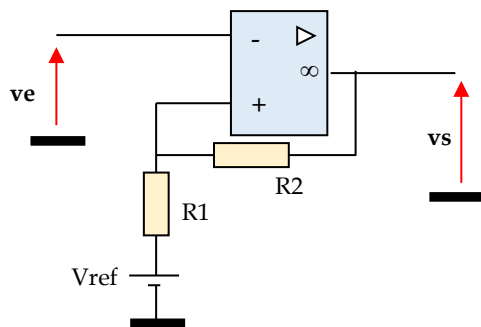
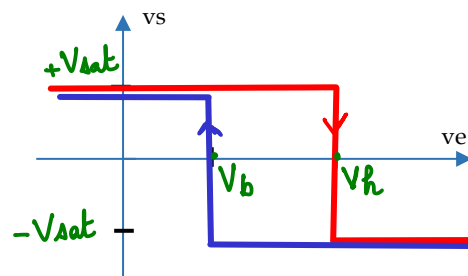
En appliquant v_e à l'entrée inverseuse "-", on obtient un comparateur inverseur dont voici la caractéristique de transfert.



Application : mise en forme du signal d'un capteur**Comparateur à deux seuils**

Lorsqu'on boucle la sortie sur l'entrée non inverseuse (réaction positive), on obtient un **comparateur à 2 seuils** dit aussi **comparateurs à hystérésis** ou encore **trigger de Schmitt**.

Le potentiel V_+ , auquel est comparée v_e , commute entre 2 valeurs puisque la sortie prend 2 valeurs. Il apparaît donc deux seuils de basculement **V_h** et **V_b** (seuil haut et seuil bas).

1. Trigger inverseurCaractéristique de transfertCalcul des seuils de basculement

$$v_- = v_e$$

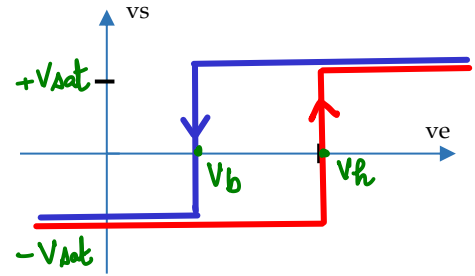
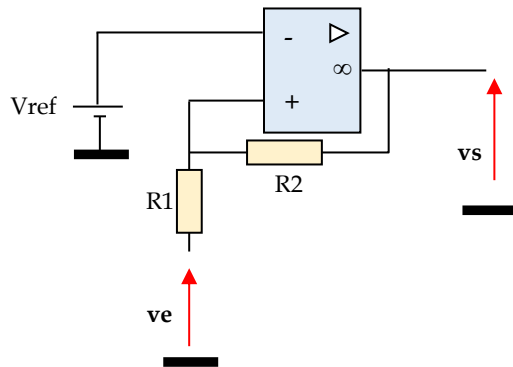
$$\text{et } v_+ = \frac{\frac{v_s}{R_2} + \frac{V_{ref}}{R_1}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{R_2 \cdot V_{ref} + R_1 \cdot v_s}{R_1 + R_2}$$

$$\text{Au basculement, } v_+ = v_- \Rightarrow \frac{R_2 \cdot V_{ref} + R_1 \cdot v_s}{R_1 + R_2} = v_e$$

$$* v_s = +V_{sat}, v_e = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{ref} + \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot V_{sat} = V_h$$

$$* v_s = -V_{sat}, v_e = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{ref} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot V_{sat} = V_b$$

2. Trigger non inverseur



$$V_- = V_{ref}$$

$$\text{et } V_+ = \frac{\frac{V_s}{R_2} + \frac{V_e}{R_1}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{R_2 \cdot V_e + R_1 \cdot V_s}{R_1 + R_2}$$

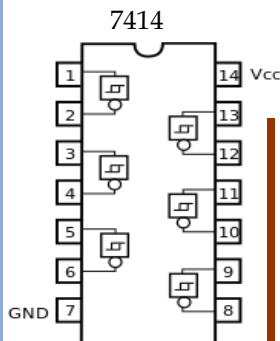
$$\text{Au basculement, } V_+ = V_- \Rightarrow \frac{R_2 \cdot V_e + R_1 \cdot V_s}{R_1 + R_2} = V_{ref}$$

$$\Rightarrow V_e = \frac{R_1 + R_2}{R_2} \cdot V_{ref} - \frac{R_1}{R_2} \cdot V_s$$

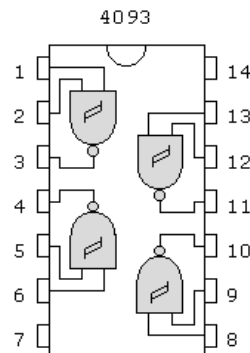
$$* V_s = +V_{sat}, V_e = \frac{R_1 + R_2}{R_2} \cdot V_{ref} - \frac{R_1}{R_2} \cdot V_{sat} = V_b$$

$$* V_s = -V_{sat}, V_e = \frac{R_1 + R_2}{R_2} \cdot V_{ref} + \frac{R_1}{R_2} \cdot V_{sat} = V_h$$

Réalisation à l'aide de circuits logiques



Le circuit intégré 7414 fait partie de la série des circuits intégrés 7400 utilisant la technologie TTL. Ce circuit est composé de six portes logiques indépendantes inverseuses avec trigger de Schmitt.

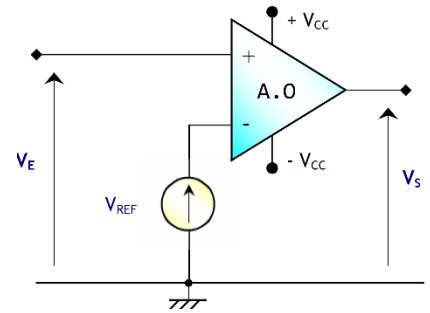


Le 4093 fonctionne comme un 4011 (quadruple NAND) dont toutes les entrées seraient dotées d'un trigger de Schmitt.

Exercices

Exercice 1 : comparateur à un seuil

Le montage ci-contre est d'un comparateur ;
 L'entrée inverseuse est prise comme référence ;
 Le signal d'entrée V_E est appliqué à l'entrée non inverseuse ;
 $\pm V_{CC} = \pm 12 \text{ V}$; $V_E(t) = 8 \cdot \sin(2\pi f \cdot t)$ (en V).

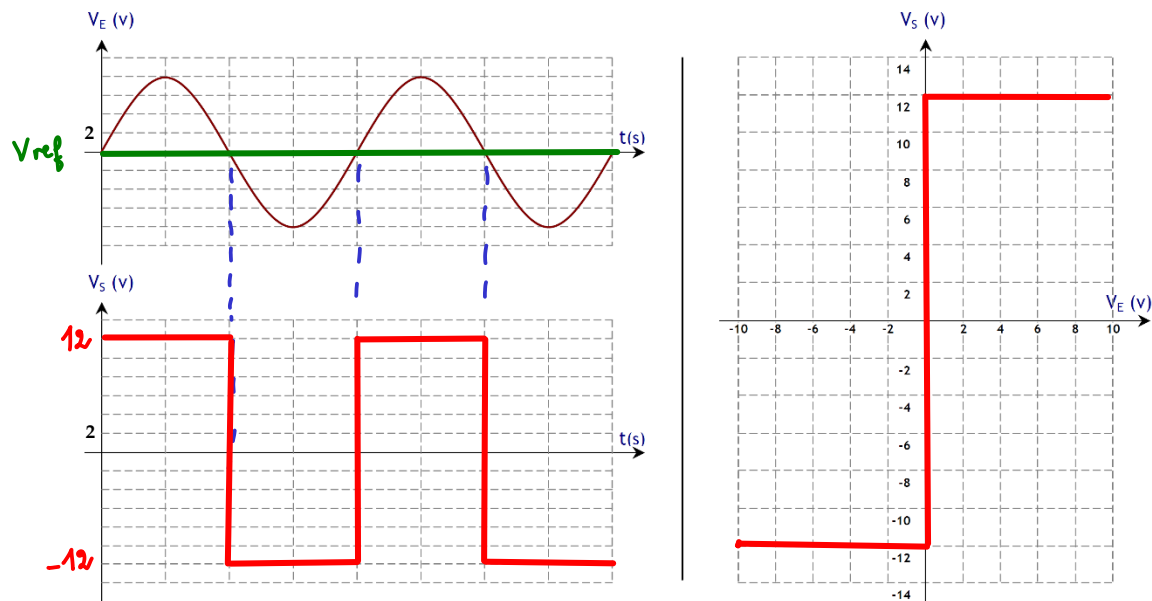
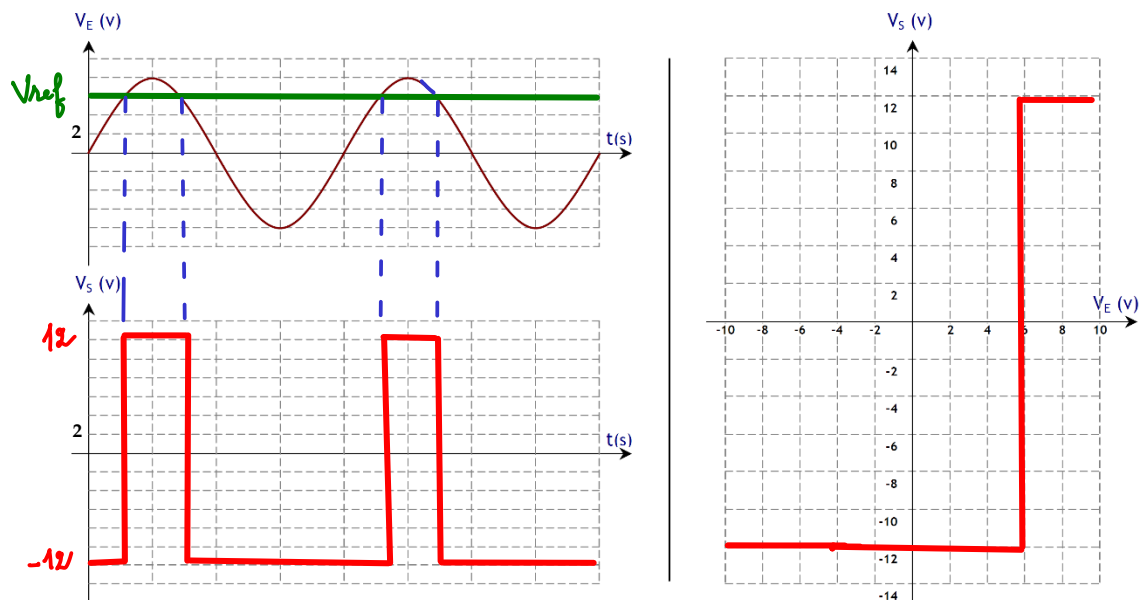


Compléter :

C'est un comparateur *à un seuil non inverseur*

Pour $V_E < V_{REF}$ *$V_S = -12 \text{ V}$*

Pour $V_E > V_{REF}$ *$V_S = +12 \text{ V}$*

Compléter le tracé du signal de sortie V_S et celui de la caractéristique de transfert pour $V_{REF} = 0 \text{ V}$ Compléter le tracé du signal de sortie V_S et celui de la caractéristique de transfert pour $V_{REF} = 6 \text{ V}$ 

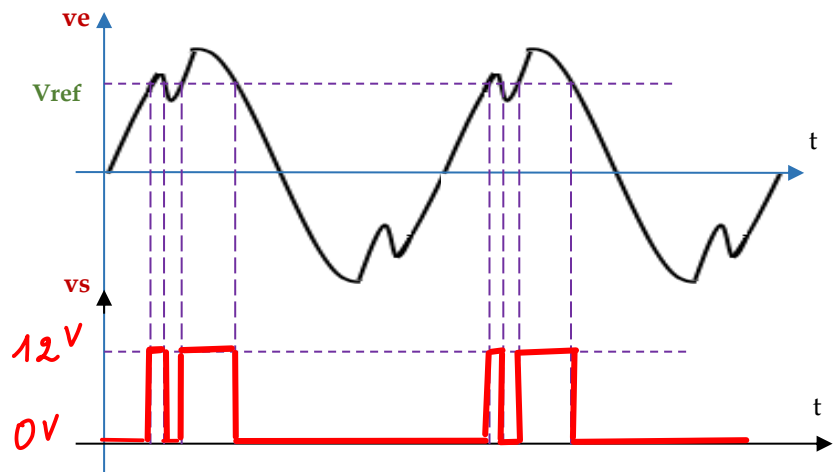
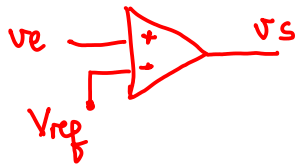
Exercice 2 : Avantage du trigger

Dans les deux cas, l'AOP est alimenté en 12 V et 0 V. L'entrée ve est un signal sinusoïdal bruité. Tracer la réponse vs .

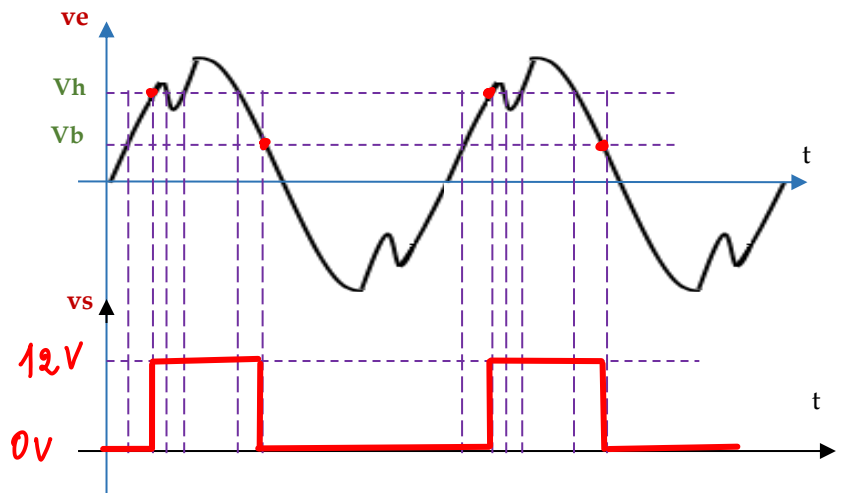
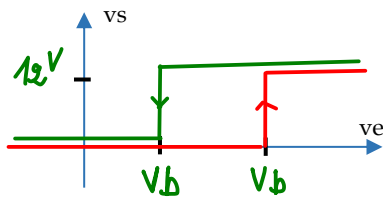
1^{er} cas : comparateur à un seuil non inverseur

Si $ve < V_{ref}$, $vs = \dots\dots 0V$

Si $ve > V_{ref}$, $vs = \dots\dots 12V$



2^e cas : trigger non inverseur

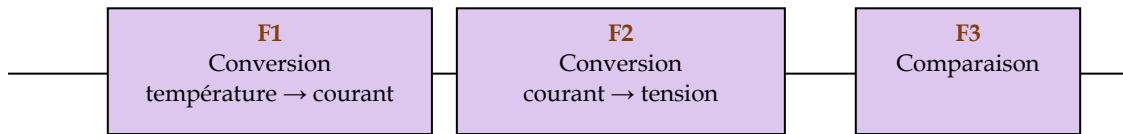


Conclusion :

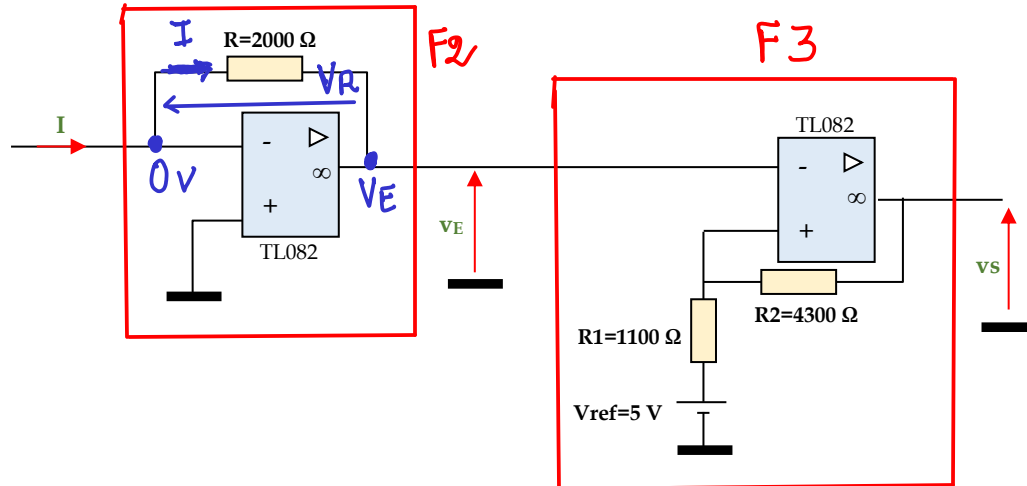
Le trigger présente une immunité aux bruits :
ceux-ci n'affectent pas le signal de sortie.

Exercice 3 : régulation TOR de température

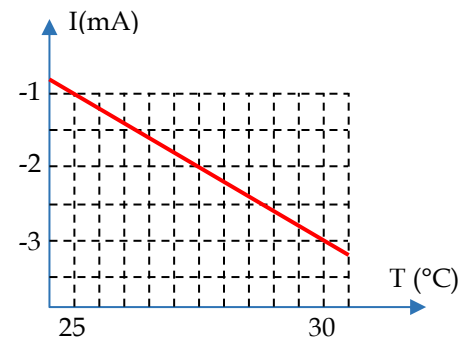
Soit la chaine fonctionnelle :



et le schéma électronique correspondant :



L'étude du capteur matérialisant la fonction F1 n'est pas demandée.
On fournit, ci-contre, sa caractéristique de transfert.



Étude fonctionnelle

- Entourer sur le schéma les parties qui matérialisent les fonctions F2 et F3.

Étude de F2

- Exprimer V_E en fonction de I

ma. $V_R = 0 - V_E = -V_E$; or $V_R = RI$ (Loi d'ohm)
 donc $V_E = -RI$

- Que vaut V_E pour les températures $T = 25^\circ\text{C}$ et $T = 30^\circ\text{C}$?

• A $T = 25^\circ\text{C}$, on relève $I = -1\text{mA}$ donc $V_E = -RI = 2000 \times 1 \times 10^{-3} = 2\text{V}$

• A $T = 30^\circ\text{C}$, on relève $I = -3\text{mA}$ donc $V_E = -RI = 2000 \times 3 \times 10^{-3} = 6\text{V}$

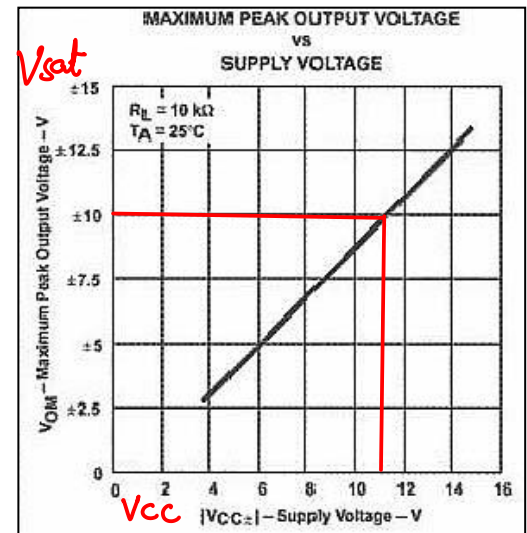
Étude de F3

- Quel est le régime de fonctionnement de l'AOP ?

Régime de saturation (non linéaire) vu la contre-réaction positive.

- Cet AOP est un TL082. D'après sa documentation technique, relever la valeur de V_{sat} (Maximum Peak Output Voltage), sachant qu'il est alimenté (Supply Voltage) sous $\pm 11V$.

On relève, pour $V_{CC} = 11V$, $V_{sat} = 10V$.



- Donner les expressions des potentiels v_+ et v_- .

$$v_- = v_e \quad \text{et par le th. de Millman, } v_+ = \frac{\frac{V_{ref}}{R_1} + \frac{V_s}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}$$

$$v_+ = \frac{R_2 \cdot V_{ref} + R_1 \cdot V_s}{R_1 + R_2}$$

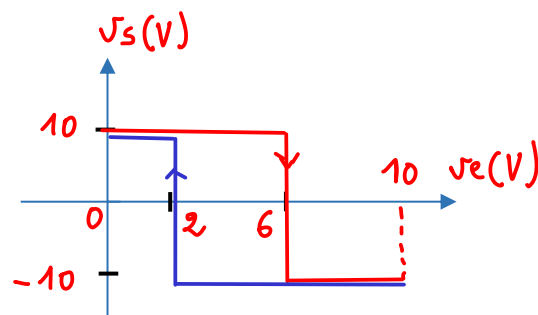
- Déduire les valeurs des seuils de basculement V_{SH} et V_{SL} du comparateur.

Au moment du basculement, $v_- = v_+$ donc $v_e = \frac{R_2 \cdot V_{ref} + R_1 \cdot V_s}{R_1 + R_2}$

$$* \text{ Pour } v_s = +V_{sat}, v_e = \frac{R_2 \cdot V_{ref} + R_1 \cdot V_{sat}}{R_1 + R_2} = \frac{4300 \cdot 5 + 1100 \cdot 10}{4300 + 1100} \approx 6V = V_{SH}$$

$$* \text{ Pour } v_s = -V_{sat}, v_e = \frac{R_2 \cdot V_{ref} - R_1 \cdot V_{sat}}{R_1 + R_2} = \frac{4300 \cdot 5 - 1100 \cdot 10}{4300 + 1100} \approx 2V = V_{SL}$$

- Tracer le cycle d'hystérésis de $v_s = f(v_e)$ pour V_E variant entre 0 et 10 V.



Étude de l'ensemble

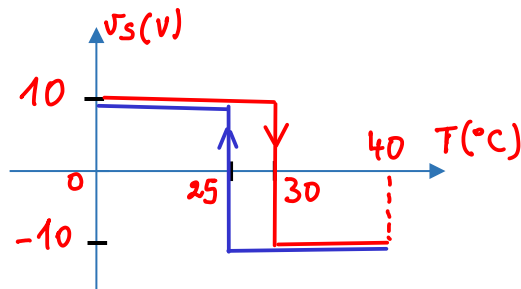
- À quelle température correspond chacun des deux seuils de basculement ?

D'après la partie "Étude de F2",

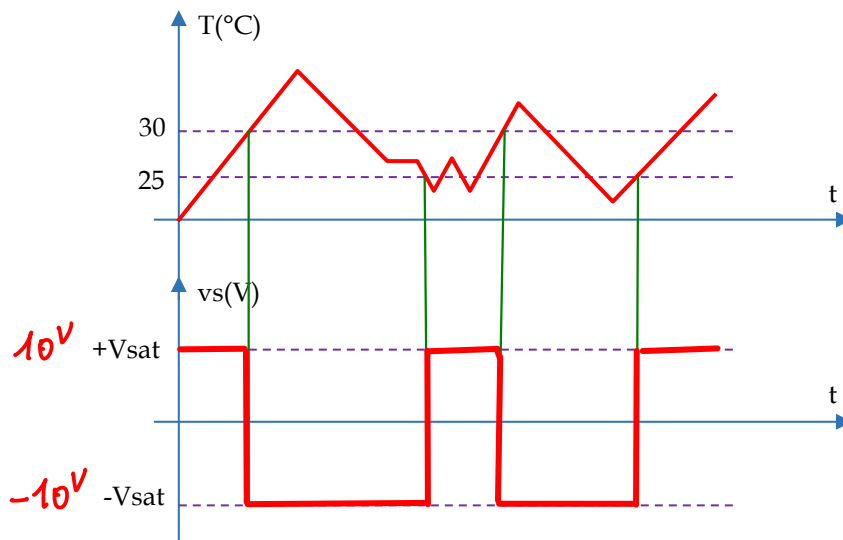
Le seuil $V_{SL} = 2V$ correspond à $T = 25^{\circ}C$

Le seuil $V_{SH} = 6V$ correspond à $T = 30^{\circ}C$

- Tracer le cycle d'hystérésis de $v_s = f(T)$ pour T variant entre 0 et $40^{\circ}C$.



- Compléter la courbe de la sortie $v_s(t)$.



- Si la sortie v_s commande le chauffage d'une pièce, expliquer le principe de la régulation de température dans cette pièce.

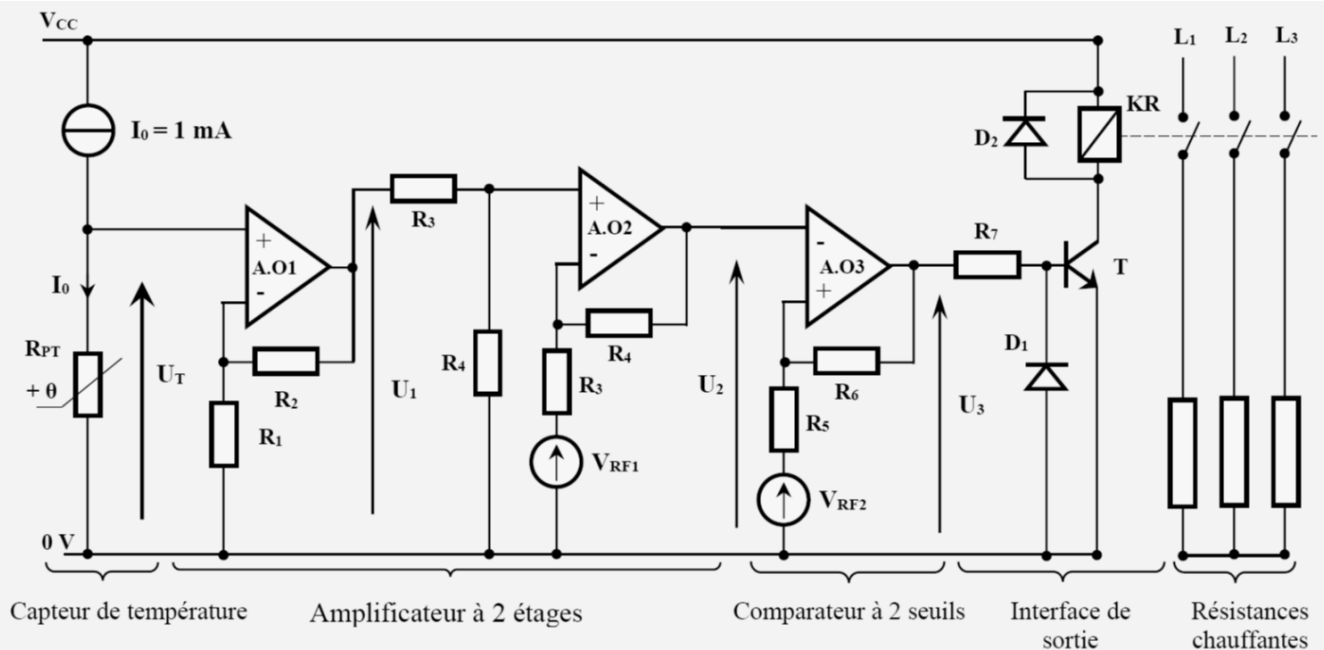
Quand T atteint $30^{\circ}C$, $v_s = -10V$, le système de chauffage s'arrête.
 Quand T descend à $25^{\circ}C$, $v_s = +10$, le syst. de chauffage redémarre.
 D'où la régulation.

Exercice 4 : examen national 2020, session normale

Le mélange des produits s'effectue à une température comprise entre 60°C et 80°C.

Tâche 1 : Commande du circuit de chauffage

Le chauffage est assuré par 3 résistances chauffantes. La température est prélevée par le capteur PT100 dont la résistance R_{PT} varie avec la température. Le schéma de commande du dispositif de chauffage est le suivant :



On considère que :

- Les amplificateurs opérationnels sont parfaits avec $\pm V_{sat} = \pm V_{CC} = \pm 15 \text{ V}$;
- Le générateur de courant fournit un courant $I_0 = 1 \text{ mA}$;
- V_{RF1} et V_{RF2} sont des tensions continues de référence.

Étude du comparateur à 2 seuils (montage autour de AO3) :

Le comparateur à 2 seuils (**trigger inverseur**) agit de la façon suivante :

- Si la température est inférieure à 60 °C, le contacteur **KR** est fermé donc les résistances chauffantes sont alimentées et la température θ augmente ;
- Si la température est supérieure à 80 °C, le contacteur **KR** est ouvert donc les résistances chauffantes ne sont plus alimentées et la température θ baisse.

On donne :

- $U_2 = 100 \cdot 10^{-3} \cdot \theta$.
- $R_5 = 3,3 \text{ K}\Omega$
- L'expression du seuil haut du trigger : $V_{SH} = \frac{V_{RF2} \cdot R_6 + V_{CC} \cdot R_5}{R_6 + R_5}$.
- L'expression du seuil bas du trigger : $V_{SL} = \frac{V_{RF2} \cdot R_6 - V_{CC} \cdot R_5}{R_6 + R_5}$.

Q43- Calculer les valeurs des seuils V_{SH} et V_{SL} (le trigger bascule à $\theta = 80^\circ\text{C}$ et à $\theta = 60^\circ\text{C}$).

2 pts

Q44- Tracer la fonction de transfert du trigger U_3 en fonction de U_2 .

2 pts

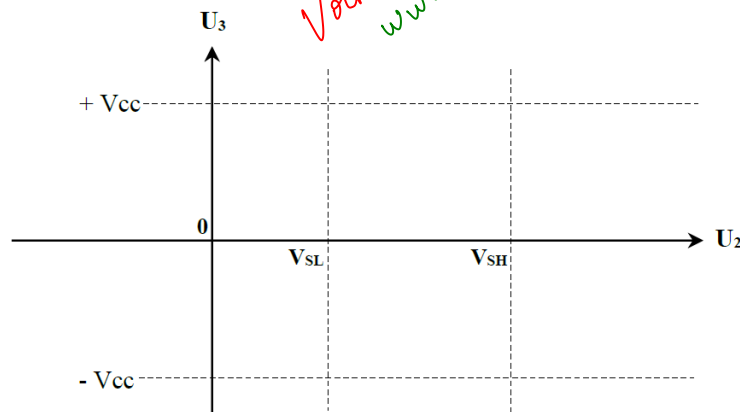
Q45- Sachant que $V_{SH} - V_{SL} = 2\text{ V}$, calculer la valeur de la résistance R_6 .

1,5 pt

Q46- Sachant que $V_{SH} + V_{SL} = 14\text{ V}$, calculer la valeur de la tension V_{RF2} .

1,5 pt

Q44- [2 pts]

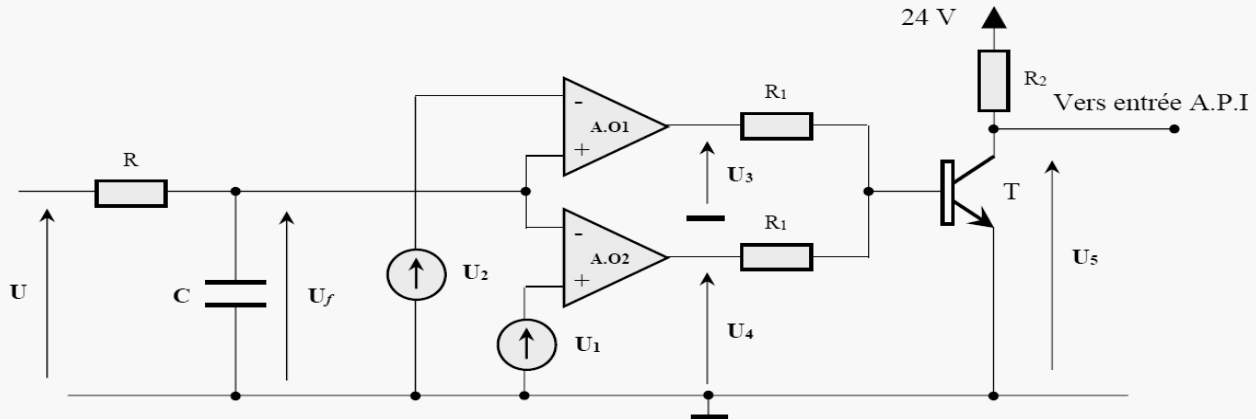


Voir la correction sur la page
www.albawaba.ma/2ste

Exercice 5 : examen national 2020, session de rattrapage**Conditionnement du signal**

Le circuit de conditionnement du signal de sortie du capteur à ultrasons est constitué d'un filtre, d'un comparateur à fenêtre et d'un adaptateur de tension.

Le schéma de ce conditionneur est le suivant :



Le conditionneur (montage page 07) fournit une information logique lorsque la pièce à détecter se trouve à une distance du capteur comprise entre les distances limites **d1** et **d2**.

Les amplificateurs **A.O1** et **A.O2**, ainsi que le transistor **T** sont considérés parfaits. On donne :

- Tensions de saturation des amplificateurs **A.O1** et **A.O2** : $V_{sat}^+ = 12\text{ V}$ et $V_{sat}^- = 0\text{ V}$
- Tensions de référence : $U_1 = 1,76\text{ V}$ et $U_2 = 8,81\text{ V}$

Q43. Donner le nom du montage autour de l'**A.O1** et tracer sa caractéristique de transfert (U_3 en fonction de U_f). **1,5 pt**

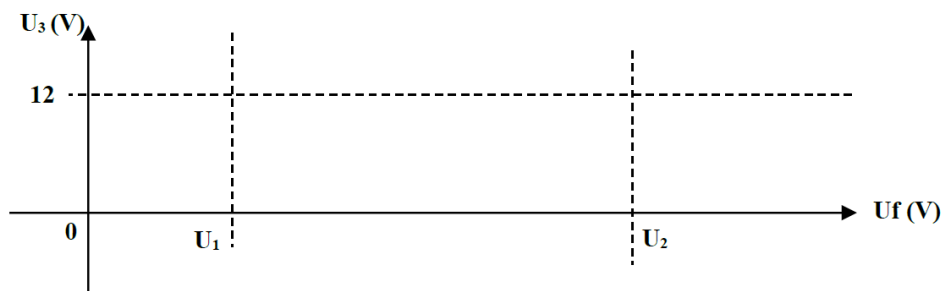
Q44. Donner le nom du montage autour de l'**A.O2** et tracer sa caractéristique de transfert (U_4 en fonction de U_f). **1,5 pt**

Q45. Le transistor **T** fonctionne en commutation. Compléter le tableau des valeurs de U_5 pour les valeurs de U_3 et U_4 . **3 pts**

Q46. Tracer, à partir des deux graphes précédents, le graphe U_5 en fonction de U_f . **1 pt**

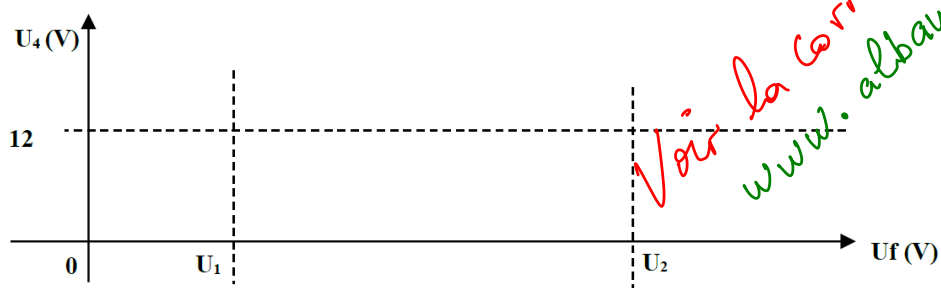
Q43- [1,5 pt]

Nom du montage :



Q44- [1,5 pt]

Nom du montage :

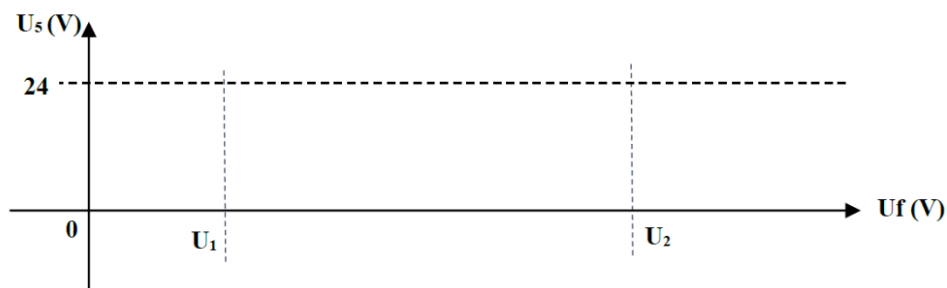


Voir la correction sur la page
www.albawaba.ma/2ste

Q45- [3 pts]

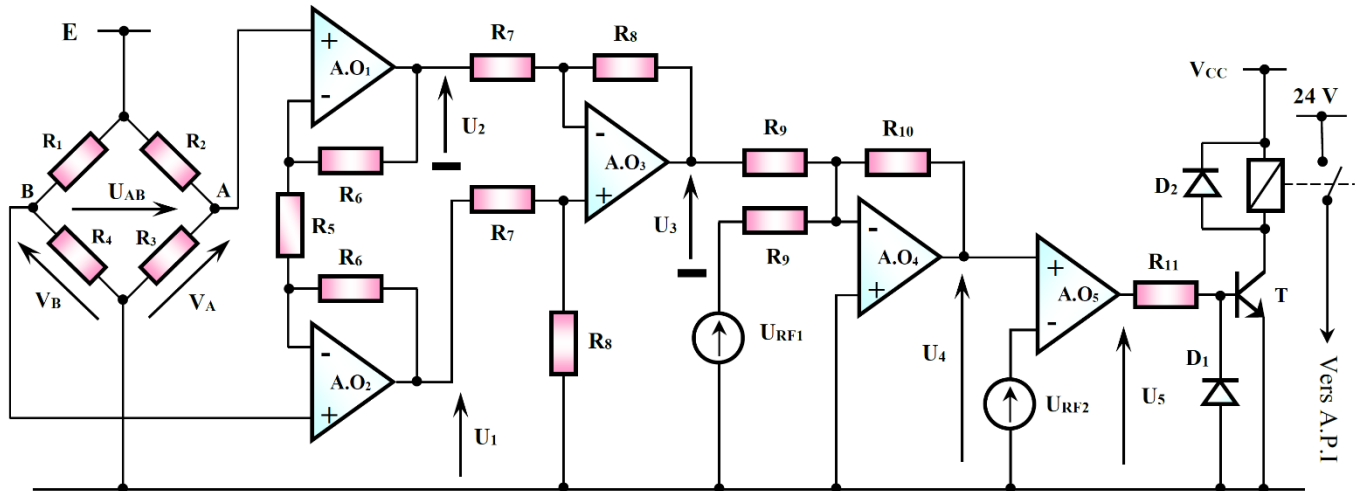
$U_3(V)$	$U_4(V)$	T (bloqué ou saturé)	$U_5(V)$
0	0		
0	12		
12	0		

Q46- [1 pt]



Exercice 6 : examen national 2022, session normale

Le montage ci-dessous représente le circuit de conditionnement du signal U_{AB} permettant d'informer l'A.P.I en cas de surcharge.



Les amplificateurs opérationnels sont supposés parfaits avec $\pm V_{SAT} = \pm V_{CC} = \pm 15 \text{ V}$.

$$U_4 = 2,02 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{R_{10}}{R_9} \cdot m_c \quad \text{et} \quad R_9 = 22 \text{ k}\Omega$$

Q.45 - Sachant que le comparateur à seuil (montage autour de AO5) bascule lorsque la charge à déplacer m_c est supérieure à 700 kg et que $R_{10} = 68 \text{ k}\Omega$, calculer la valeur de la tension continue de référence U_{RF2} .

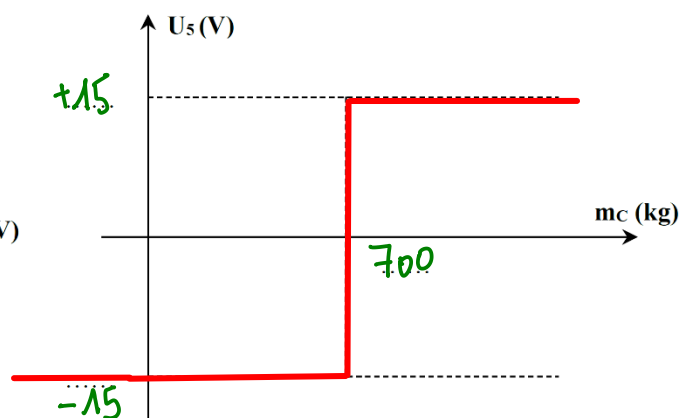
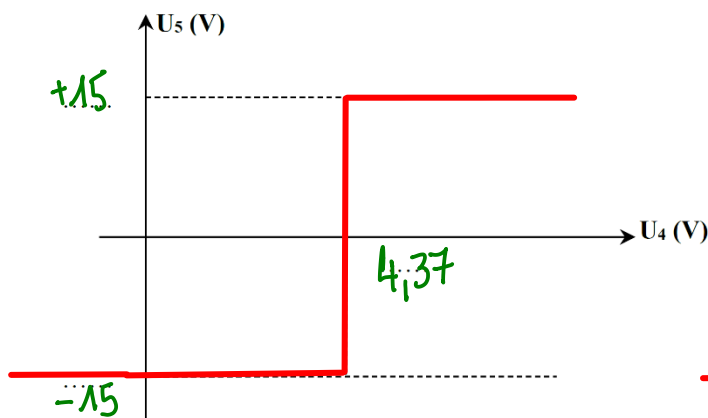
1,5 pt

Q.46 - Tracer la fonction de transfert du comparateur à seuil U_5 en fonction de U_4 , en déduire alors la caractéristique $U_5 = f(m_c)$.

3 pts

45/ U_{RF2} est le seuil de basculement c'ad la valeur de U_4 qui provoque le basculement.

Le basculement se fait à $m_c = 700 \text{ kg}$, donc à $U_4 = 2,02 \times 10^{-3} \frac{R_{10}}{R_9} \cdot m_c$
 $U_4 = 2,02 \times 10^{-3} \cdot \frac{68}{22} \times 700 = 4,37 \text{ V} = U_{RF2}$



4

CONVERTISSEURS

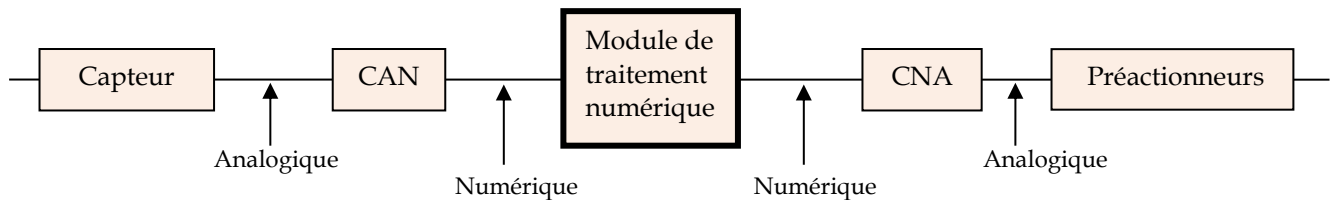
Les convertisseurs permettent de changer la nature d'une grandeur électrique. Ceux étudiés ici sont :

- Les convertisseurs **analogique-numérique** et **numérique-analogique** ;
- La convertisseurs **courant-tension** ;
- Les convertisseurs **tension-fréquence** et **fréquence-tension**.

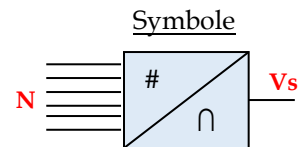
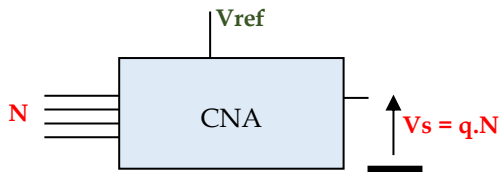
Conversion numérique-analogique

De plus en plus, les systèmes techniques utilisent la technologie numérique à base de microprocesseur du fait des avantages qu'elle présente.

Ainsi, lorsque les signaux issus des capteurs sont analogiques ou que les actionneurs doivent être commandés par des signaux analogiques, il est nécessaire de procéder à des conversions.

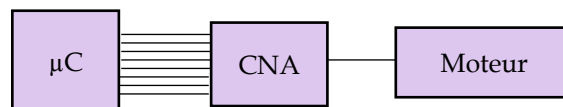


Un CNA transforme une valeur numérique (mot binaire) en une autre analogique (tension ou courant)

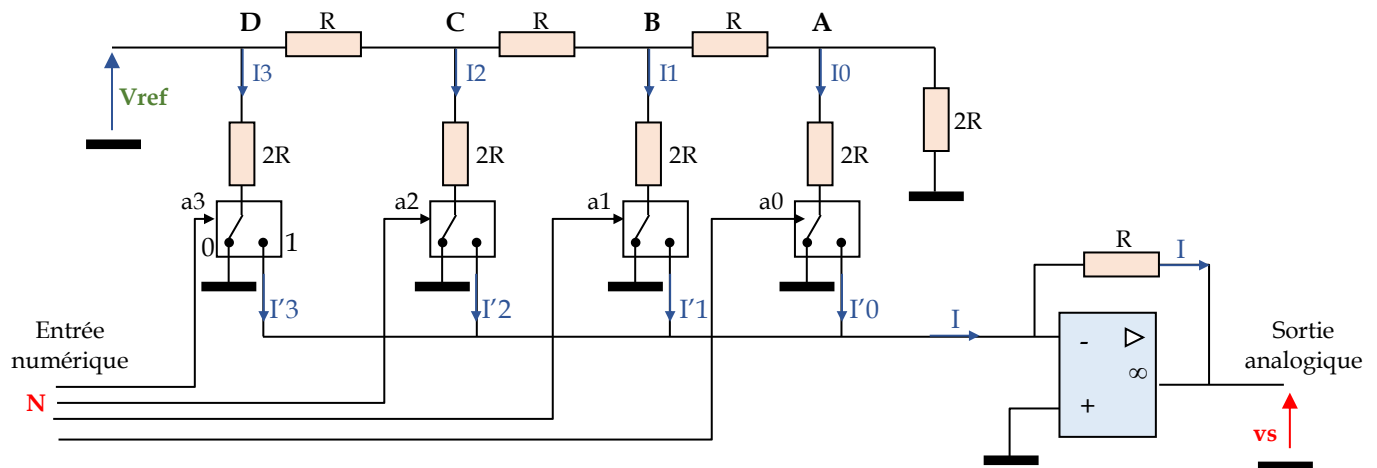


Vref : tension de référence
n : nombre de bits du convertisseur
q : quantum (ou résolution)

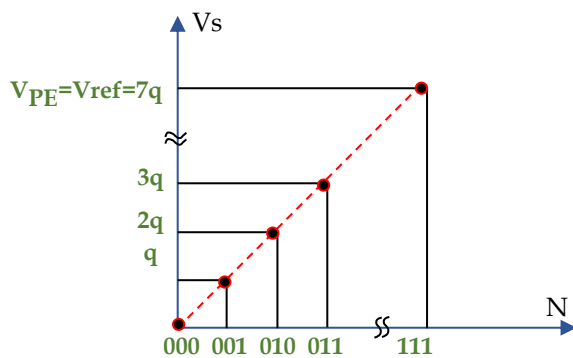
Application : variation de vitesse d'un moteur électrique par microcontrôleur



⇒ CNA à réseau R/2R



Caractéristique de transfert (cas de $n = 3$ bits)



Quantum q et fonction de transfert

Le quantum q est la plus petite variation de la tension de sortie vs ; vs augmente donc de q lorsque N augmente de 1

$$q = \frac{V_{PE}}{2^n - 1}$$

$$V_s = q \cdot N$$

$$N_{max} = 2^n - 1$$

n : nombre de bits

V_{PE} : tension pleine échelle (tension maximale que peut prendre la sortie), elle est fixée par V_{ref} c'est à dire $V_{PE} = V_{ref}$

Exercice 1 On applique $V_{ref} = 8 \text{ V}$ à un CNA 6 bits. Calculer V_s pour $N = 100101$, 001001 et 111111

on a $q = \frac{V_{ref}}{2^n - 1} = \frac{8}{2^6 - 1} = \frac{8}{63} \text{ V}$

* $N = (100101)_2 = (37)_{10}$ et $V_s = q \cdot N = \frac{8}{63} \cdot 37 = 4,7 \text{ V}$

* $N = (001001)_2 = (9)_{10}$ et $V_s = \frac{8}{63} \cdot 9 = 1,14 \text{ V}$

* $N = (111111)_2 = N_{max}$ donc $V_s = V_{PE} = V_{ref} = 8 \text{ V}$

Exercice 2 Sachant que $V_{ref} = 10 \text{ V}$ et que c'est CNA 8 bits, calculer V_s pour $N = 10011001$ et $N = 00010110$

$q = \frac{V_{ref}}{2^n - 1} = \frac{10}{2^8 - 1} = \frac{10}{255} = \frac{2}{51} \text{ V}$

* $N = (10011001)_2 = (153)_{10}$; $V_s = q \cdot N = \frac{2}{51} \cdot 153 = 6 \text{ V}$

* $N = (00010110)_2 = (22)_{10}$; $V_s = \frac{2}{51} \cdot 22 = 0,86 \text{ V}$

Exercice 3

Quelle est la **pleine échelle** d'un CNA qui fournit $v_s = 1V$ pour $N = 00010111$?

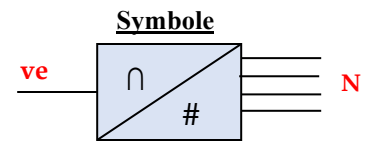
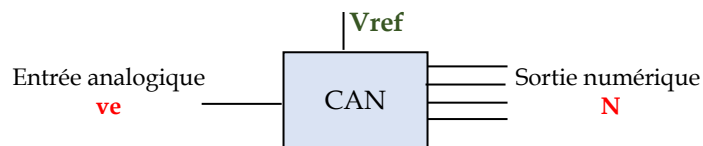
ona $N = (00010111)_2 = 23 \longrightarrow v_s = 1V$

$N_{max} = (11111111)_2 = 255 \longrightarrow V_{PE} = V_{ref}$

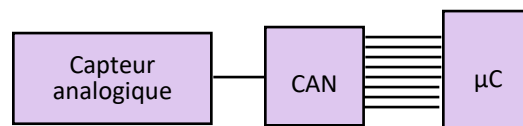
donc $V_{ref} = \frac{255 \times 1}{23} = 11,08 V$

Conversion analogique-numérique

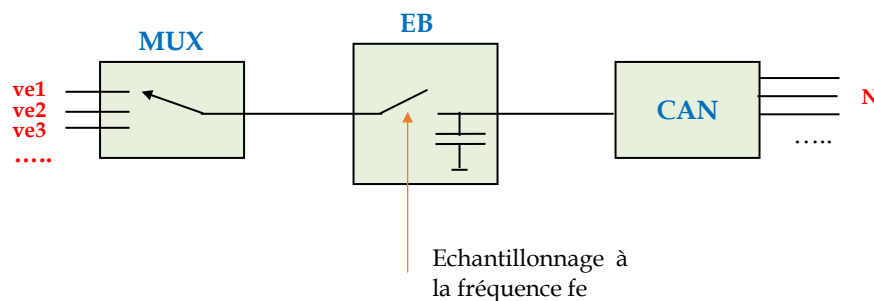
Le CAN permet d'obtenir en sortie une grandeur numérique codée sur n bits dont la valeur est représentative de la grandeur analogique présente à l'entrée.



Application : traitement numérique du signal issu d'un capteur analogique



Chaîne de conversion



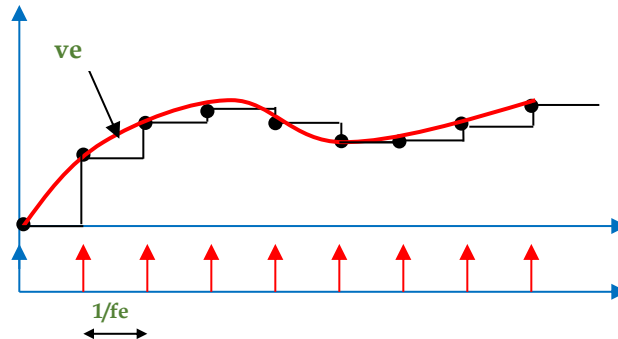
MUX : multiplexeur

Le multiplexeur est nécessaire lorsqu'il s'agit de convertir des signaux analogiques provenant de plusieurs sources. Il permet d'utiliser, en temps réel, un même convertisseur CAN.

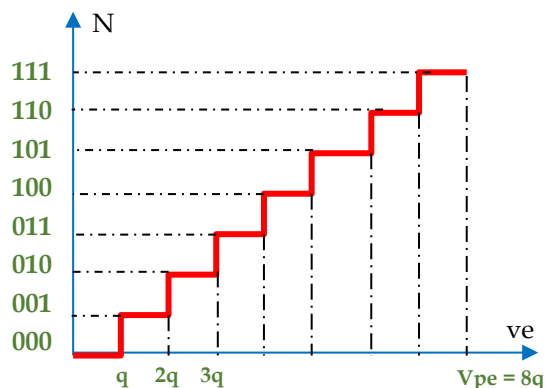
EB : échantillonneur bloqueur

L'EB assure l'échantillonnage qui consiste à prélever, à divers instants, une valeur de l'entrée v_e et la bloquer pour la conversion puisque celle-ci n'est pas instantanée.

- Le prélèvement d'un échantillon s'obtient par fermeture de l'interrupteur électronique ;
- Pendant que l'interrupteur s'ouvre, le condensateur conserve l'échantillon lors de la conversion.



f_e : fréquence d'échantillonnage

Caractéristique de transfert (Cas de $n=3$ bits)Quantum et fonction de transfert

Le quantum q est la plus petite variation de v_e qui provoque une incrémentation du code numérique N de sortie.

$$q = \frac{V_{PE}}{2^n}$$

$$v_e = q \cdot N$$

q : quantum

n : nombre de bits

V_{PE} : tension pleine échelle (tension maximale tolérée en entrée)

Exercice

On applique à l'entrée d'un CAN 8 bits une tension d'entrée $v_e = 7,224V$, la tension de référence est de 10 V.

- Calculer le quantum
- Déterminer, en décimal puis en binaire, le résultat N de la conversion

$$1/ q = \frac{V_{ref}}{2^n} = \frac{10}{2^8} = \frac{10}{256} = \frac{5}{128} V$$

$$2/ v_e = q \cdot N \Rightarrow N = \frac{v_e}{q} = 7,224 \cdot \frac{128}{5} = 184,93$$

$$v_e \approx 185 = (1011 \ 1001)_2$$

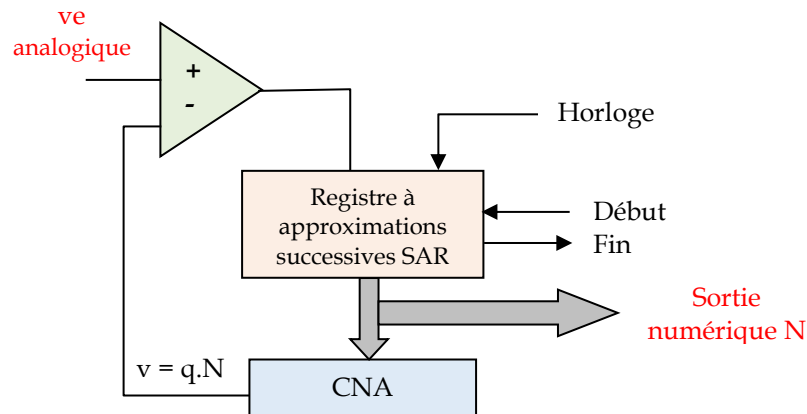
⇒ CAN à approximations successives

Principe

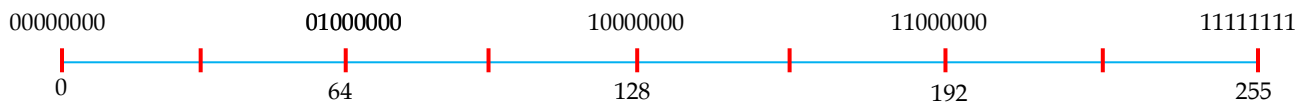
On teste bit après bit en commençant par celui de poids fort (MSB).

À chaque fois, la valeur N proposée est convertie par le CNA pour être comparée à v_e .

- Si $v \leq v_e$, le bit est conservé
- Si $v > v_e$, le bit est rejeté

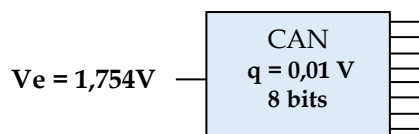


Exemple (cas de 8 bits)



- Au début, le registre SAR génère le mot **1**0000000. La tension v délivrée alors par le CNA est comparée à v_e :
 - Si $v \leq v_e$, le SAR propose **1**1000000 (bit b7 conservé) ;
 - Si $v > v_e$, le SAR propose **0**1000000 (bit b7 rejeté).
- Supposons que $v \leq v_e$, le CNA reçoit **1**1000000 et v sera de nouveau comparée à l'entrée v_e :
 - Si $v \leq v_e$, le SAR essaie **1**1100000 (bit b6 conservé) ;
 - Si $v > v_e$, le SAR essaie **1**0100000 (bit b6 rejeté).
- Le cycle de comparaison se poursuit jusqu'au dernier bit.

Exercice



Résultat de la conversion

..... **1010 1111** =

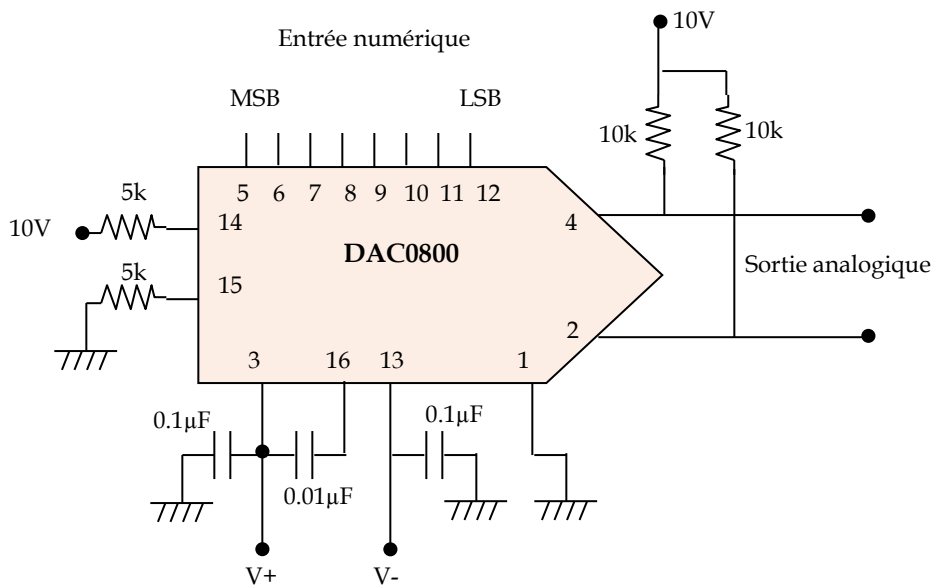
N	$v = q.N$	Comparateur
1 000 0000	1,28V	$v < v_e$
1 100 0000	1,92V	$v > v_e$
1 010 0000	1,6V	$v \leq v_e$
1 011 0000	1,76V	$v > v_e$
1 010 1000	1,68V	$v \leq v_e$
1 010 1100	1,72V	$v \leq v_e$
1 010 1110	1,74V	$v \leq v_e$
1 010 1111	1,75V	$v \leq v_e$

Conversion analogique ↔ numérique

Réalisation à l'aide de circuits intégrés

1. Le convertisseur numérique analogique DAC0800 de Motorola est un convertisseur 8 bits rapide. La tension de sortie peut atteindre 20 V.

Symbole et câblage minimal du DAC0800



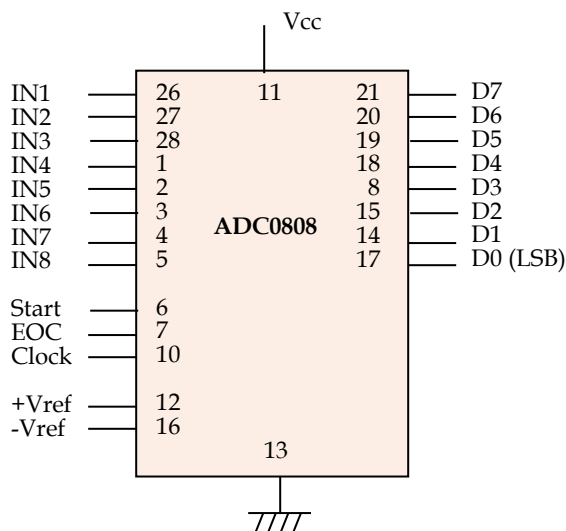
MSB : bit du poids fort
LSB : bit du poids faible

Caractéristiques

Temps de conversion : 100 ns
Tension de sortie jusqu'à 20 V
Alimentation de ± 4.5 V à ± 18 V
Consommation : 33 mW à ± 5 V
Coût modéré

2. Le convertisseur analogique numérique ADC0808 est un convertisseur à approximations successives 8 bits muni d'un multiplexeur 8 voies. Le CNA interne est à base du réseau R/2R.

Principales broches du ADC0808



Exercice

Le microcontrôleur PIC 16F877 est doté d'un CAN qui permet de traiter des informations analogiques. Ce CAN a une résolution de **10 bits** et une tension de référence de **5V**.

- Calculer le quantum de ce convertisseur

$$q = \frac{V_{ref}}{2^n} = \frac{5}{2^{10}} = \frac{5}{1024} \text{ V} \quad | \quad v_e = q \cdot N \Rightarrow N = \frac{v_e}{q} = v_e \times \frac{1024}{5} = N$$

- Compléter ce tableau de conversion

ve(V)	N décimal	N binaire									
		512	256	128	64	32	16	8	4	2	1
1	204,8 → 205	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1
2	409,6 → 410	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0
3	614,4 → 614	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
4	819,2 → 819	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
5	1024 → 1023	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

- Le convertisseur étant à approximations successives, compléter le tableau de conversion correspondant à l'entrée $v_e = 3V$

N										v = q.N
512	256	128	64	32	16	8	4	2	1	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,5V
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3,75V
1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3,125V
1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2,812V
1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2,968V
1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	3,046V
1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	3,007V
1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	2,988V
1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	2,998V
1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	3,002V

$$v = qN = \frac{5}{1024} \times N$$

Résultat de la conversion :1001 1001 10=

Exercice : examen national 2019, session normale

Tâche 4 : Etude de la fonction FP4

On utilise un convertisseur analogique numérique (CAN) pour convertir la tension V_4 , image de la force F , en un signal numérique. On donne l'expression du nombre N résultat de la conversion en fonction de V_4 et du quantum q : $N = V_4/q$

Question : 40. Sachant que $N = 200$ pour $V_4 = 1 \text{ V}$ et que $N_{\max} = 1023$, calculer la valeur pleine échelle PE définie par $PE = q \cdot (N_{\max} + 1)$; [2 pts]

Question : 41. Calculer la résolution numérique (nombre de bits) n du CAN. [2 pts]

Voir la correction sur la page
www.albawaba.ma/2ste

Exercice : examen national 2021, session de rattrapage

Numérisation :

La tension V_2 image du couple T est numérisée par un convertisseur analogique numérique (CAN 8 bits) avant d'être utilisée par l'A.P.I. On donne :

- La valeur numérique N de la conversion correspondante au couple T : $N = \frac{V_2 - V_{\text{REF-}}}{V_{\text{REF+}} - V_{\text{REF-}}} \cdot 255$;
- $V_{\text{REF+}} = 10 \text{ V}$; $V_{\text{REF-}} = 0 \text{ V}$;
- Pour les signaux de basse fréquence : $V_2 = 20 \cdot 10^{-3} \cdot T$ (en Volt).

Q48- Calculer la résolution analogique q (quantum) de ce convertisseur en mV . [1 pt]

Q49- Déterminer les valeurs $N1$ et $N2$ du mot N (valeurs en décimal) correspondantes aux couples :
 $T_1 = 240 \text{ N.m}$ et $T_2 = 300 \text{ N.m}$. [2 pts]

Voir la correction sur la page
www.albawaba.ma/2ste

Exercice : examen national 2024, session normale**Tâche 4 : Numérisation du signal U_s**

La tension U_s image de la position α du manche de la manette est numérisée par le convertisseur analogique numérique interne au **PIC 16F876**. On donne :

- La valeur numérique N de la conversion correspondante à α : $N = \frac{U_s}{5} \cdot 511$ (conversion sur **9 bits**) ;
- L'expression de la tension U_s en fonction de α : $U_s = 0,1 \cdot \alpha + 2,5$ (en Volt).

Q.44- Déterminer les valeurs de U_s correspondant aux positions $\alpha_1 = +12^\circ$ et $\alpha_2 = -12^\circ$. **1 pt**

Q.45- En déduire les valeurs $N1$ et $N2$ du mot N (valeurs entières en base décimale) correspondant aux positions : $\alpha_1 = +12^\circ$ (montée du crochet) et $\alpha_2 = -12^\circ$ (descente du crochet). **2 pts**

ÉLABORATION DE LA COMMANDE DU VARIATEUR DE VITESSE DU MOTEUR DE LEVAGE

Le variateur de vitesse du moteur **M1** est commandé par une tension U_C qui varie de **0 à 10 V**, lorsque le manche de la manette est poussé vers l'extrémité (α varie de 0° à $\pm 25^\circ$), par l'intermédiaire d'un convertisseur numérique/analogique (C.N.A à 8 bits) connecté au **PORTB** du microcontrôleur.

Tâche 5 : Restitution du signal U_C « consigne de vitesse du moteur M1 »

Le nombre N_C (vitesse consigne) est calculé par le microcontrôleur et généré sur le **PORTB**, ce nombre est converti en tension U_C par le C.N.A représenté sur le document **DRES 03**.

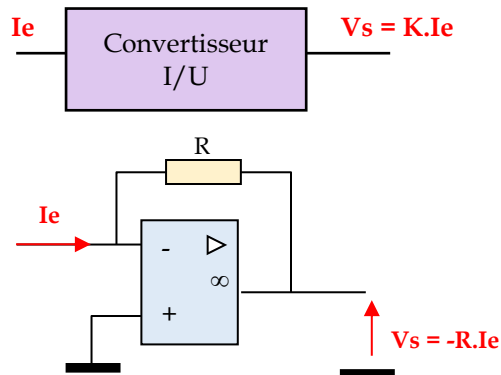
On donne : $U_C = \frac{U_{REF}}{2^8} \cdot N_C$ Avec $N_C = 2^7 \cdot RB_7 + 2^6 \cdot RB_6 + 2^5 \cdot RB_5 + 2^4 \cdot RB_4 + 2^3 \cdot RB_3 + 2^2 \cdot RB_2 + 2^1 \cdot RB_1 + 2^0 \cdot RB_0$

Q.46- Calculer la valeur de la tension U_{REF} du C.N.A pour avoir $U_C = 10$ V à pleine échelle. **2 pts**

Q.47- On admet que $U_C = 0,04 \cdot N_C$, calculer le nombre N_{Cm} (en décimal) permettant de sélectionner la vitesse minimale de déplacement du crochet correspondant à $U_C = 3$ V. **1 pt**

Voir la correction sur la page
www.albawaba.ma/2ste

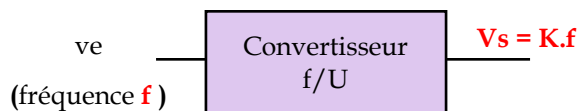
Conversion courant-tension



Ce convertisseur fournit une tension proportionnelle au courant qu'il reçoit.

Il peut être utilisé pour obtenir une sortie tension à partir d'un circuit à sortie courant comme une photodiode, un CNA à sortie courant...

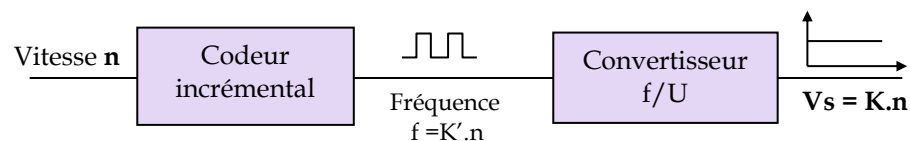
Conversion fréquence-tension



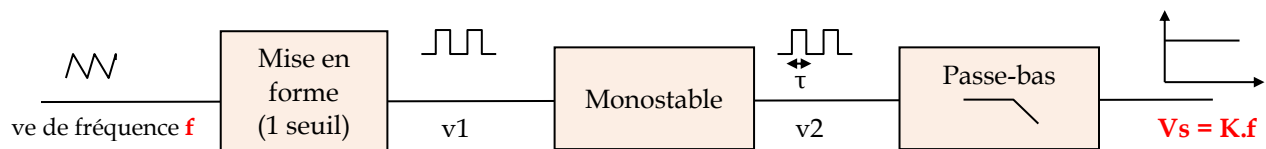
Permet de produire une tension continue proportionnelle à la fréquence du signal d'entrée.

Exemple d'application

Conversion en tension continue du signal en créneaux de sortie d'un codeur incrémental.



Principe

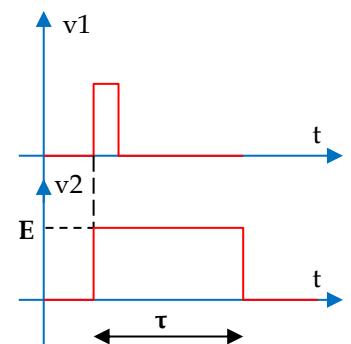


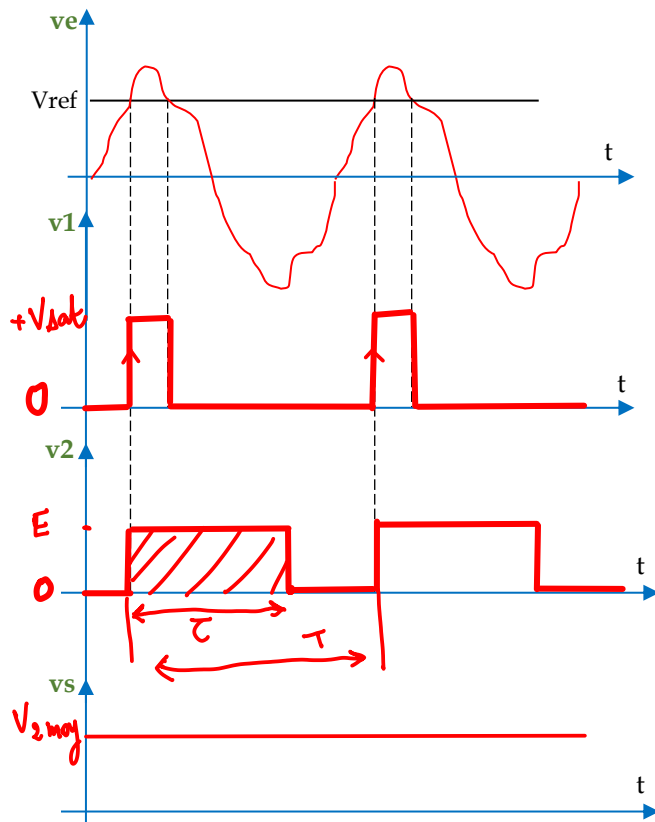
- Le **monostable** génère des impulsions calibrées de durée τ déterminée et d'amplitude E ;
- Le **filtre passe-bas** permet d'extraire la **valeur moyenne** du signal délivré par le monostable.

En effet selon la loi de Fourier, tout signal périodique est décomposable en sa composante continue et une série de composantes sinusoïdales.

$$V(t) = V_{\text{moy}} + V_1 \cdot \sin(2\pi f_1 \cdot t + \varphi_1) + V_2 \cdot \sin(2\pi f_2 \cdot t + \varphi_2) + \dots$$

Un filtre passe-bas de fréquence de coupure inférieure à la fréquence f_1 , laisse passer seule la valeur moyenne V_{moy} (composante continue).





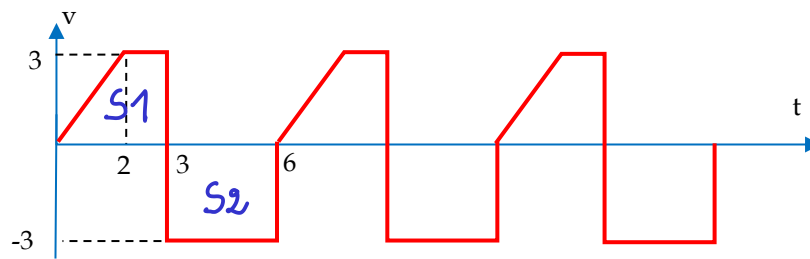
Vérification de la relation $v_s = K \cdot f$

$$v_s = V_{2 moy} = \frac{\sum A_{ires}}{T}$$

$$= \frac{E \cdot \tau}{T} = E \cdot \tau \cdot f = K \cdot f$$

(K est constante car ne dépend que des paramètres E et τ du monostable)

Exemple de calcul de la valeur moyenne d'un signal périodique



$$V_{moy} = \frac{\sum A_{ires}}{T} = \frac{S1 - S2}{T}$$

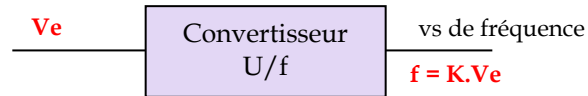
$$V_{moy} = \frac{\frac{(b+B)h}{2} - (L \times l)}{T}$$

$$V_{moy} = \frac{1}{6} \left[\frac{(1+3)3}{2} - 3 \times 3 \right] = \frac{1}{6} (6 - 9) = -\frac{1}{2} V$$

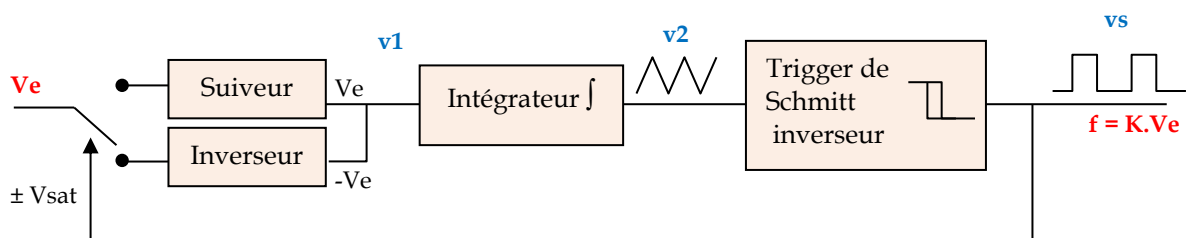
Conversion tension-fréquence

Cette conversion permet de produire un signal périodique de fréquence proportionnelle à la tension d'entrée.

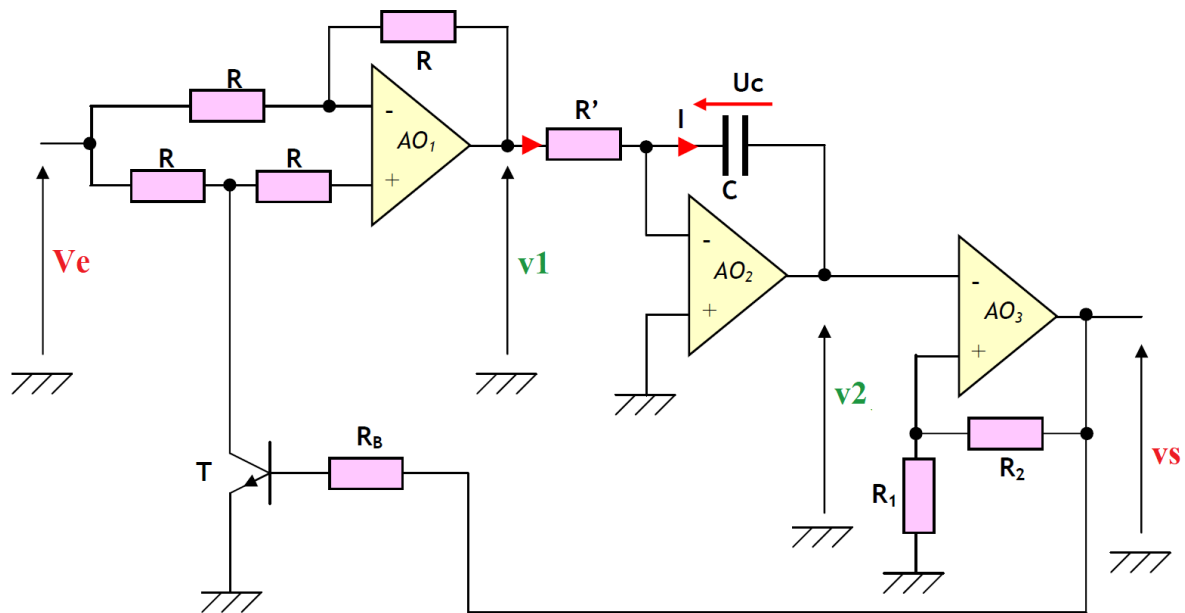
Application : réglage de la fréquence d'un générateur de signaux



⇒ Synoptique de la conversion



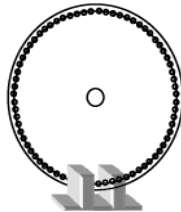
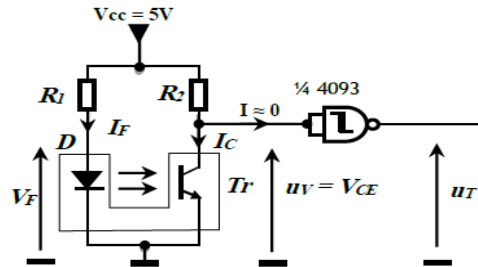
⇒ Exemple de réalisation



Exercice : examen national 2018, session de rattrapage
Tâche 3 : Mesure de la vitesse

La vitesse de rotation du moteur est acquise au moyen d'un codeur optique incrémental qui génère un signal carré de fréquence proportionnelle à la vitesse du moteur. Ce codeur est constitué :

- D'un disque comportant 72 trous (figure a) et fixé sur l'arbre de sortie du réducteur ;
- D'un détecteur optoélectronique à fourche lié au bâti et alimenté comme indiqué dans la figure b.


Figure a

Figure b

Les éléments du détecteur ont pour caractéristiques principales:

- Intensité du courant dans la diode électroluminescente : $I_F = 20 \text{ mA}$;
- Tension aux bornes de la diode D électroluminescente : $V_F = 1,5 \text{ V}$;
- Intensité maximale du courant dans le collecteur du phototransistor Tr lorsqu'il est saturé : $I_{CMAX} = 0,5 \text{ mA}$;
- Tension V_{CESAT} entre le collecteur et l'émetteur du phototransistor Tr lorsqu'il est saturé : $V_{CESAT} \approx 0 \text{ V}$.

Q31) Calculer les valeurs des résistances R_1 et R_2 .

4 pts

Q32) Suivant l'état du phototransistor (saturé ou bloqué), donner la valeur de la tension u_V en volts.

1 pt

Q33) On admet que la fréquence f du signal u_V est liée à la vitesse N_d du disque du codeur par la relation :

$$f = R \cdot N_d \text{ où } R = 72 \text{ (résolution du codeur) et } N_d \text{ étant en tr/s.}$$

Montrer que la fréquence f du signal u_V est liée à la vitesse du moteur N_{mot} (tr/min) par : $f = \frac{N_{mot}}{60} \cdot K \cdot R$

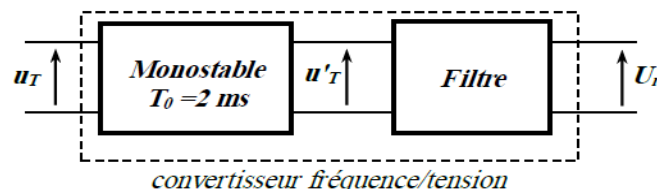
où $K = 1/25$ est le rapport de réduction.

2 pts

Q34) Sachant que la vitesse du moteur N_{mot} varie entre 200 et 4000 tr/min, calculer alors les fréquences f_{min} et f_{max} correspondantes.

2 pts

Après la mise en forme du signal u_V , le signal u_T est appliqué à l'entrée d'un convertisseur fréquence/tension constitué d'un monostable suivi d'un filtre comme l'indique la figure suivante :



convertisseur fréquence/tension

Le monostable génère une impulsion de 2 ms à chaque front montant de u_T .

Les chronogrammes des signaux u_T et u'_T sont représentés sur le document DRES 04.

On admet pour la suite que la fréquence f du signal u_T varie entre $f_{min} = 10 \text{ Hz}$ et $f_{max} = 200 \text{ Hz}$.

Q35) Exprimer U'_{Tmoy} (valeur moyenne de u'_T) en fonction de f .

1 pt

Q36) La tension u'_T peut être considérée comme la somme d'une composante continue U'_{Tmoy} (de fréquence nulle) et de plusieurs tensions sinusoïdales dont les fréquences sont supérieures ou égales à la fréquence f .

Quel est le type de filtre (passe-bas, passe-haut ou passe-bande) qui convient pour avoir une tension continue $U_r = U'_{Tmoy}$?

1 pt

Q37) Calculer alors $U_{r\min}$ et $U_{r\max}$ de la tension U_r correspondantes respectivement à $f_{\min}$ et à $f_{\max}$. **2 pts**

Q38) La tension U_r image de la vitesse est convertie par le module CAN (Convertisseur Analogique Numérique) intégré au microcontrôleur (voir schéma structurel du document **DRES 04**). La valeur numérique N de la conversion est donnée par la relation suivante :

$$N = 255 \cdot \frac{U_r - V_{REF-}}{V_{REF+} - V_{REF-}} \quad \text{avec } U_r \text{ est la tension à convertir, } V_{REF+} \text{ et } V_{REF-} \text{ sont des tensions de référence.}$$

Sachant que $V_{REF+} = 5 \text{ V}$ et $V_{REF-} = 0 \text{ V}$, calculer les deux valeurs numériques N_1 et N_2 de N correspondantes respectivement à $f_{\min}$ et à $f_{\max}$. **2 pts**

Voir la correction sur la page
www.abawaba.ma/2ste

Exercice : examen national 2022, session de rattrapage
⇒ Conditionnement

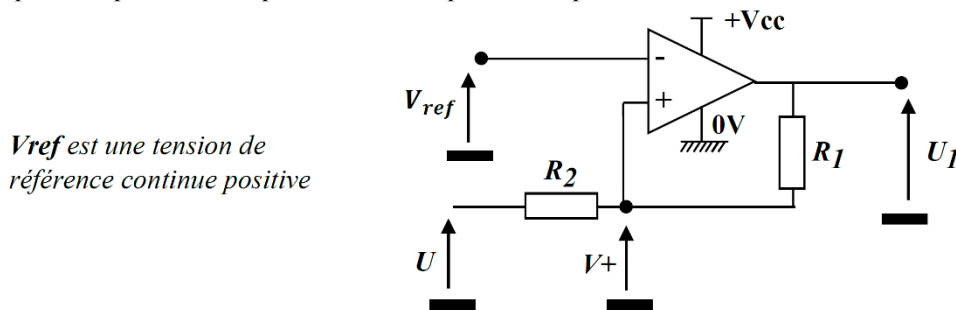
Le circuit de conditionnement du signal du capteur est conçu à base d'un convertisseur **fréquence-tension** et délivre une tension continue u_s proportionnelle à la vitesse de rotation n du moteur.

Voici, ci-dessous, une présentation synoptique du principe de la conversion fréquence-tension :


Mise en forme

Le circuit de mise en forme est un comparateur à deux seuils (trigger non inverseur) à base d'amplificateur opérationnel.

On admet que l'amplificateur opérationnel est parfait et que ses tensions de saturation sont $+V_{cc}$ et 0 V .



Q.36) Donner l'expression de V_+ en fonction de U , U_1 , R_1 et R_2 ;

1 pt

Q.37) En déduire que, au moment du basculement, $U = \frac{(R_1 + R_2)}{R_1} \cdot V_{ref} - \frac{R_2}{R_1} \cdot U_1$;

1 pt

Q.38) En déduire les expressions des seuils de basculement V_B (seuil bas) et V_H (seuil haut) ;

1 pt

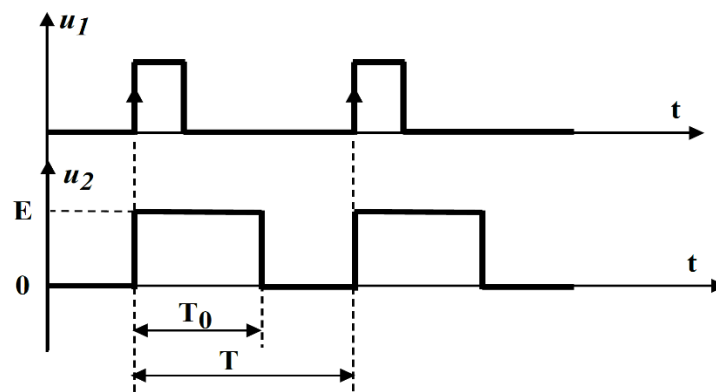
Q.39) Compléter le tracé de la caractéristique de transfert $u_1 = f(u)$ en indiquant les sens d'évolution ;

1,5 pt

Q.40) Tracer la courbe $u_1(t)$ en concordance de temps avec le signal $u(t)$ fourni.

2 pts
Monostable

Le circuit monostable génère à sa sortie une impulsion de durée calibrée T_0 et d'amplitude E à chaque fois qu'il reçoit un front sur son entrée. Les chronogrammes suivants illustrent la réponse u_2 d'un monostable actif sur le front montant :



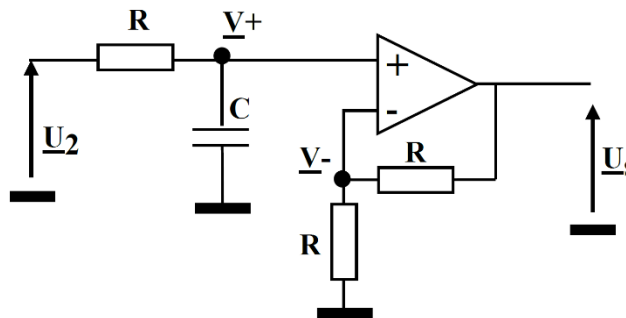
Q.41) Montrer que l'expression de la valeur moyenne (composante continue) de u_2 est $U_{2\text{moy}} = E.T_0.f$ (f : fréquence du signal u_2). **1,5 pt**

Filtre moyenneur

Le filtre a pour fonction d'extraire seule la valeur moyenne du signal u_2 issu du monostable (la valeur moyenne étant la composante continue de fréquence **0 Hz**).

Q.42) Quel type de filtre (passe-bas, passe-haut ou passe-bande) faut-il utiliser ? **1 pt**

Le schéma du montage du filtre est le suivant :



Q.43) Donner les expressions complexes du potentiel $\underline{V}^+$ en fonction de R , C et $\underline{U}_2$ et du potentiel $\underline{V}^-$ en fonction de $\underline{U}_s$; **2 pts**

Q.44) En déduire que la fonction de transfert complexe $\underline{A}_V = \frac{\underline{U}_s}{\underline{U}_2}$ du filtre s'écrit $\underline{A}_V = \frac{2}{1 + jRC\omega}$; **1 pt**

La fonction de transfert ainsi déterminée est de la forme $\underline{A}_V = A_0 \cdot \left(\frac{1}{1 + j\frac{\omega}{\omega_0}} \right)$.

Q.45) Préciser, par analogie, la valeur de l'amplification maximale A_0 ainsi que l'expression de la fréquence de coupure f_0 à -3 dB ; puis calculer, pour $R = 2 \text{ k}\Omega$ et $C = 15 \text{ }\mu\text{F}$, la valeur de f_0 . **2 pts**

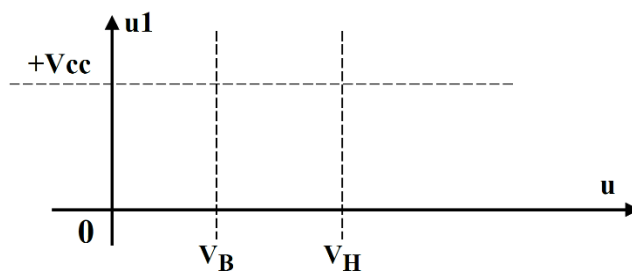
On donne les caractéristiques du monostable : $T_0 = 1 \text{ ms}$ et $E = 5 \text{ V}$.

Q.46) Déterminer la valeur de la tension de sortie U_s lorsque le moteur tourne à la vitesse $n = 1475 \text{ tr/min}$ sachant qu'à cette vitesse, la fréquence du signal de sortie du capteur est $f = 492 \text{ Hz}$. **2 pts**

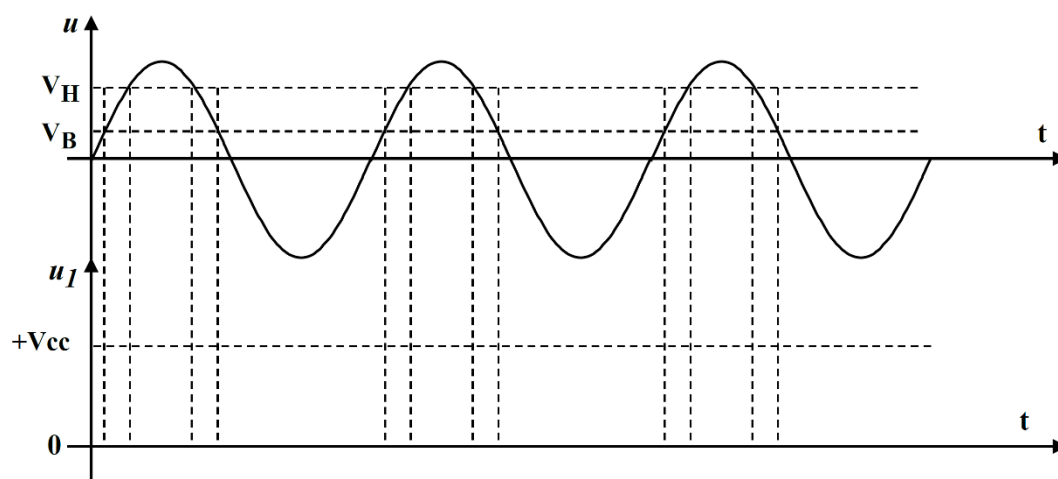
Voir la correction sur la page

www.abawaba.ma/2ste

Q.39)



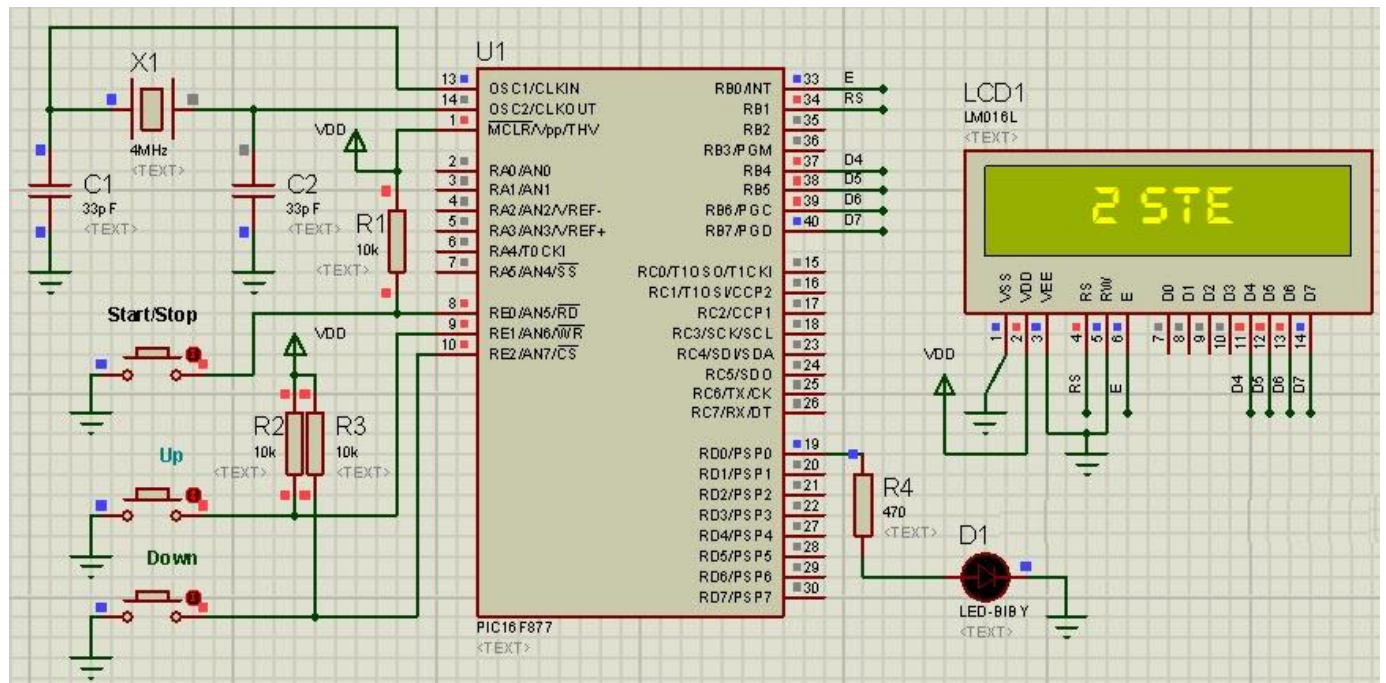
Q.40)

[illegible]

PARTIE

2

La fonction TRAITER



5

CIRCUITS LOGIQUES PROGRAMMABLES

Un circuit logique programmable **PLD** (Programmable Logic Device) est un composant logique dont on peut programmer le schéma selon la fonction souhaitée, combinatoire et/ou séquentielle.

Il apporte un gain dans la mesure où :

- Un seul circuit peut remplacer plusieurs ;
- La taille et le coût de la fonction implantée sont moindres.

Architecture d'un PLD

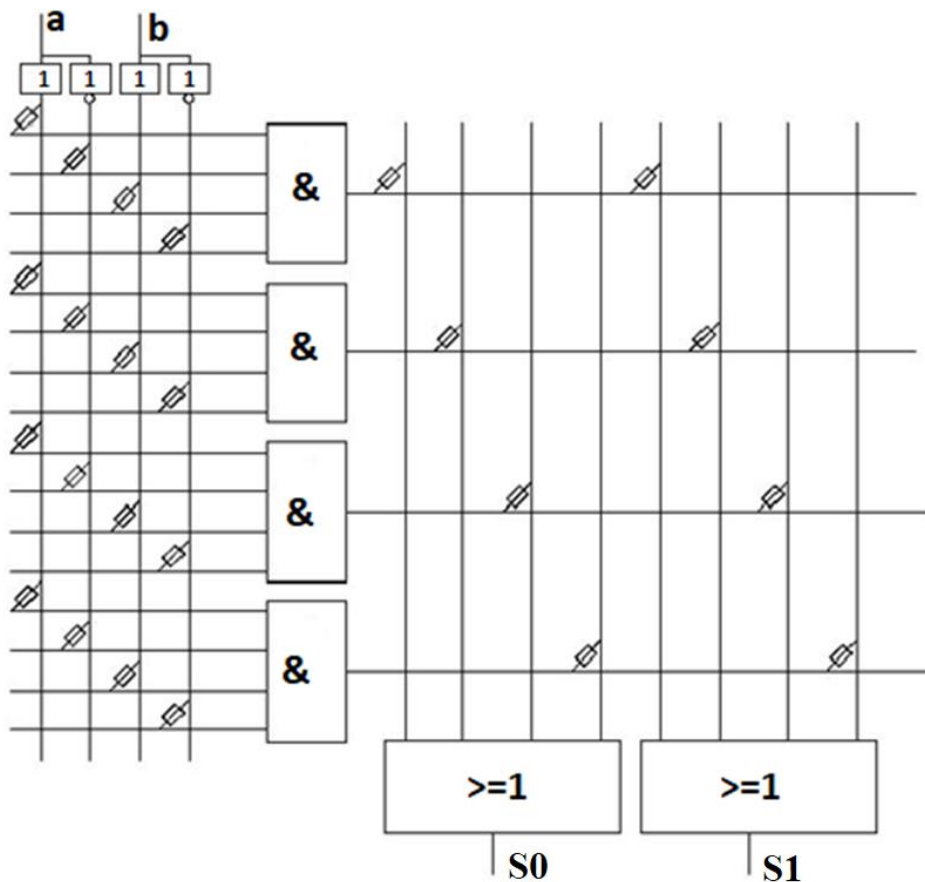
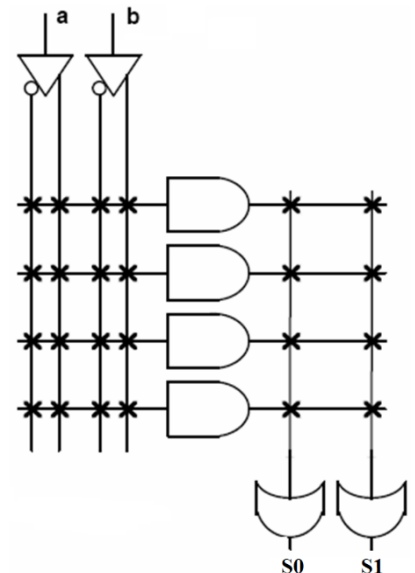
Toute fonction logique peut être réalisée par seules les portes logiques fondamentales ET, OU et NON.
Un PLD est bâti autour de ce concept.

La plupart des PLD adoptent l'architecture suivante :

- Une matrice d'opérateurs ET sur lesquels viennent se connecter les variables d'entrée ;
- Une matrice d'opérateurs OU sur lesquels les sorties des opérateurs ET sont connectées ;
- Une éventuelle structure de sortie (Portes inverseuses, bascules...).

Schéma de principe très simplifié (cas d'un PLD à 2 entrées et 2 sorties combinatoires)

⇒ Avant la programmation

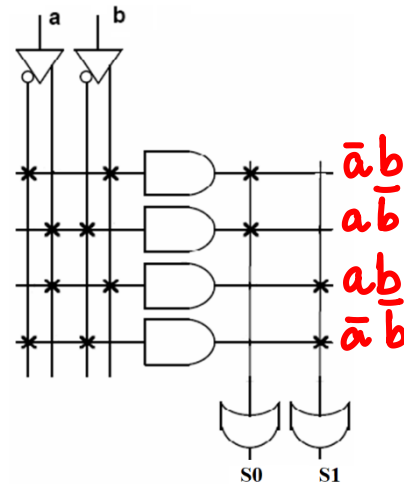
Représentation simplifiée

⇒ Après programmation

Les fonctions programmées ci-contre sont :

$$S0 = \bar{a}b + a\bar{b}$$

$$S1 = ab + \bar{a}\bar{b}$$



Exercice : générateur de parité à 3 entrées

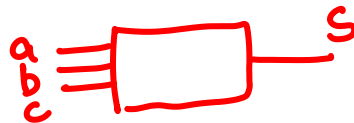
S = 1 si le nombre de 1 à l'entrée est impair ;
S = 0 sinon.

Table de vérité

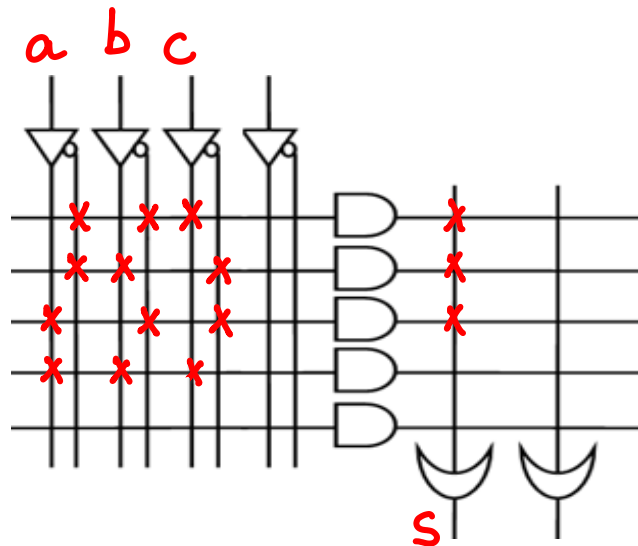
a	b	c	S
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

Équation

$$S = \bar{a}\bar{b}c + \bar{a}b\bar{c} + a\bar{b}\bar{c} + abc$$



État du PLD après programmation



⇒ Structure d'un programme ABEL

On y trouve :

- La section d'entête → **module**, **title** ;
- La section des déclarations → **declarations** (device, E/S, bus...) ;
- La section de description → **equations**, **truth_table**, **state_diagram** ;
- La déclaration de fin du fichier → **end**.

⇒ Déclarations

- **Pin** : permet d'affecter une broche d'E/S à une variable.

Exemples

```
e1, e2, A1 pin 2, 3, 4;      : entrées affectées aux broches 2, 3 et 4
d4 pin ;                    : entrée sans désignation de numéro de broche
s1 pin 12 istype 'com';      : sortie combinatoire associée à la broche 12
S0..S6 pin istype 'com';     : sorties combinatoires
S1 pin istype 'reg';         : sortie séquentielle
```

- On peut déclarer un bus ; il s'agit d'un ensemble de variables

Exemples **A = [b7..b0] ;** **N = [D2, D1, D0] ;**
 L'affectation **N = 5** entraîne **D2 = 1**, **D1 = 0** et **D0 = 1**.

⇒ Opérateurs

<u>Opérateurs logiques</u>	<u>Opérateurs relationnels</u>	<u>Opérateurs arithmétiques</u>
! NON	== Egal	- négation ou soustraction
& ET	!= Différent	+ Addition
# OU	< Inférieur	* Multiplication
\$ OU exclusif	<= Inférieur ou égal	/ Division
	> Supérieur	% Reste de la division
	>= Supérieur ou égal	

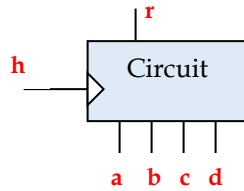
⇒ Instructions d'affectation et de test

- **S = a & !b # !a & b;** affectation pour une sortie combinatoire (symbole =)
A0 := !D1 & A0 & !D7; affectation pour une sortie séquentielle (symbole :=)
X = a < b X reçoit 1 si a < b et X reçoit 0 sinon
- La structure conditionnelle **WHEN (condition) THEN équation1 ; ELSE équation2 ;**
 Exemple when (E1 == 0) then S = a # b ; else S = a \$ b ;

⇒ Extensions

Les pins peuvent être suivis d'une extension leur associant une fonction particulière.

```
.CLK: Entrée horloge      .D : Entrée D d'une bascule D
.AR : Reset asynchrone    .J : Entrée J d'une bascule JK
.OE : Output Enable      .K : Entrée K d'une bascule JK
```



Dans cet exemple, on déclare que :

- L'entrée **h** est l'horloge des bascules de sortie ;
- L'entrée **r** effectue une mise à 0 asynchrone des sorties.

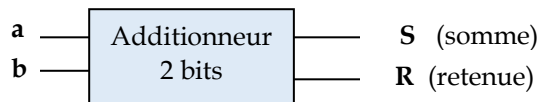
```

..
Declarations
h, r pin ;
a, b, c, d pin istype 'reg';
S = [a, b, c, d];
Equations
S.CLK = h ;
S.AR = r ;
..

```

Exercices

Exercice : additionneur 2 bits



a	b	S	R
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

$$S = \bar{a}b + a\bar{b} = a \oplus b$$

$$R = ab$$

Description par la table de vérité

```

MODULE additionneur
DECLARATIONS
  additionneur DEVICE 'P22V10' ;
  a, b PIN ;
  S, R PIN ISTYPE 'COM' ;
TRUTH_TABLE ( [a, b] -> [S, R] )
  [0, 0] -> [0, 0] ;
  [0, 1] -> [1, 0] ;
  [1, 0] -> [1, 0] ;
  [1, 1] -> [0, 1] ;
END additionneur

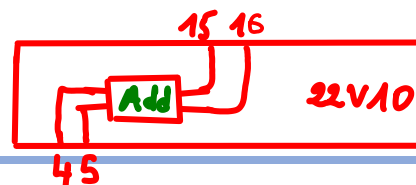
```

Description par les équations logiques

```

MODULE additionneur
DECLARATIONS
  additionneur DEVICE 'P22V10' ;
  a, b PIN 4, 5 ;
  S, R PIN 15, 16 ISTYPE 'COM' ;
EQUATIONS
  S = a $ b ;
  R = a & b ;
END additionneur

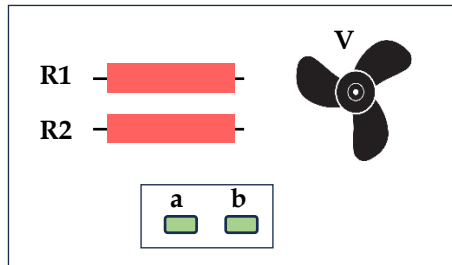
```



Exercice : radiateur de chauffage électrique

Le système de chauffage est équipé d'un radiateur électrique à deux allures de chauffe, comportant deux résistances **R1** et **R2** et un ventilateur **V**. Il est commandé par deux interrupteurs **a** et **b**.

- Par action sur **a** seul, la résistance **R1** seule est mise sous-tension ;
- Par action sur **b** seul ou sur **a** et **b** à la fois, les **deux résistances** et le **ventilateur** sont mis sous-tension.



module ... *radiateur*

Declarations

radiateur device 'P22V10';
a, b pin;
R1, R2, V pin. istype 'Com';

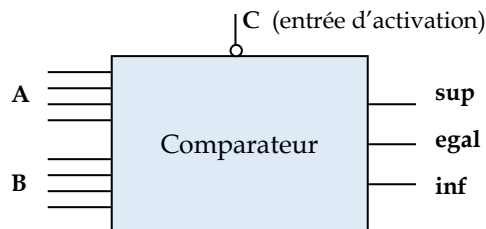
Truth_Table (*[a, b] → [R1, R2, V]*)

[0, 0] → [0, 0, 0];
[0, 1] → [1, 1, 1];
[1, 0] → [1, 0, 0];
[1, 1] → [1, 1, 1];

End *radiateur*

Exercice : comparateur 4 bits

$sup = 1 \text{ si } A > B$
 $inf = 1 \text{ si } A < B$
 $egal = 1 \text{ si } A = B$



module comparateur

Declarations

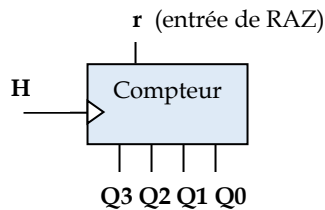
comparateur device 'P22V10';
a3, a2, a1, a0, b3, b2, b1, b0, c pin;
sup, egal, inf pin. istype 'Com';
A = [a3..a0]; B = [b3..b0];
S = [sup, egal, inf];

Equations

S.OE = !c;
when (A > B) then sup = 1; else sup = 0;
when (A < B) then inf = 1; else inf = 0;
when (A = B) then egal = 1; else egal = 0;

End *comparateur*

Exercice : compteur 4 bits avec mise à 0 asynchrone



```

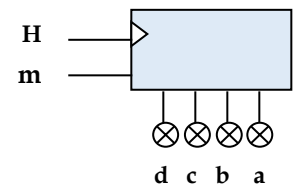
module ...Compteur
Declarations
    Compteur device 'P22V10';
    r, H pin ;
    q3, q2, q1, q0 pin utype 'REG';
    Q = [q3..q0];
equations
    Q.CLK = H;
    Q.AR = r;
    Q := Q + 1;
End ...Compteur

```

Exercice : chenillard à 4 LED

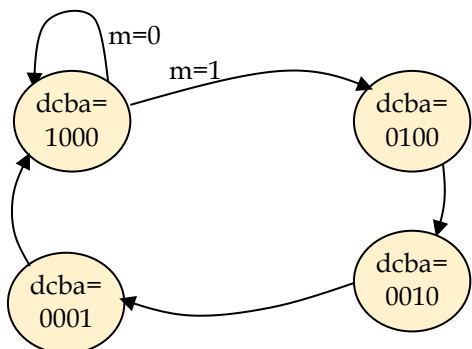
Au départ la Led **d** est allumée.

L'appui sur le bouton **m** lance une séquence de défilements vers la droite.



Le diagramme d'état est une représentation symbolique de l'enchaînement séquentiel des états de sortie d'un système.

Le diagramme d'état suivant illustre le cycle d'allumage désiré :



```

Module chenillard
DECLARATIONS
    chenillard device 'P22V10';
    H, m pin ;
    d, c, b, a pin utype 'reg';
    S = [d, c, b, a];
EQUATIONS
    S.CLK = H;
STATE_DIAGRAM .....S...
    State [1,0,0,0] : IF (m==1) THEN goto [0,1,0,0] ; else goto [1,0,0,0] ;
    state [0,1,0,0] : goto [0,0,1,0];
    state [0,0,1,0] : goto [0,0,0,1];
    state [0,0,0,1] : goto [1,0,0,0];
END chenillard

```

6

GRAFCET

Rappel

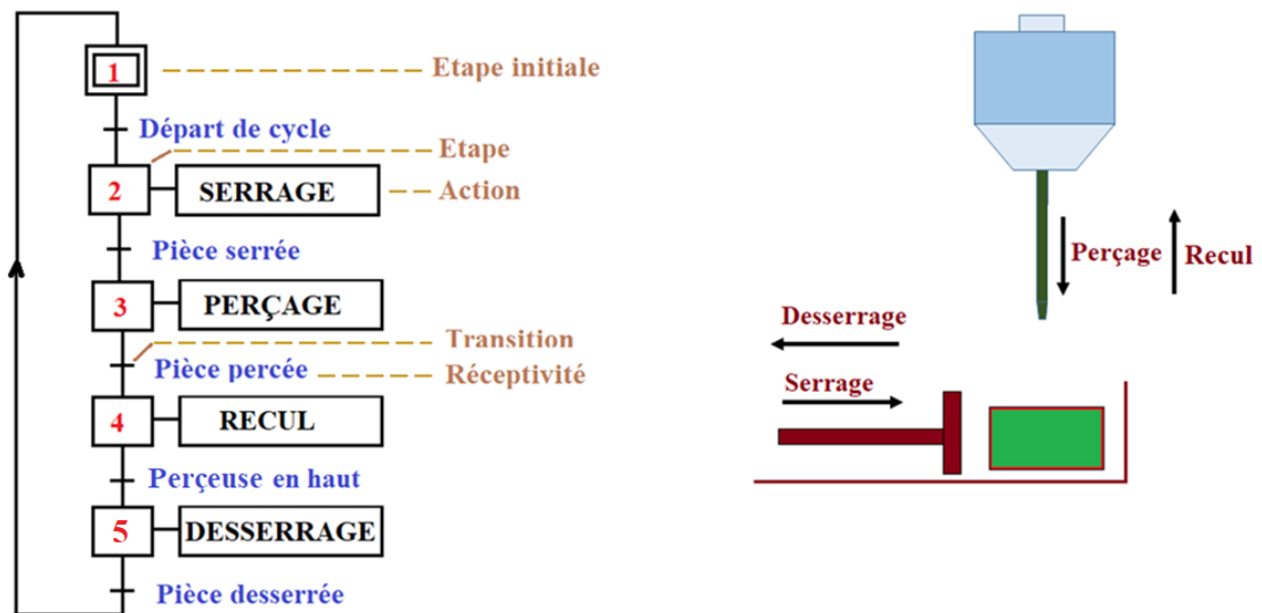
Le GRAFCET (Graphe Fonctionnel de Commande Étapes-Transitions) ou diagramme fonctionnel :

- ⇒ Est un outil de représentation du fonctionnement des systèmes automatisés séquentiels ;
- ⇒ Est un langage de programmation des automates programmables (API).

1. Concepts

Le GRAFCET décrit les cycles de fonctionnement par une succession d'étapes, de transitions et de liaisons orientées. Aux étapes, sont associées des actions et aux transitions, des réceptivités.

Exemple :



Évolution du grafcet

- L'étape 1 est initialement active ;
- Lorsque la réceptivité "départ de cycle" est vraie, la transition correspondante "1-2" est franchie ce qui provoque l'activation de l'étape 2 qui alors provoque la désactivation de l'étape 1 ;
- Pendant que l'étape 2 est active, se déroule l'action correspondante "SERRAGE " et si la réceptivité "pièce serrée" devient vraie, l'étape 3 s'active et l'étape 2 se désactive et ainsi de suite.

2. Structures du GRAFCET

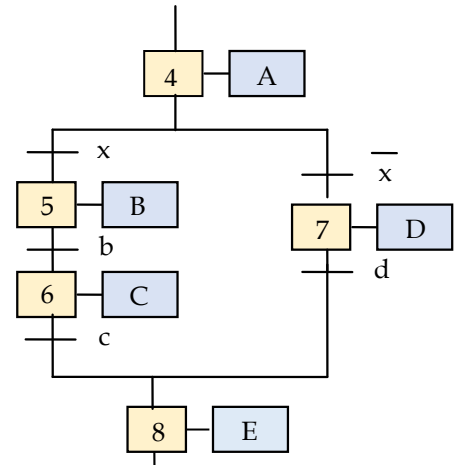
On distingue :

- GRAFCET à séquence unique (linéaire) ;
- GRAFCET à séquences multiples :
 - GRAFCET à sélection de séquences : séquences exclusives, saut d'étapes, reprise d'étapes ;
 - GRAFCET à séquences simultanées.

Séquences exclusives (aiguillage en OU)

Permet d'effectuer un choix unique d'évolution entre plusieurs séquences d'étapes.

Ici, il y a sélection entre la séquence 4-5-6-8 et la séquence 4-7-8 selon l'état de la réceptivité x .



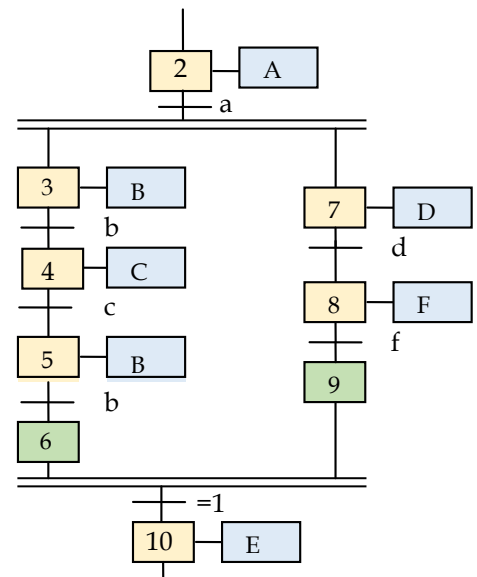
Séquences simultanées (aiguillage en ET)

Le franchissement d'une transition conduit à activer simultanément plusieurs séquences d'étapes qui s'exécuteront parallèlement mais indépendamment.

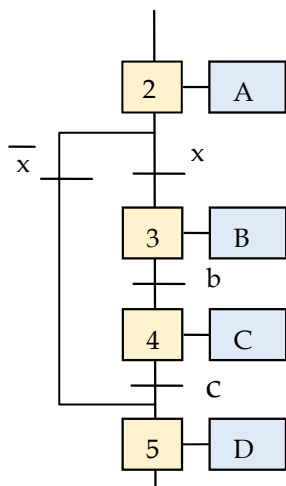
Ici, le franchissement de la transition "a" conduit à l'exécution simultanée des séquences 3-4-5-6 et 7-8-9.

Les séquences 3-4-5-6 et 7-8-9 évoluent indépendamment : par exemple, il n'est pas nécessaire que les étapes 4 et 8 s'activent en même temps.

Les étapes 6 et 9 sont des étapes d'attente. Une fois toutes les deux actives, l'étape 10 s'active immédiatement.



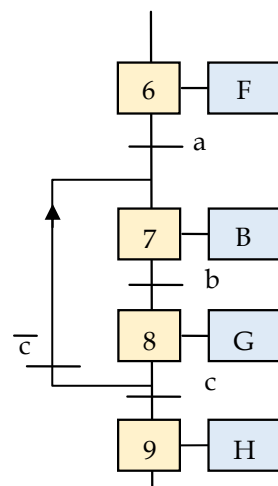
Saut d'étapes



Le saut d'étapes est un saut conditionnel d'une séquence d'étapes.

Ici, il y a saut de la séquence 3-4 si $x = 0$.

Reprise d'étapes



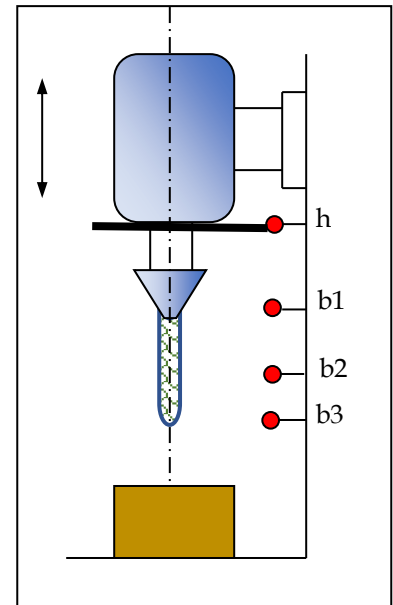
La reprise d'étapes permet de reprendre une ou plusieurs fois la même séquence.

Ici, la séquence 7-8 est répétée tant que $c = 0$.

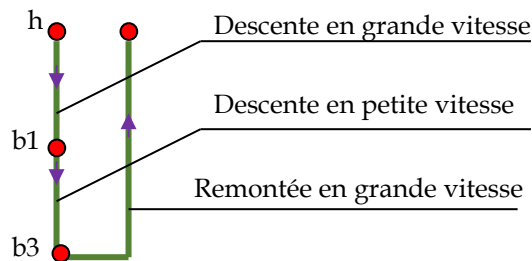
Exercice : perceuse automatique

Suivant la nature des pièces, l'opérateur de la perceuse peut choisir entre deux modes : le perçage avec déburrage ou sans déburrage.

Établir le GRAFCET du point de vue partie commande.
(La commande de la rotation de la broche n'est pas prise en compte)

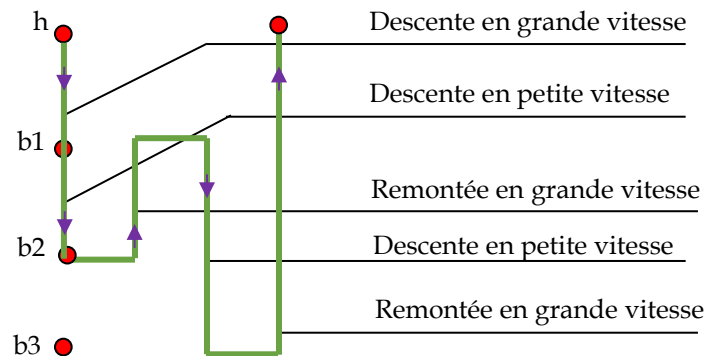


Cycle sans déburrage



Cycle avec déburrage

Pendant le déroulement du cycle, la broche effectue une remontée à une position intermédiaire (détectée par b2) afin de dégager le foret avant de terminer le perçage.



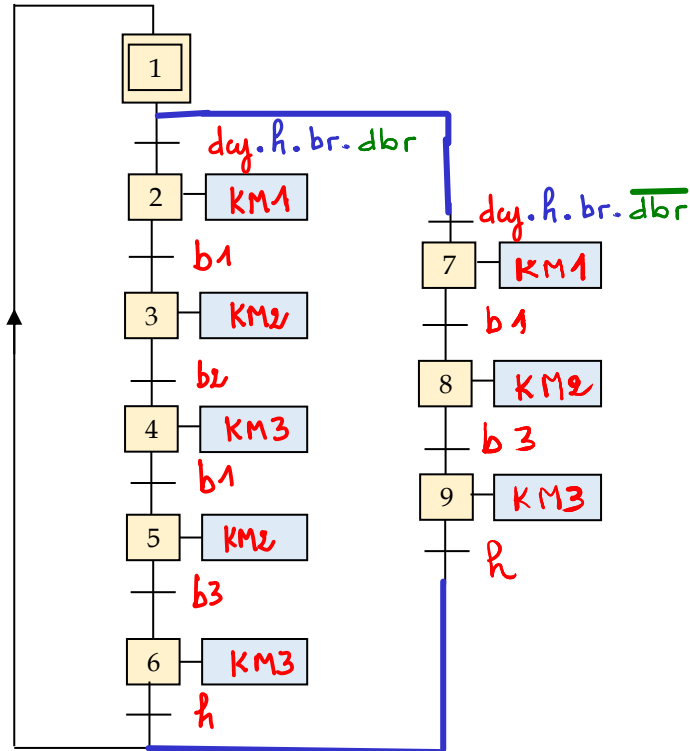
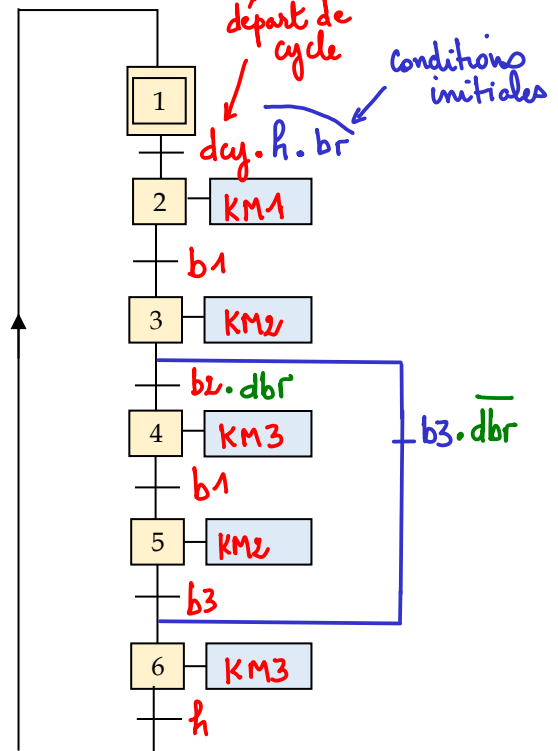
Actions

KM1 : contacteur descente en grande vitesse
KM2 : contacteur descente en petite vitesse
KM3 : contacteur montée en grande vitesse

Capteurs et éléments du pupitre

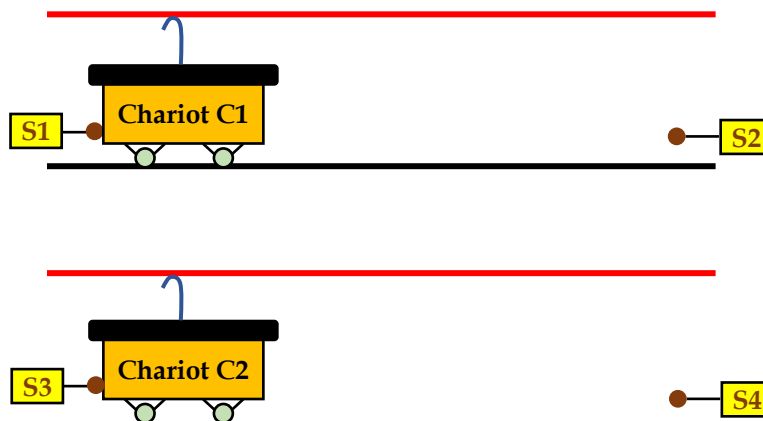
h : position haute
b1 : approche terminée
b2 : position intermédiaire
b3 : perçage terminé
br : broche en rotation

db $\overline{r}$ /d $\overline{b}$ r : commutateur avec déburrage/sans déburrage
dcy : Bp départ de cycle

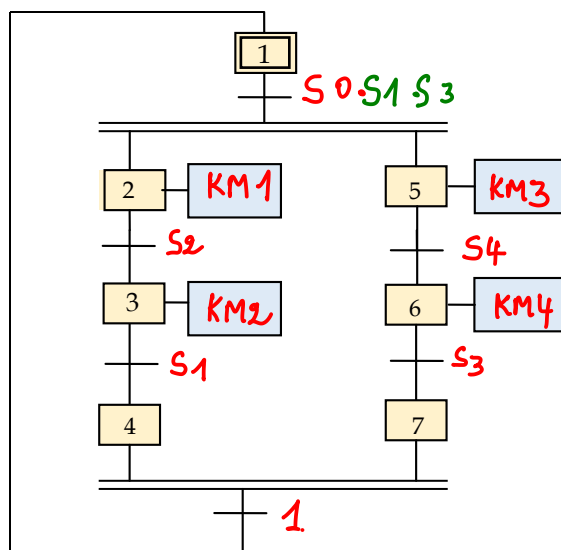
SolutionVariante**Exercice : Aller et retour de deux chariots**

Suite à l'action sur le bouton **S0**, les deux chariots se déplacent pour effectuer chacun un aller et retour. Le cycle se termine lorsque les deux chariots se retrouvent à leurs positions initiales.

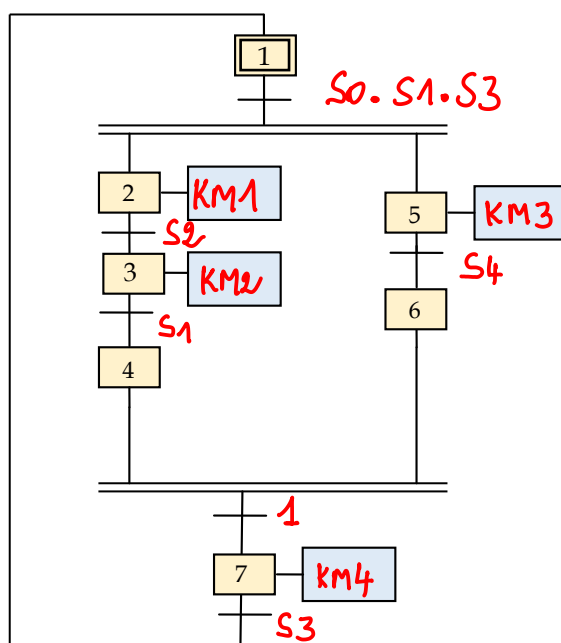
- Fournir le Grafcet de point de vue partie commande.



Mouvement	Actionneur	Préactionneur	Capteur
Déplacement avant de C1	M1	KM1	S2 : fin de déplacement avant
Déplacement arrière de C1		KM2	S1 : fin de déplacement arrière
Déplacement avant de C2	M2	KM3	S4 : fin de déplacement avant
Déplacement arrière de C2		KM4	S3 : fin de déplacement arrière



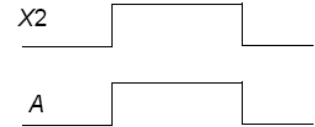
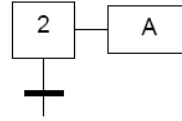
- Modifier le Grafcet si, maintenant, le retour du chariot C2 ne peut se faire qu'après le retour du chariot C1 à sa position initiale.



Actions associées aux étapes

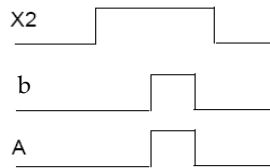
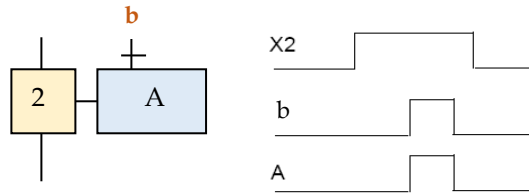
⇒ Action continue

L'action se poursuit tant que l'étape à laquelle elle est associée est active.



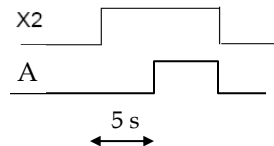
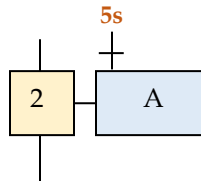
⇒ Action conditionnelle

Une action conditionnelle n'est exécutée que si l'étape est active et si la condition associée à cette étape est vraie.



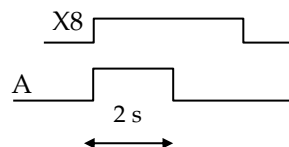
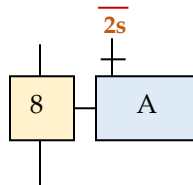
⇒ Action retardée

L'action est retardée par rapport à l'instant de l'activation de l'étape.



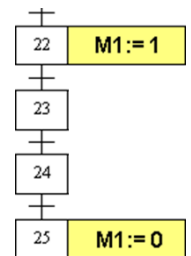
⇒ Action limitée

L'action limitée fonctionne pendant une durée depuis l'activation de l'étape.



⇒ Action mémorisée

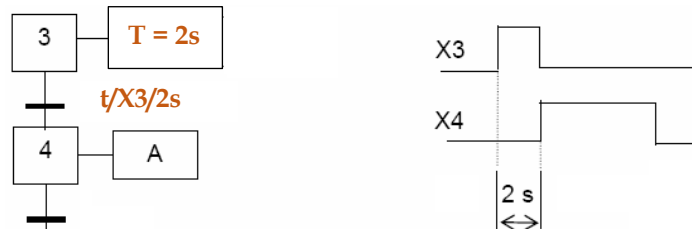
L'action se déroule sur plusieurs étapes. Il suffit d'indiquer les étapes de début et de fin de l'action. L'action M1 est active aux étapes 22, 23 et 24.



Réceptivités particulières

⇒ Réceptivité fonction du temps

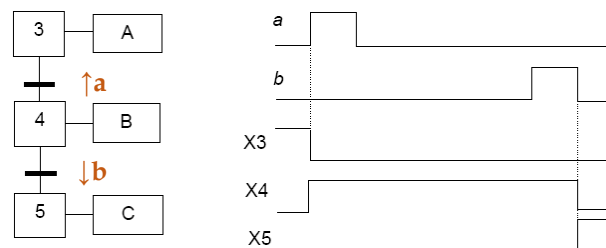
La réceptivité dépend d'une durée écoulée depuis l'activation d'une étape.



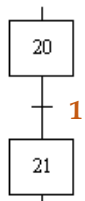
⇒ Réceptivité front

Il est fréquent que l'on ait à détecter dans un système le changement d'état d'une variable.

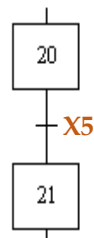
On représente ce changement d'état par : $\uparrow a$, pour le front montant de a et $\downarrow a$ pour le front descendant de a .



⇒ Réceptivité toujours vraie

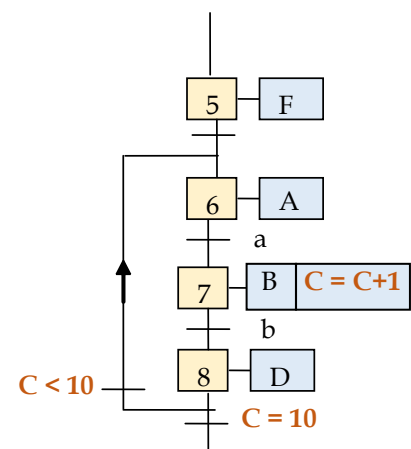


⇒ Variable associée à une étape



La variable X5, associée à l'étape 5, prend 1 si l'étape 5 est active et 0 dans le cas inverse.

⇒ Comptage



Ici, la séquence 6-7-8 est répétée 10 fois.

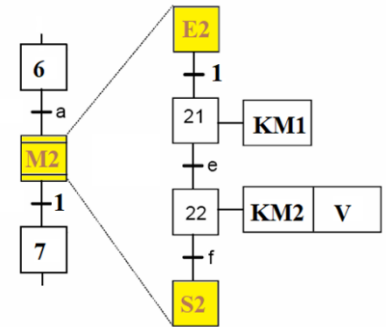
Structuration du GRAFCET

⇒ Macro étape

Une macro-étape est la représentation unique d'une portion du GRAFCET appelée **expansion**. Elle se substitue à une étape du GRAFCET.

L'expansion de macro-étape comporte une étape d'entrée notée E et une étape de sortie notée S.

L'utilisation des macro-étapes permet de simplifier l'écriture du GRAFCET.

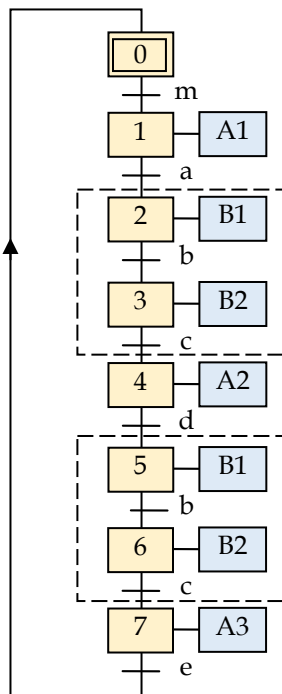


⇒ Synchronisation par tâche

Dans le but de simplifier l'écriture de certains GRAFCET ou lorsqu'une suite de séquences apparaît plusieurs fois dans un GRAFCET, on est amené à définir des **tâches** que l'on peut appeler à partir d'un GRAFCET principal dit **GRAFCET de coordination** des tâches ou **Grafcet principal**.

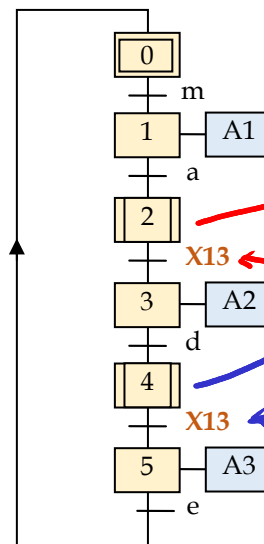
Dans l'exemple suivant, on va déléguer les séquences 2-3 et 5-6 à une tâche évitant ainsi la répétition.

GRAFCET initial

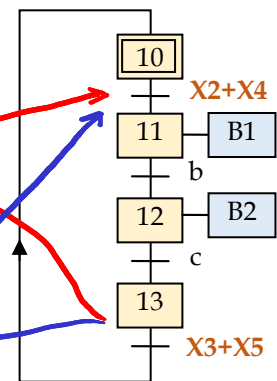


Transformation

GRAFCET de coordination



GRAFCET de tâche



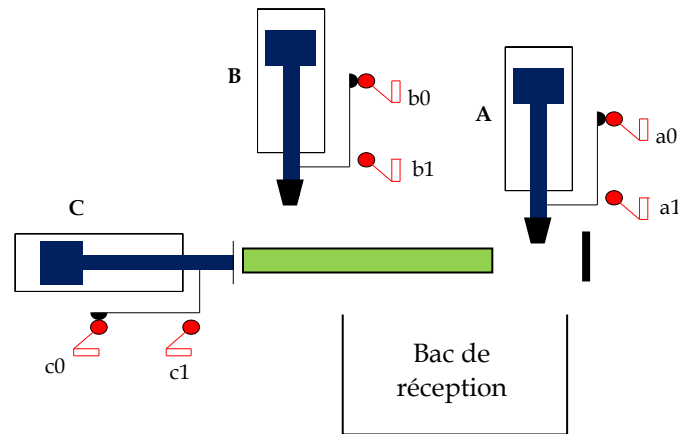
X2+X4 : information de début de la tâche

X13 : information de fin de la tâche

X3+X5 : information de réinitialisation de la tâche

Exercice : cintreuse de tubes

Le système permet le cintrage de tubes d'aluminium. Ces tubes sont ensuite intégrés à un système d'arrosage rotatif de jardin. C'est grâce au cintrage de ces tubes que la rotation de l'arroseur est effectuée.



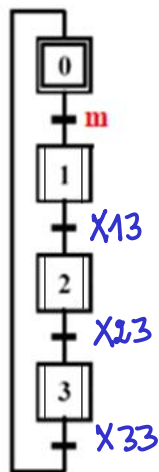
Dès l'appui sur un bouton poussoir **m**, le vérin **C** agit pour mettre le tube en position de cintrage. Le vérin **A** descend alors pour effectuer l'opération de cintrage. Le tube traité est, ensuite, évacué dans le bac de réception grâce au vérin **B**.

L'objectif est d'établir un Grafcet décomposé en 3 tâches :

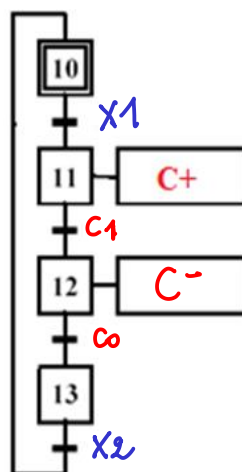
- Positionner le tube en butée ;
- Cintrer le tube ;
- Évacuer le tube dans le bac de réception.

Compléter cette solution.

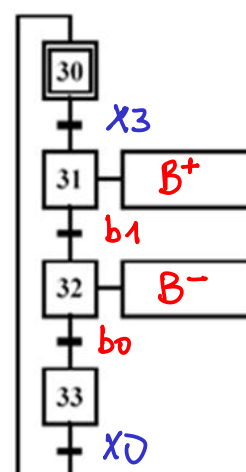
GRAFCET de coordination des tâches



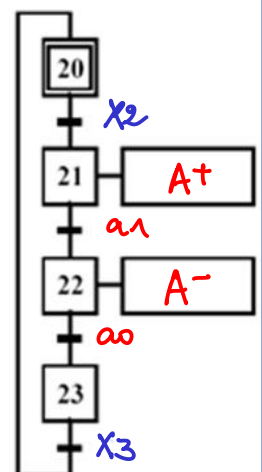
Tâche POSITIONNER



Tâche EVACUER



Tâche CINTRER



Implantation du GRAFCET dans un automate

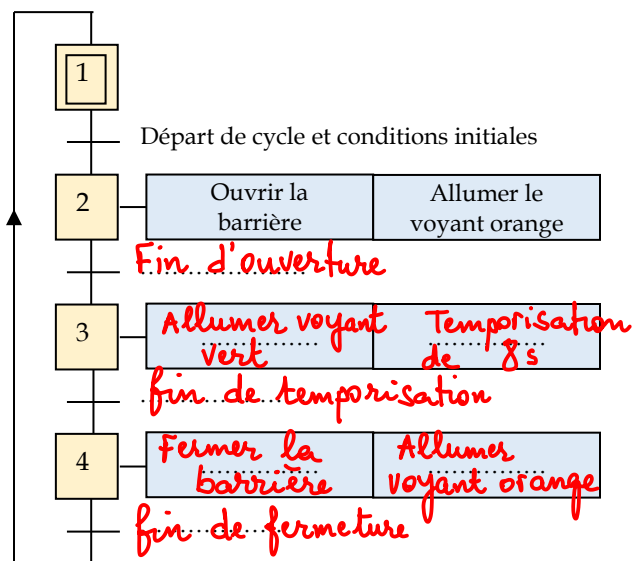
On considère le support technique "barrière automatique" qu'on désire commander selon les séquences suivantes :

- Le système étant au repos, si on appuie sur la télécommande **U2**, la barrière s'ouvre (**KA4**) en même temps que le voyant orange **H4** s'allume ;
- Une fois la barrière ouverte (**S1**), le voyant vert **H1** s'allume ;
- Après 8 s, la barrière se referme (**KA5**) et le voyant orange **H4** s'allume ;
- Lorsque la barrière est fermée (**S2**), le cycle se termine.

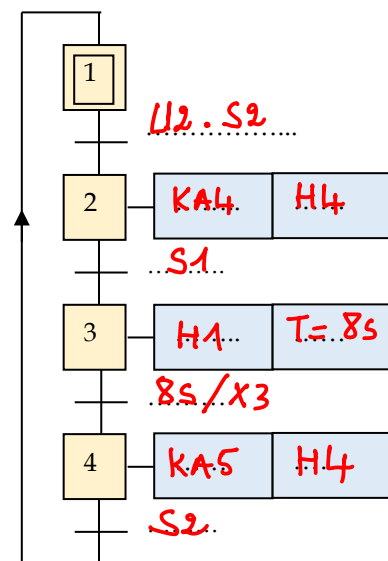
⇒ Étude du GRAFCET

- Compléter le GRAFCET d'un point de vue système et celui d'un point de vue partie commande.

GRAFCET de point de vue système



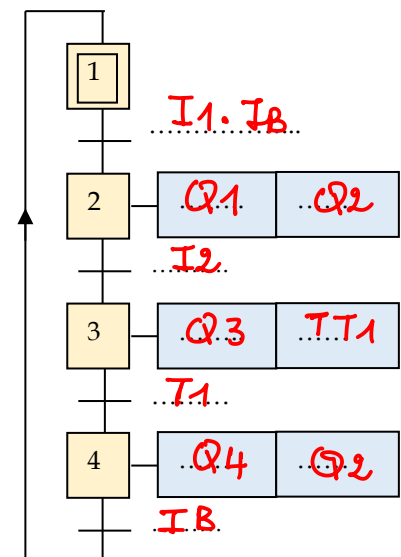
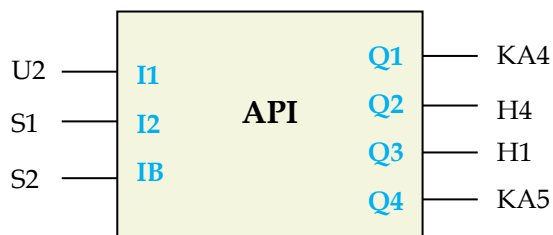
GRAFCET de point de vue partie commande



⇒ GRAFCET de point de vue automate

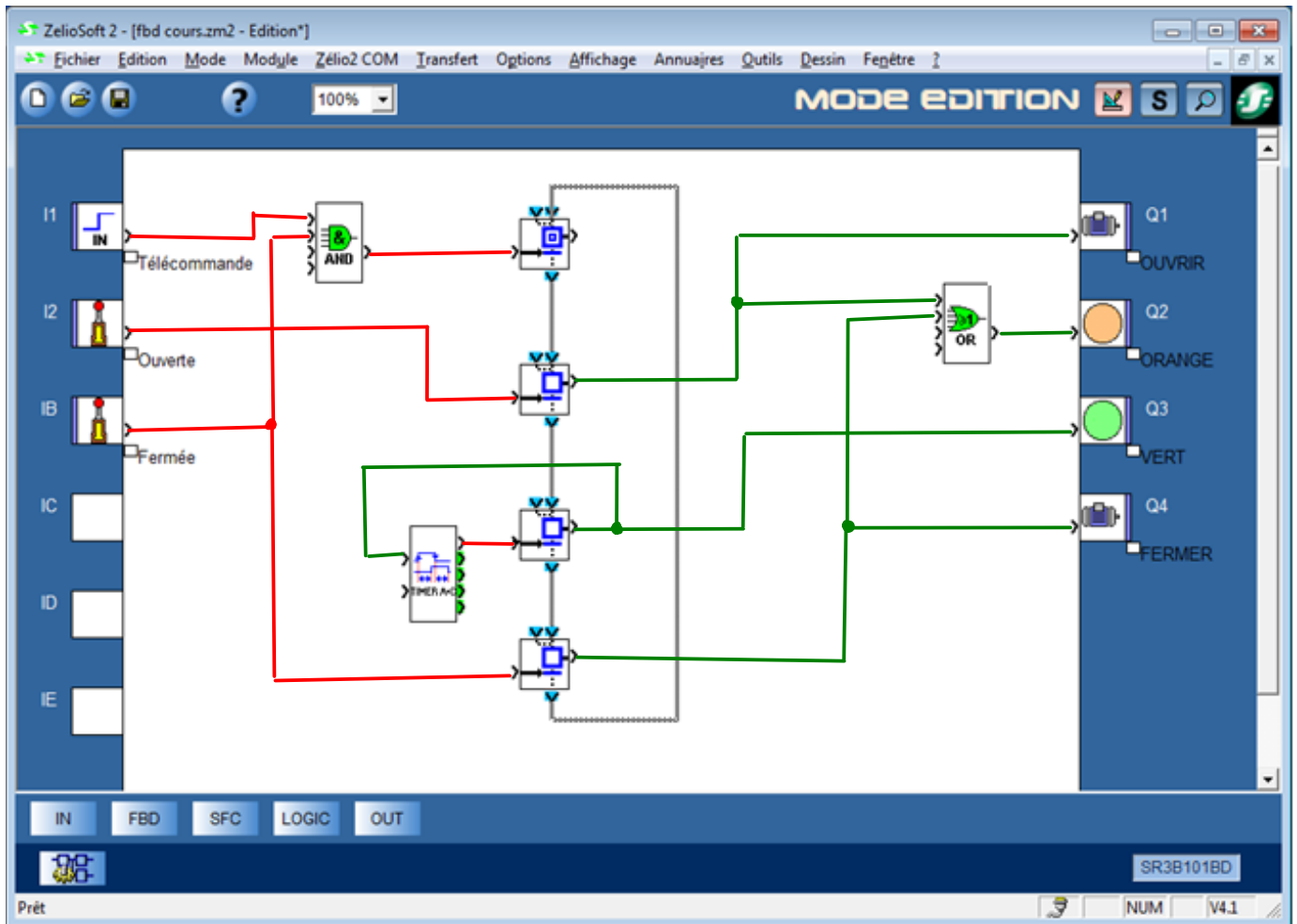
L'API équipant la barrière automatique est le module SR3B101BD doté de 6 entrées (I1, I2, IB, IC, ID, IE) et de 4 sorties (Q1, Q2, Q3, Q4).

- Le schéma bloc suivant, propose une affectation des entrées / sorties à l'automate, compléter le GRAFCET du point de vue API.



⇒ Programmation de l'API par le langage FBD

- Ci-après le schéma FBD à implanter dans l'automate via le logiciel ZelioSoft ; compléter-le



⇒ Programmation de l'API par le langage LADDER

- Effectuer la mise en équations du GRAFCET.

Etape	Activation	Désactivation
1	SM1 = $\neg M4 \cdot \neg IB$	RM1 = $M2$
2	SM2 = $\neg M1 \cdot \neg I1 \cdot IB$	RM2 = $M3$
3	SM3 = $\neg M2 \cdot \neg I2$	RM3 = $M4$
4	SM4 = $\neg M3 \cdot \neg T1$	RM4 = $M1$

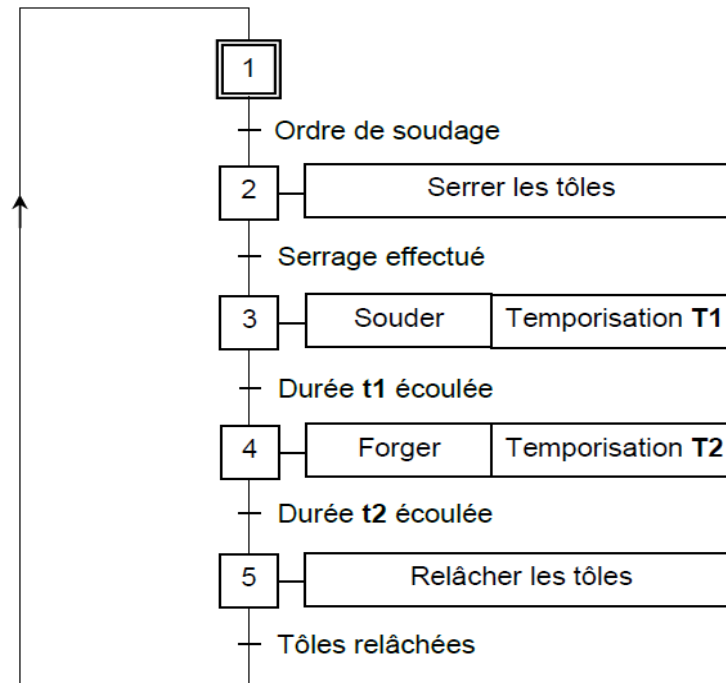
Action
Q1 = $\neg M2$
Q2 = $\neg M2 + M4$
Q3 = $\neg M3$
Q4 = $\neg M4$
T1 = $M3$

- Compléter le programme LADDER

Contact 1	Contact 2	Contact 3	Contact 4	Contact 5	Bobine	Commentaire
M4	IB				SM1	Activation étape 1
M2					RM1	Désactivation étape 1
M1	I1	IB			SM2	Activation étape 2
M3					RM2	Désactivation étape 2
M2	I2				SM3	Activation étape 3
M4					RM3	Désactivation étape 3
M3	I1				SM4	Activation étape 4
M1					RM4	Desactivation etape 4
M2					Q1	OUVRIR
M2					Q2	ORANGE
M4						
M3					Q3	VERT
M4					Q4	FERMER
M3					TT1	TEMPORISATEUR

Exercice 1 : examen national 2019, session normale
B. ETUDE DE LA COMMANDE DE LA TETE DE SOUDAGE

Le cycle de soudage d'un point peut être décrit par le grafct fonctionnel suivant.(on suppose que l'accostage est déjà effectué)



La commande de la tête de soudage se fait à l'aide d'un automate programmable (**API**) dont les affectations des entrées / sorties sont données par le tableau suivant :

<i>Action / Information</i>	<i>Entrée/Sortie API</i>
Serrage et forgeage	Q1
Relâchement	Q2
Soudage	Q3
Ordre de soudage	I1
Serrage effectué	I2
Relâchement effectué	I3

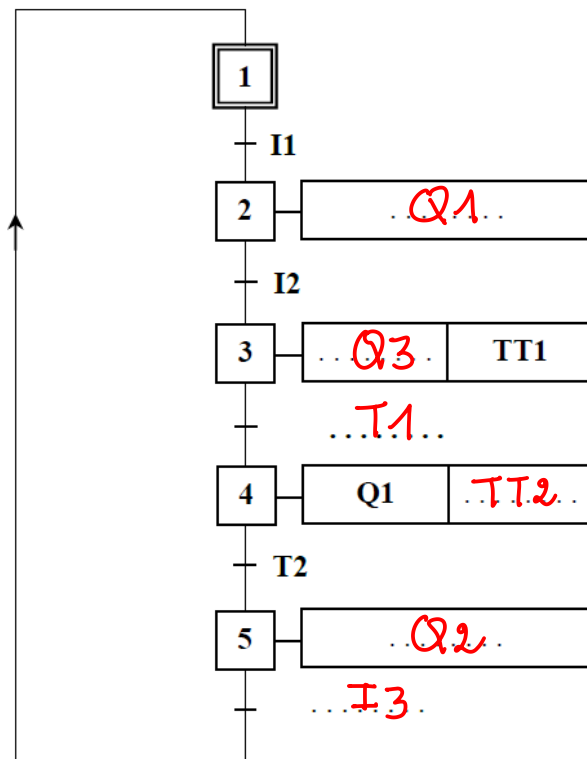
Question : 42. Compléter le grafct de point de vue **API**.

[3 pts]

Question : 43. Compléter le programme, en langage **LADDER**, traduisant le grafct point de vue **API**.

[3 pts]

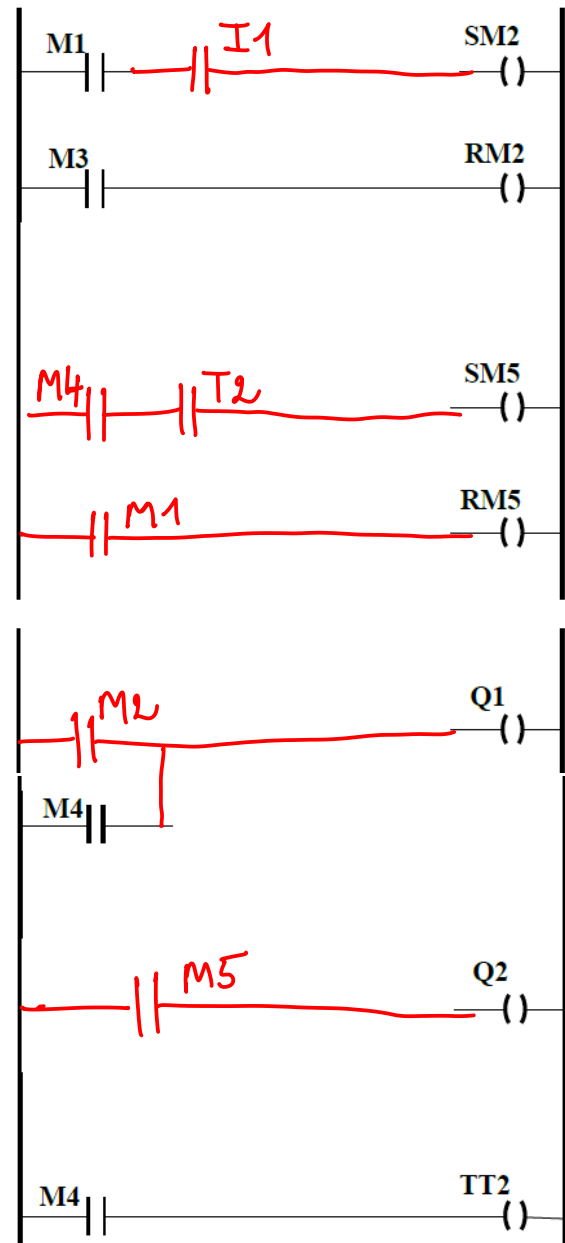
Question : 42. [3 pts]

**Rappel :**

À chaque temporisateur sont associés 2 bobines (TTx et RTx) et un contact Tx :

- bobine TTx : entrée de déclenchement de la temporisation numéro x (x=1,2 ou 3...);
- bobine RTx : entrée de remise à zéro ;
- Contact Tx : sortie de fin de temporisation.

Question : 43 [3 pts]



Exercice 2 : examen national 2020, session normale**Tâche 2 : GRAFCET et programme LADDER**

En se référant aux documents ressources **DRES 03** et **DRES 04** ; compléter :

Q47- Le GRAFCET du point de vue **API**.

4,5 pts

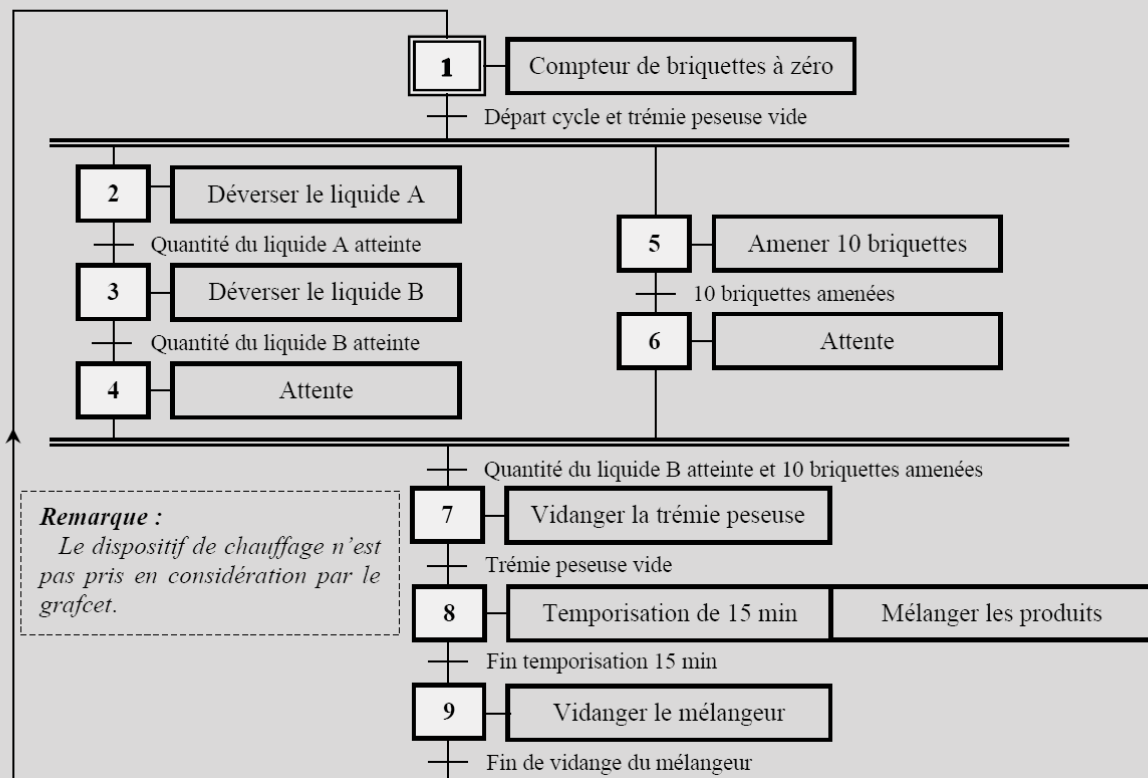
Q48- Le programme Ladder correspondant :

5,5 pts

- aux étapes **1, 2, 5 et 7**.
- aux actions **CC1, Q5 et Q6**.

GRAFCET fonctionnel du système**DRES 03**

Selon le cahier des charges les différentes fonctionnalités séquentielles du système sont décrites par le GRAFCET du point de vue système suivant :

**Configuration matérielle de l'A.P.I**

Identification et affectation des sorties

Actions	Actionneurs	Préactionneurs	Sorties API
Déverser le liquide A	Électrovanne V_A	Contacteur KVA	Q1
Déverser le liquide B	Électrovanne V_B	Contacteur KVB	Q2
Vidanger la trémie peseuse	Électrovanne V_C	Contacteur KVC	Q3
Amener une briquette	Moteur MR2	Contacteur KM1	Q4
Mélanger les produits	Moteur MR1	Contacteur KM2	Q5
Vidanger le mélangeur	Électrovanne V_D	Contacteur KVD	Q6
Compter le nombre de briquettes	Compteur interne n°1 de l'API		CC1
Remettre à zéro le compteur			RC1
Définir le temps de malaxage (15 min)		Temporisateur interne n°1 de l'API	TT1

Identification et affectation des entrées

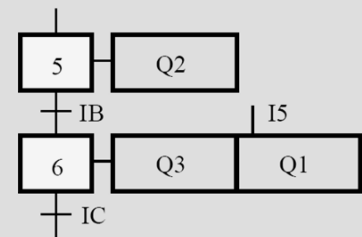
Consignes/Comptes rendus	Boutons/Capteurs	Entrées API
Initialisation	Bouton poussoir Init	I1
Départ cycle	Bouton poussoir Dcy	I2
Fin de vidange du mélangeur	Bouton poussoir Fv	I3
Quantité du liquide A atteinte	Capteur de force + Conditionneur	P_A
Quantité du liquide B atteinte		P_B
Trémie peseuse vide		P₀
Briquelette amenée	Détecteur optique Pi	I7
Nombre de briquettes dans le mélangeur = 10	Contact interne C1 du compteur	
Fin de la temporisation de 15 min	Contact interne T1 du temporisateur	

Langage LADDER

DRES 04

Action conditionnelle :

- L'action **Q1** est conditionnelle ;
- L'action **Q1** est effective lorsque l'étape **6** est active et la condition **I5** est vraie ;
- L'équation de Q1 est : **Q1 = M6.I5**

Bloc compteur :

L'A.P.I possède plusieurs blocs compteurs de C1 ... Cn.

Le bloc fonction compteur permet de compter ou décompter des impulsions jusqu'à une valeur de présélection.

À chaque compteur sont associées 3 bobines (**RC_x**, **CC_x** et **DT_x**) et un contact **C_x** :

- Bobine **CC_x** : entrée de comptage ou de décomptage de numéro x (x = 1, 2 ou 3...) ;
- Bobine **DC_x** : entrée du sens de comptage (le bloc décompte si cette entrée est activée) ;
- Bobine **RC_x** : entrée de remise à zéro du compteur ;
- Contact **C_x** : sortie de fin de comptage.

Le compteur **1** est paramétré à **10** donc le contact associé **C1** se ferme lorsque le compteur atteint la valeur de présélection **10**.

Bloc temporisateur :

L'A.P.I possède plusieurs blocs temporisateurs de T1 ... Tm.

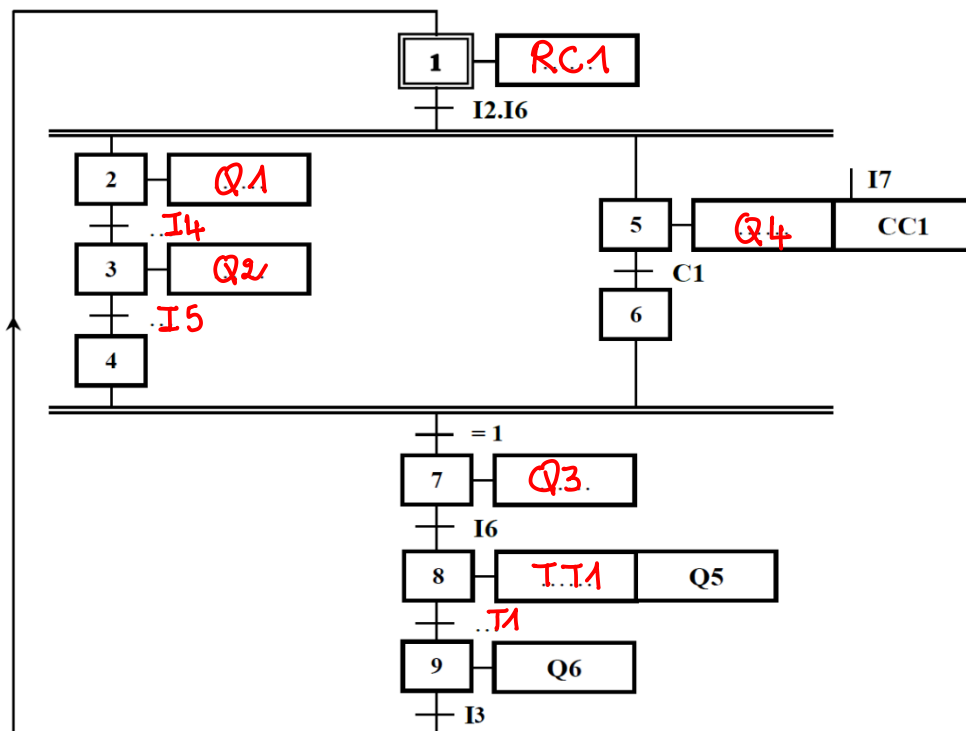
Le bloc fonction temporisateur permet de temporiser des actions.

À chaque temporisateur sont associées 2 bobines (**TT_x** et **RT_x**) et un contact **T_x** :

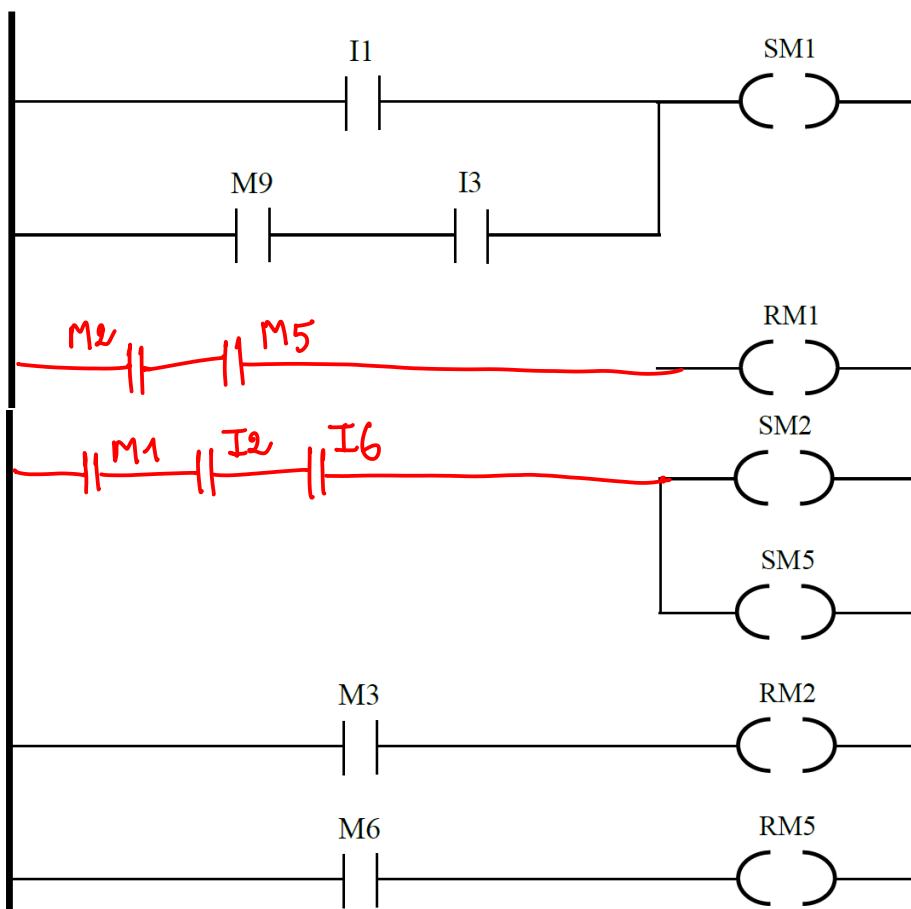
- Bobine **TT_x** : entrée de lancement de la temporisation de numéro x (x = 1, 2 ou 3...) ;
- Bobine **RT_x** : entrée de remise à zéro ;
- Contact **T_x** : sortie de fin de temporisation.

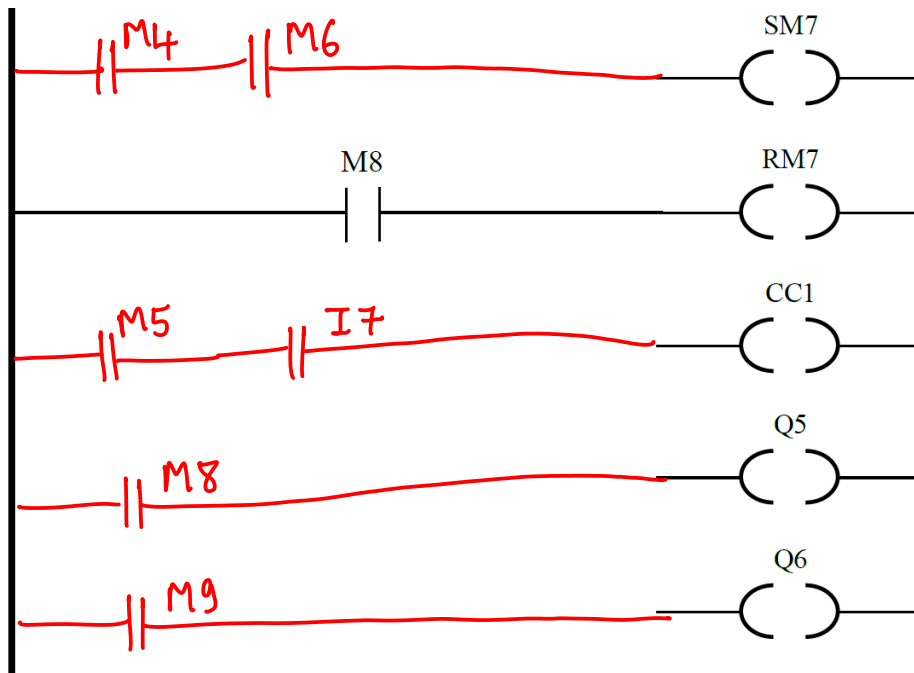
Le temporisateur **1** est paramétré à **15** min donc le contact associé **T1** se ferme **15** min après le déclenchement de la temporisation.

Q47- [4,5 pts]



Q48- [5,5 pts]





Exercice 3 : examen national 2021, session de rattrapage

Les différentes fonctionnalités séquentielles du système sont décrites par le GRAFCET global du point de vue fonctionnel donné au document ressources **DRES 03**.

Le GRAFCET de sécurité arrête la production (force le GRAFCET de production à son état initial) en cas d'éventuel défaut ou après un arrêt d'urgence.

Tâche 1 : GRAFCET et programme LADDER

En se référant aux documents ressources **DRES 03** et **DRES 04**, compléter :

Q37- Le GRAFCET du point de vue *API*.

5 pts

Q38- Le programme Ladder correspondant :

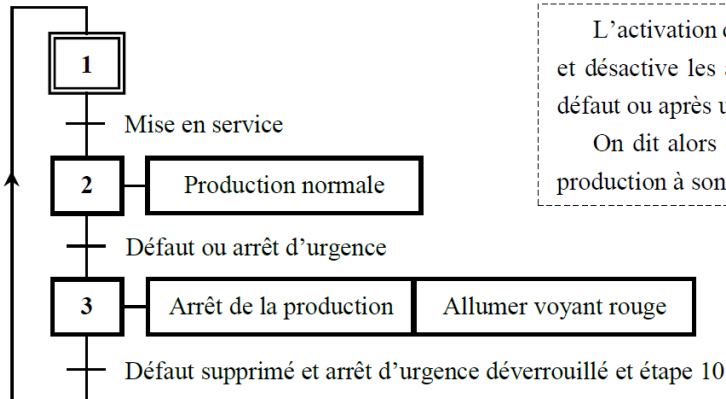
6 pts

- aux étapes **10, 11 et 15** ;
- aux actions **TT4 et Q6**.

GRAFCET fonctionnel du système

DRES 03

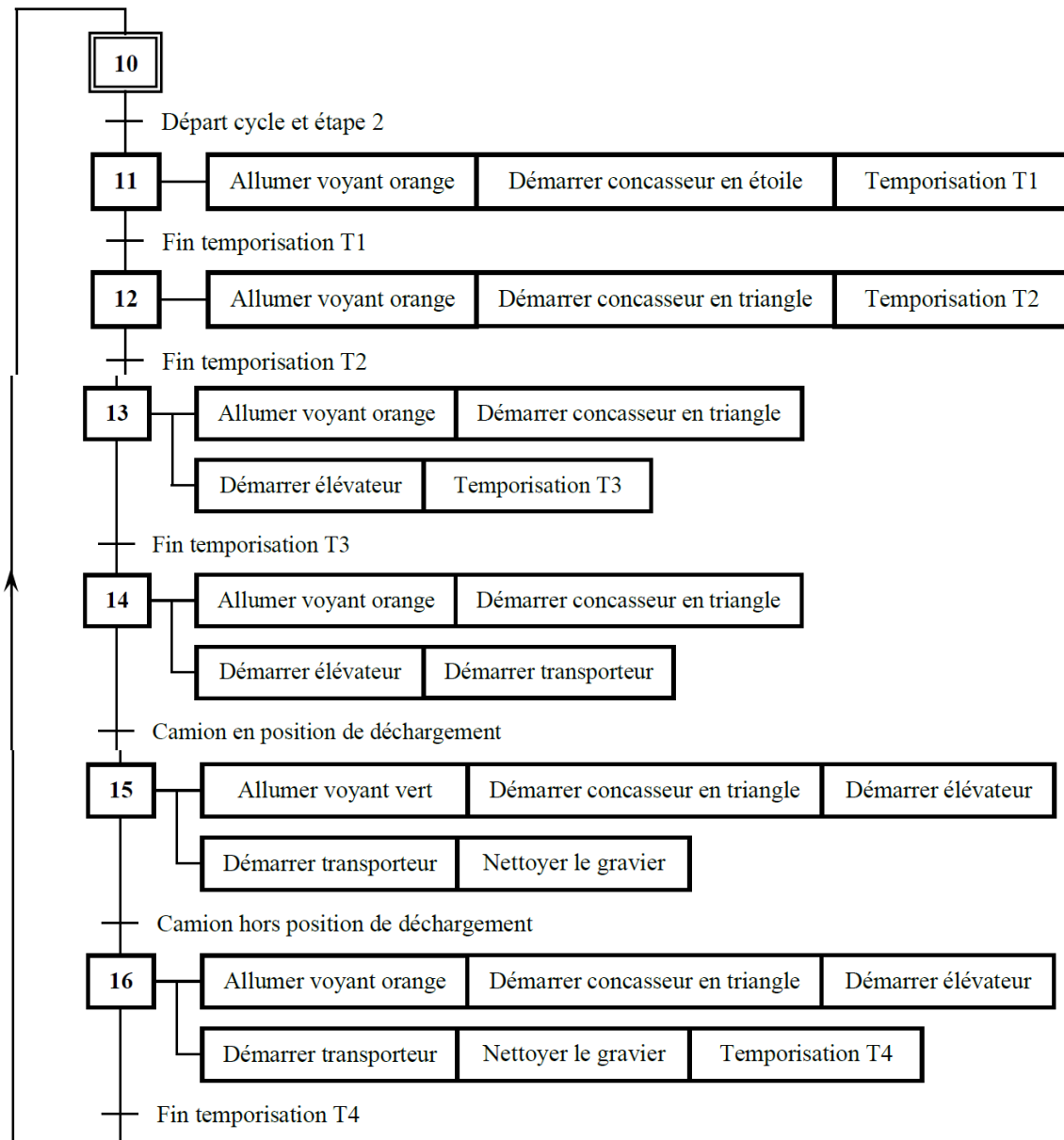
GRAFCET de sécurité



L'activation de l'étape 3 du GRAFCET de sécurité active l'étape 10 et désactive les autres étapes du GRAFCET de production en cas de défaut ou après un arrêt d'urgence.

On dit alors que le GRAFCET de sécurité force le GRAFCET de production à son état initial lorsque l'étape 3 est active.

GRAFCET de production



Configuration matérielle de l'A.P.I et langage LADDER

DRES 04

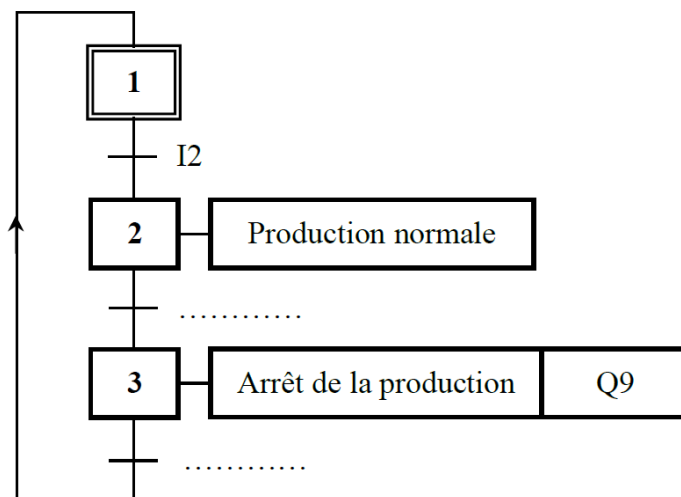
Identification et affectation des sorties

Actions/Messages/Temporisations	Actionneurs	Préactionneurs	Sorties API
Démarrer élévateur	Moteur M1	Contacteur de ligne KM1	Q1
Démarrer transporteur	Moteur M2	Contacteur de ligne KM2	Q2
Démarrer concasseur en étoile	Moteur M3	Contacteur de ligne KM3	Q3
		Contacteur étoile KM4	Q4
Démarrer concasseur en triangle	Moteur M3	Contacteur de ligne KM3	Q3
		Contacteur triangle KM5	Q5
Nettoyer le gravier	Électrovanne EV		Q6
Absence du camion en position de déchargement	Voyant orange H1		Q7
Présence du camion en position de déchargement	Voyant vert H2		Q8
Défaut ou un arrêt d'urgence	Voyant rouge H3		Q9
Temporisation 5 s	Temporisateur interne n°1 de l'API		TT1
Temporisation 4 s	Temporisateur interne n°2 de l'API		TT2
Temporisation 3 s	Temporisateur interne n°3 de l'API		TT3
Temporisation 10 min	Temporisateur interne n°4 de l'API		TT4

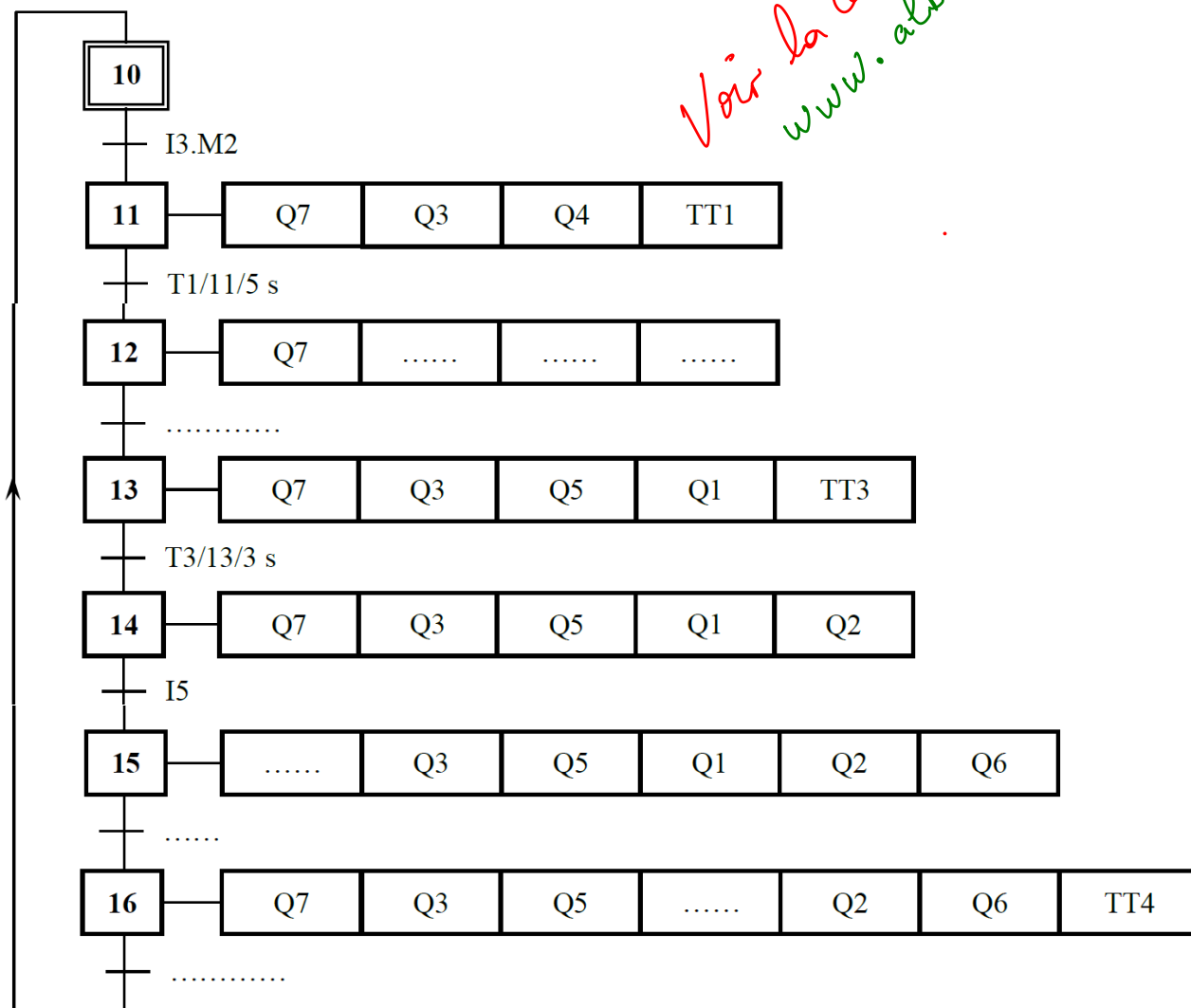
Identification et affectation des entrées

Consignes/Comptes rendus	Boutons/Capteurs	Entrées API
Initialisation	Bouton poussoir Init	I1
Mise en service du système	Bouton poussoir S1	I2
Départ cycle	Bouton poussoir S2	I3
Arrêt d'urgence	Bouton poussoir S3	I4
Camion en position de déchargement	Détecteur électromécanique P	I5
Présence d'un défaut	Capteurs (couple, courant...)	I6
Fin de la temporisation de 5 s	Contact interne T1 du temporisateur n°1	
Fin de la temporisation de 4 s	Contact interne T2 du temporisateur n°2	
Fin de la temporisation de 3 s	Contact interne T3 du temporisateur n°3	
Fin de la temporisation de 10 min	Contact interne T4 du temporisateur n°4	

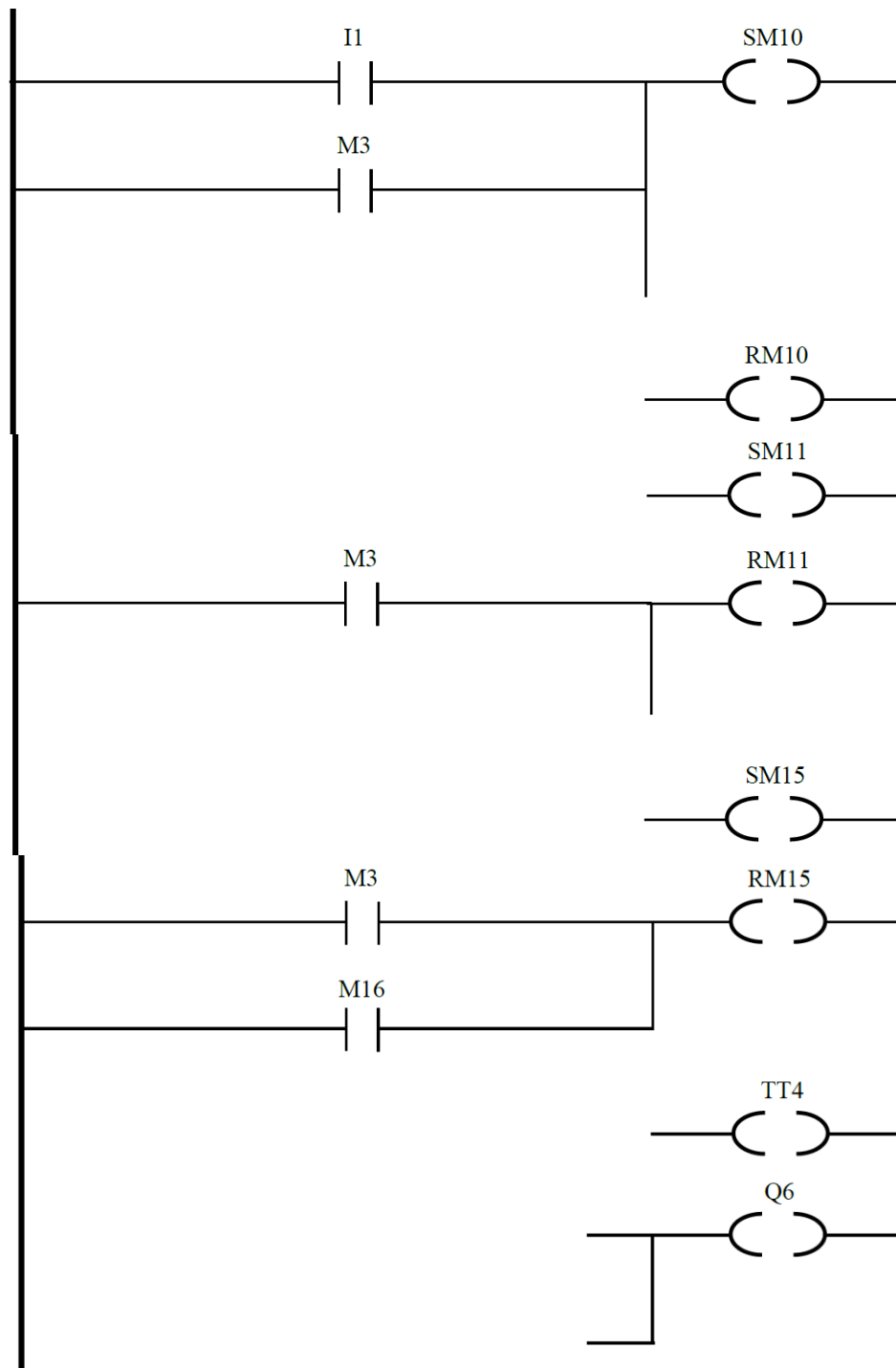
GRAFCET de sécurité



GRAFCET de production



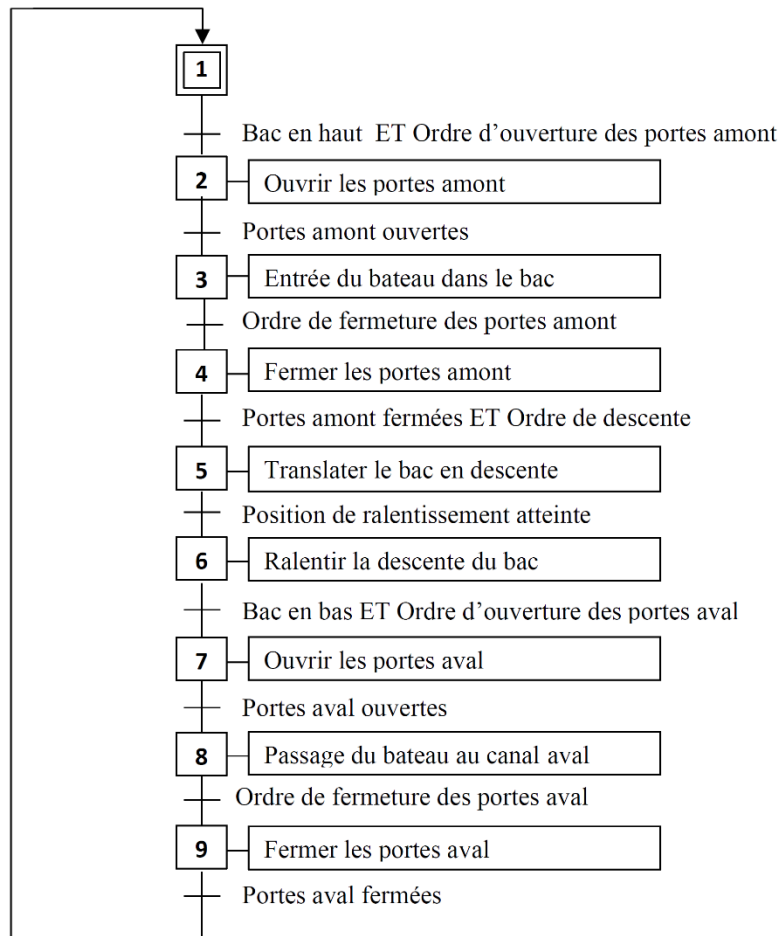
Voir la correction sur la page
www.albawaba.ma/2ste



Exercice 4 : examen national 2022, session de rattrapage**Tâche 2 : Cycle de manœuvre de l'ascenseur**

Un opérateur, depuis son poste de commande et via un pupitre, contrôle le cycle de manœuvre, descente ou montée, du bac

Le Grafcet suivant décrit uniquement le cycle de la descente du bac :



Q.47) En se référant au Grafcet ci-dessus et au **DRES 04**, compléter le Grafcet de point de vue A.P.I. **3 pts**

Dans ce qui suit, on va déléguer la séquence d'étapes "4-5-6-7" à une tâche qu'on va appeler "Translation descendante".

Q.48) En partant du Grafcet de point de vue API (**Question 47**), compléter le Grafcet de la tâche "Translation descendante" ;

3 pts

Q.49) À partir du Grafcet modifié (**Question 48**), compléter le programme Ladder.

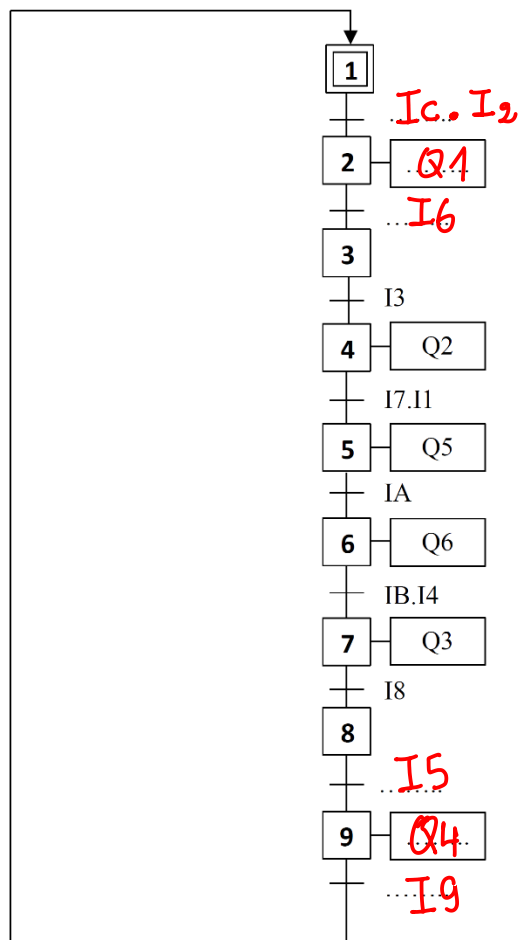
3 pts

DRES 04**Tableaux d'affectation des entrées/sorties de l'automate**

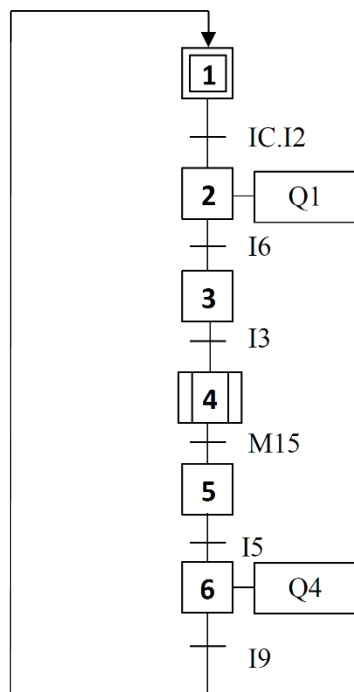
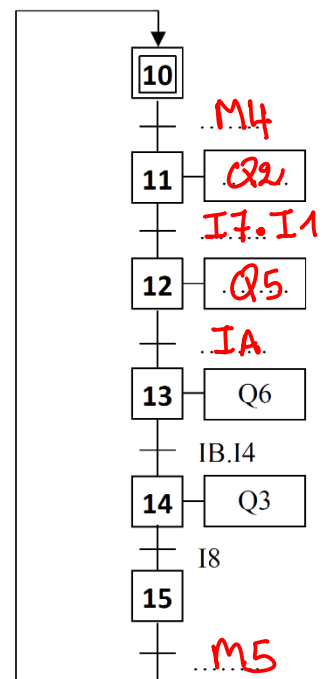
Entrées		
Information	Éléments de consigne et capteurs	Entrée automate
Ordre de descente	S1	I1
Ordre d'ouverture des portes amont	S2	I2
Ordre de fermeture des portes amont	S3	I3
Ordre d'ouverture des portes aval	S4	I4
Ordre de fermeture des portes aval	S5	I5
Portes amont ouvertes	pmo	I6
Portes amont fermées	pmf	I7
Portes aval ouvertes	pvo	I8
Portes aval fermées	pvf	I9
Position de ralentissement atteinte	b	IA
Bac en bas	a	IB
Bac en haut	d	IC
Bouton d'initialisation	S6	ID

Sorties		
Action	Pré-actionneurs	Sortie automate
Ouvrir les portes amont	OPM	Q1
Fermer les portes amont	FPM	Q2
Ouvrir les portes aval	OPV	Q3
Fermer les portes aval	FPV	Q4
Translater le bac en descente	DGV	Q5
Ralentir la descente du bac	DPV	Q6

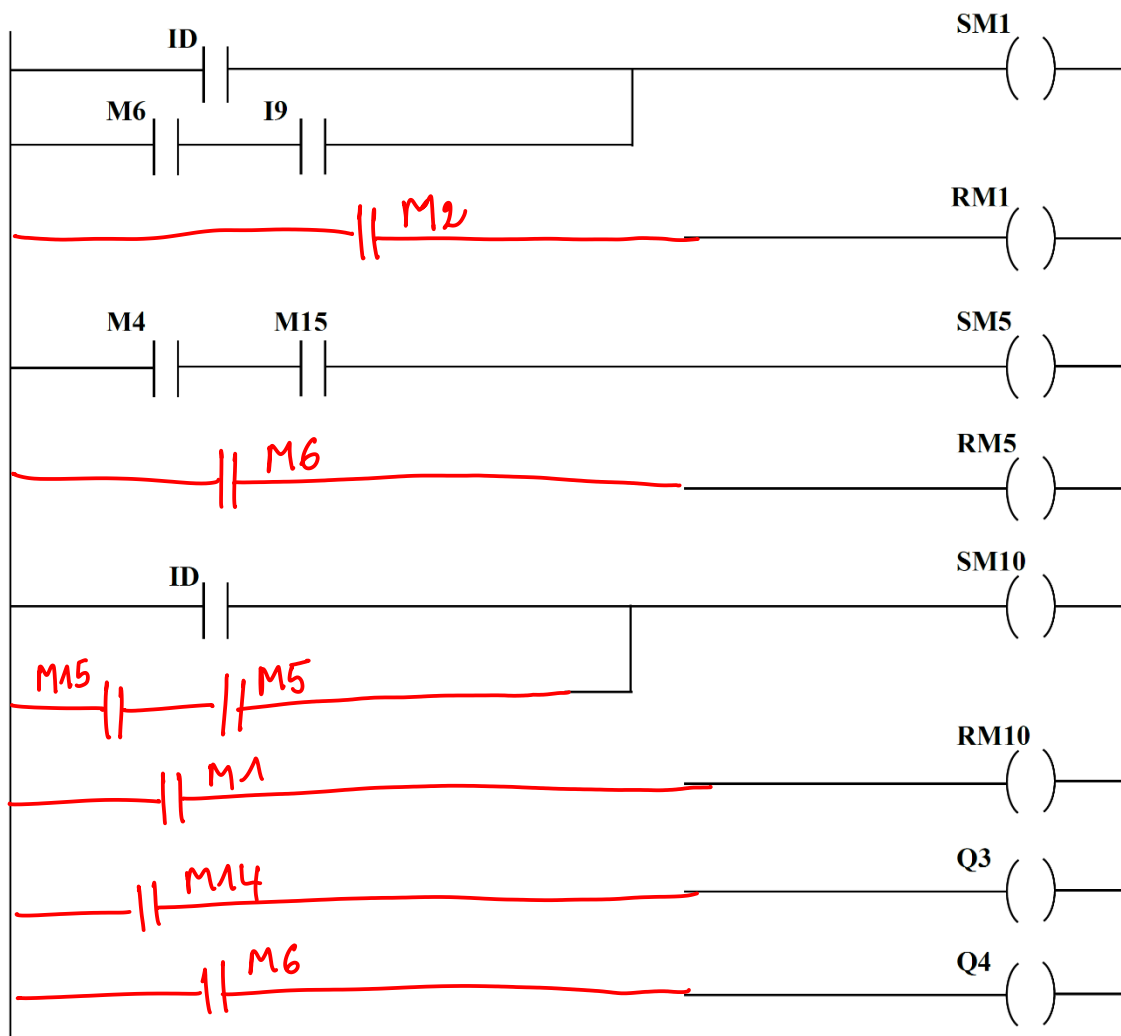
Q.47)



Q.48)

Grafcet principalTâche "Translation descendante"

Q.49)



Exercice 5 : examen national 2023, session normale
Tâche 1 : GRAFCET de fonctionnement de l'escalier et programme LADDER

Les différentes fonctionnalités séquentielles du système sont décrites par le GRAFCET fonctionnel donné au document ressources **DRES 05**.

La commande de l'escalier mécanique est assurée par un automate programmable industriel (**A.P.I**) dont les affectations des entrées / sorties sont données par les tableaux du document ressources **DRES 05**.

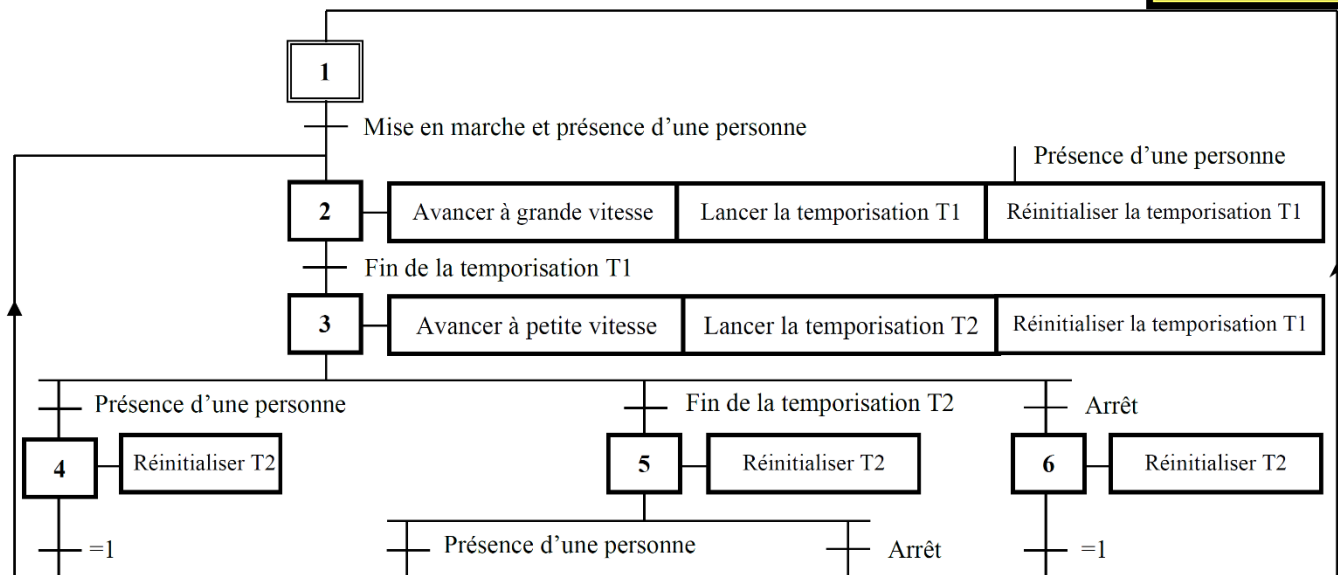
Q.29- Compléter le GRAFCET du point de vue **A.P.I** traduisant le fonctionnement de l'escalier.

3,5 pts

Q.30- Compléter le programme LADDER correspondant :

4 pts

- Aux étapes 2, 3 et 5.
- Aux actions **RT1** et **Q1**.

GRAFCET fonctionnel de l'escalator
DRES 05


L'escalier mécanique est prêt à fonctionner lorsqu'on bascule l'interrupteur bistable Marche/Arrêt sur la position Marche (l'étude sera limitée au sens de marche **avant**) :

- Lorsqu'une personne est détectée au niveau du palier d'entrée par le détecteur de présence, le moteur accélère jusqu'à la grande vitesse $V_1 = 0,6 \text{ m/s}$ (mode normal) ;
- Si aucune personne ne se présente dans un délai T_1 , le moteur décélère jusqu'à la petite vitesse $V_2 = 0,28 \text{ m/s}$ (mode veille) ;
- Si aucune personne ne se présente dans un délai T_2 , le moteur s'arrête ;
- Lorsqu'une personne se présente à nouveau au niveau du palier d'entrée, le moteur accélère jusqu'à la grande vitesse $V_1 = 0,6 \text{ m/s}$, qu'il soit à l'arrêt ou en mode veille ;
- La prise en compte d'un arrêt (en basculant l'interrupteur bistable Marche/Arrêt sur la position Arrêt) se fait durant le mode veille ou l'arrêt du moteur.

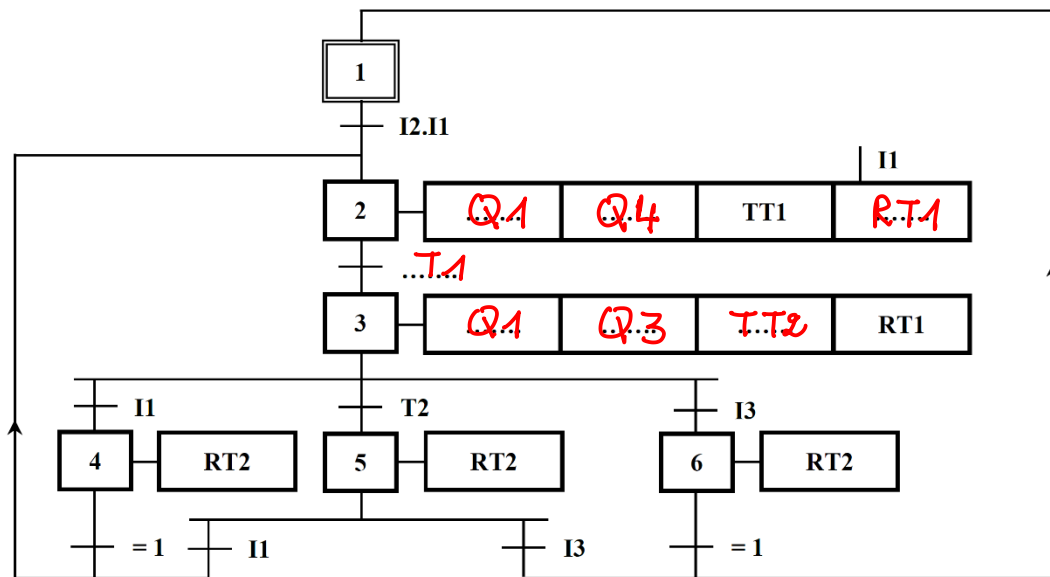
Identification et affectation des sorties

Actions	Actionneurs	Préactionneurs	API
Avancer l'escalier à grande vitesse	Moteur	Variateur de vitesse Altivar 31 (LI1)	Q1
		Variateur de vitesse Altivar 31 (LI4)	Q4
Avancer l'escalier à petite vitesse	Moteur	Variateur de vitesse Altivar 31 (LI1)	Q1
		Variateur de vitesse Altivar 31 (LI3)	Q3
Lancer la temporisation Tx	Temporisateurs T1 et T2		TTx
Réinitialiser la temporisation Tx			RTx

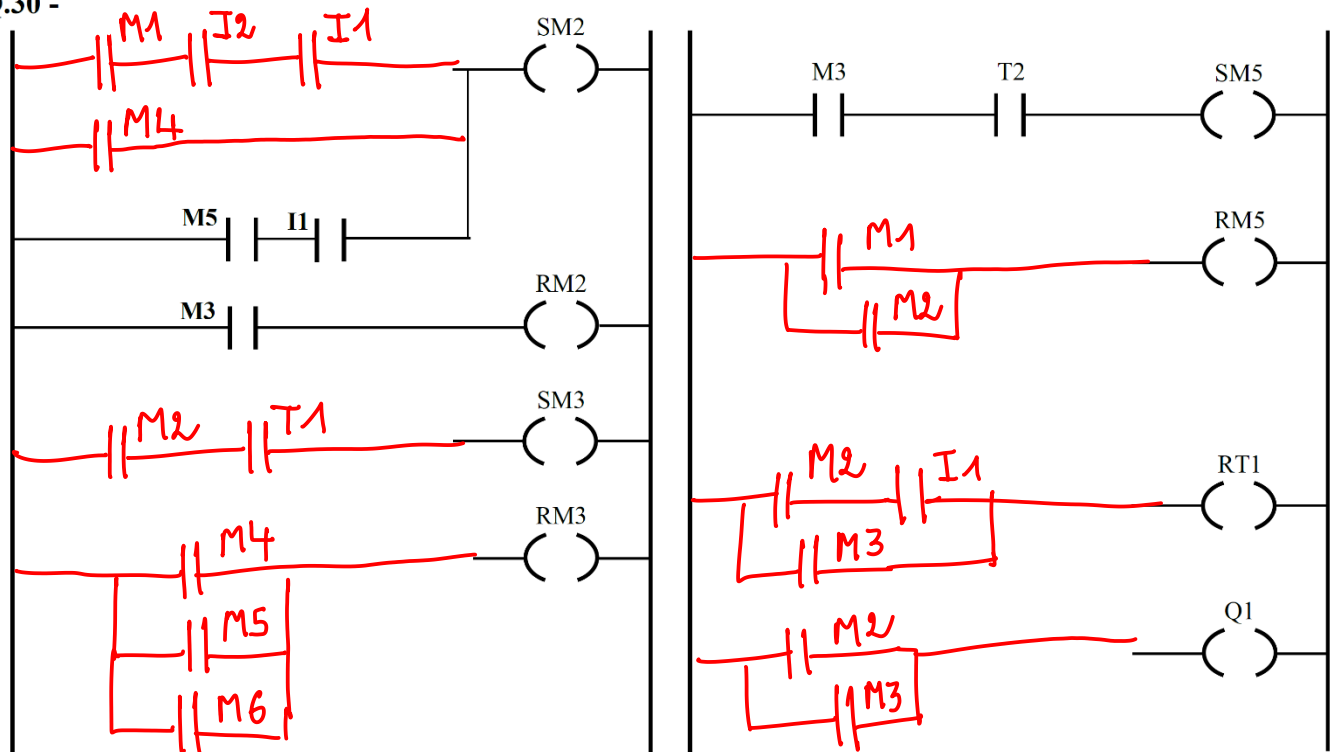
Identification et affectation des entrées

Compte-rendu et consigne	Capteur et bouton	API
Présence d'une personne	Détecteur optique	I1
Marche	Interrupteur bistable	I2
Arrêt		I3
Fin de temporisation Tx	Temporisateurs 1 et 2	Tx

Q.29 -



Q.30 -



Exercice 6 : examen national 2024, session normale

Le déplacement vertical de la charge (levage) est géré par un automate programmable industriel (**A.P.I.**).

Les tableaux donnés en **DRES 03** précisent les affectations des entrées et des sorties de l'**A.P.I.**

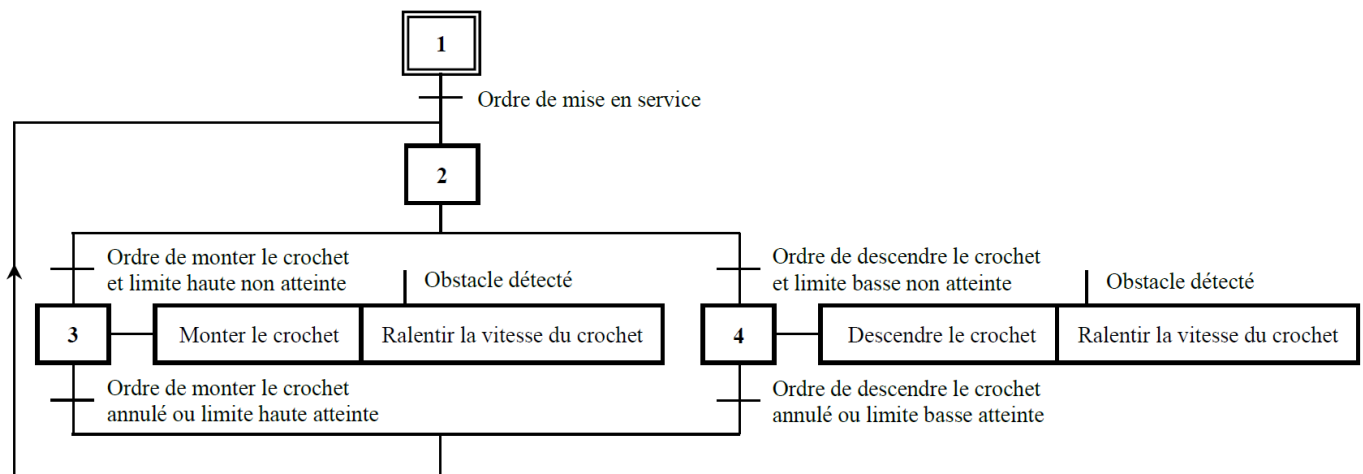
Le schéma synoptique de commande de déplacement vertical du crochet est donné en **DRES 03**.

On note que le moteur **M1** ralentit à la vitesse **V_R** lorsque le capteur **P** détecte, à une distance **d** prédéfinie, la présence d'un obstacle.

Tâche 1 : Étude du GRAFCET de déplacement vertical du crochet (levage)

On se propose d'établir le programme ladder permettant la commande de déplacement vertical de la charge.

Le cycle de déplacement vertical de la charge suivant l'axe **Z** est décrit par le GRAFCET fonctionnel suivant :



En se référant aux tableaux d'affectations des entrées et des sorties de l'A.P.I. du document **DRES 03**, compléter :

Q.38-Le GRAFCET du point de vue **A.P.I.**

4 pts

Q.39-Le programme Ladder correspondant aux étapes 2, 3 et 5 et à l'action **Q3**.

4 pts

Tableaux d'affectations des entrées et des sorties de l'API

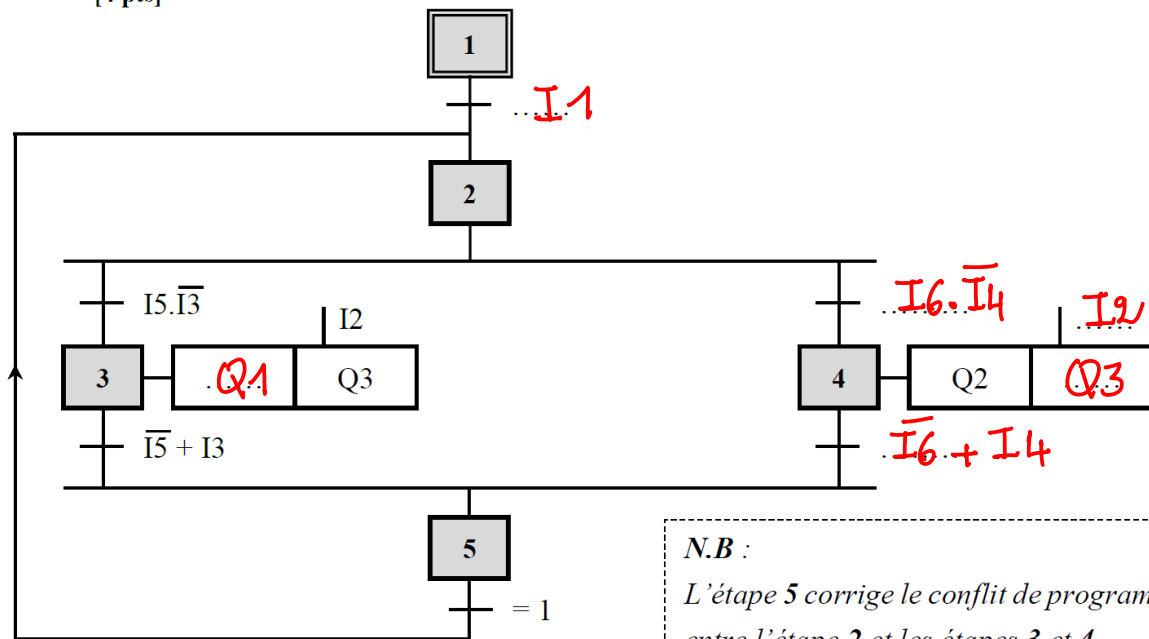
DRES 03

Consigne ou compte rendu			Entrée API
Bouton	S1	Mise en service du système	I1
Détecteur d'obstacle	P	Obstacle détecté	I2
Fin de course	F _H	Limite haute du crochet	I3
	F _B	Limite basse du crochet	I4
Joystick J1 à un axe	Ordre de monter le crochet		I5
	Ordre de descendre le crochet		I6

Ordre		Sortie API
Monter le crochet	KA1	Q1
Descendre le crochet	KA2	Q2
Ralentir la vitesse du crochet	KA3	Q3

Q.38-

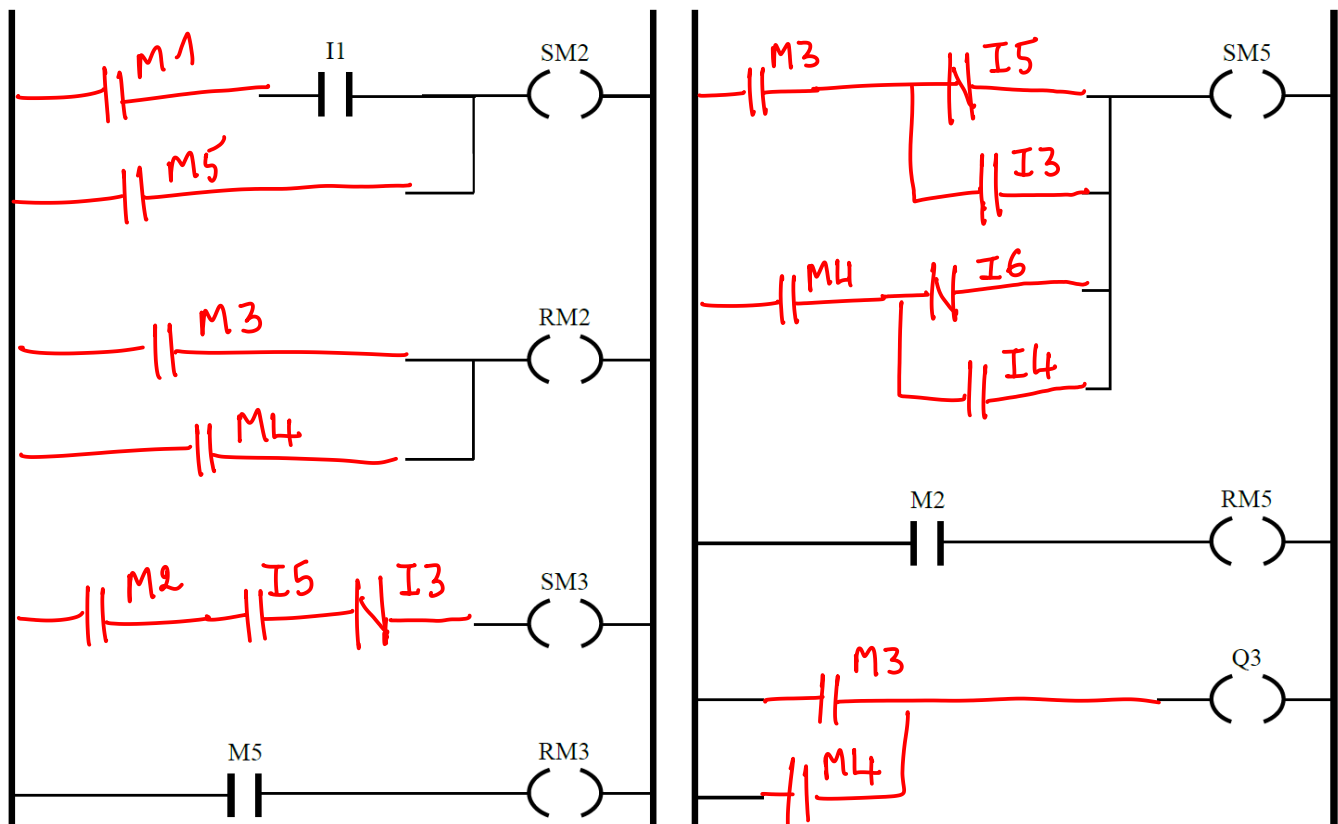
[4 pts]

**N.B :**

L'étape 5 corrige le conflit de programmation entre l'étape 2 et les étapes 3 et 4.

Q.39-

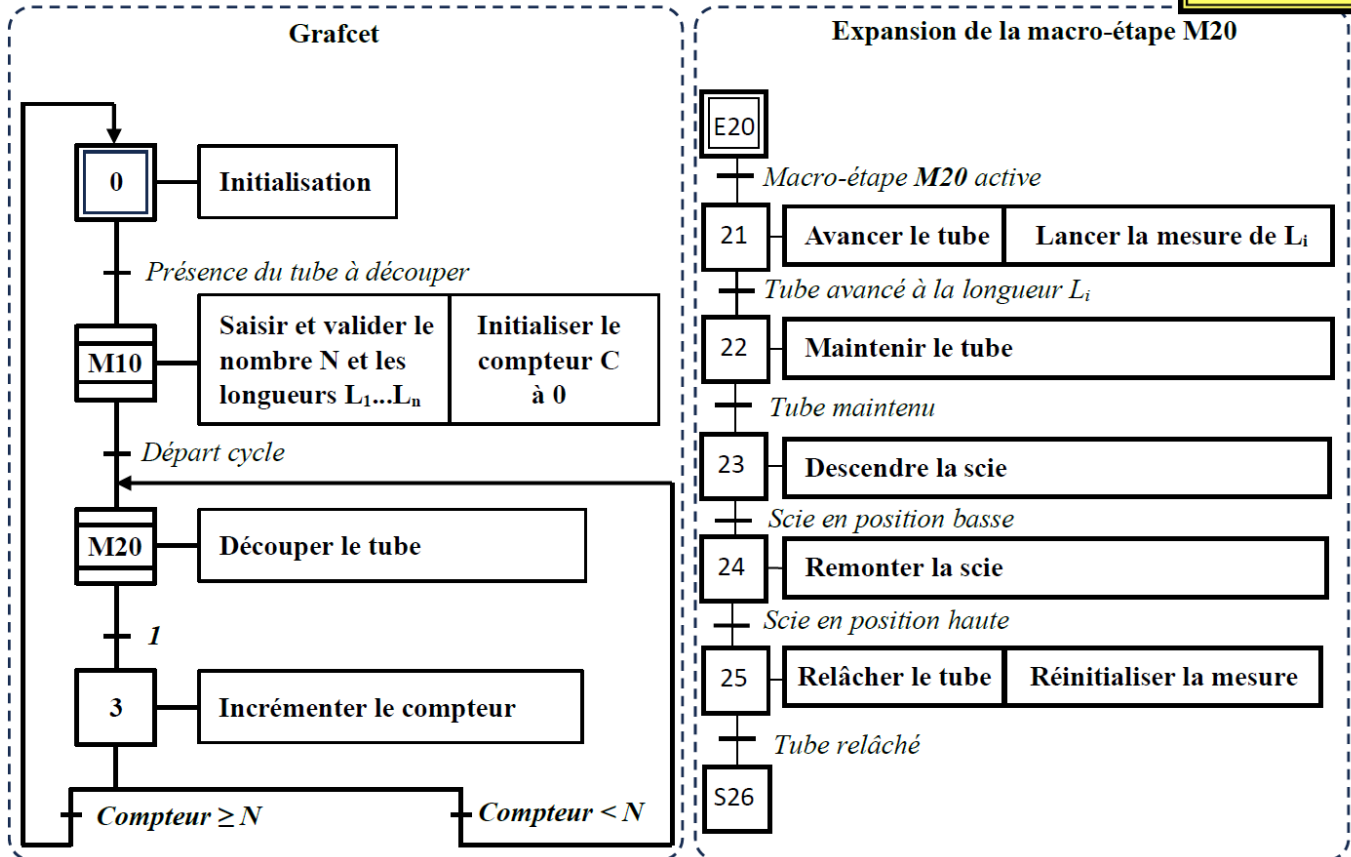
[4 pts]



Exercice 7 : examen national 2024, session de rattrapage**Tâche 4 : Étude du grafcet point de vue commande**

À partir du Grafcet (**DRES 02**) et des données des tableaux du **DRES 03** :

Q46. Compléter, de point de vue commande, l'expansion de la macro-étape **M20**.

2 pts**Grafcet de point de vue système****DRES 02****Tableau d'affectation des entrées****DRES 03**

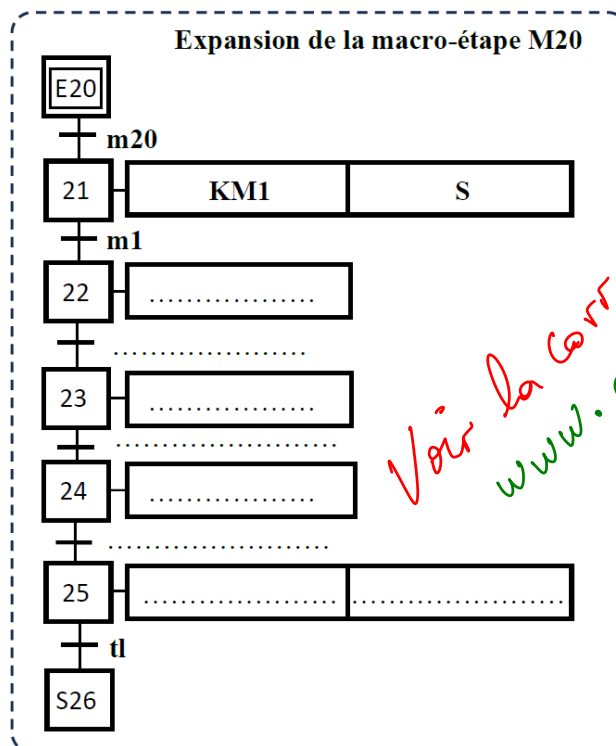
Fonction de l'entrée	Capteur/Interface d'entrée
Départ cycle	Dcy
Présence tube	cp
Longueur L_n prédéfinie atteinte	m1 (Bit 0 de la case mémoire interne CMI)
Macro-étape M20 active	m20 (Bit 1 de la case mémoire interne CMI)
Tube maintenu	tm
Tube relâché	tl
Scie en position basse	sb
Scie en position haute	sh

Tableau d'affectation des sorties

Action	Actionneur	Pré actionneur
Avancer le tube	Moteur électrique <i>M1</i>	KM1
Maintenir le tube	Vérin double effet <i>V2</i>	V2+
Relâcher le tube		V2-
Remonter la scie	Vérin double effet <i>V1</i>	V1-
Descendre la scie		V1+

Commande du capteur de distance

Fonction	Contact de commande
Lancer la mesure	S (Set)
Réinitialiser la mesure	R (Reset)

Q46. Grafcet point de vue commande

7

MICROCONTROLEURS**Environnement microinformatique minimal**

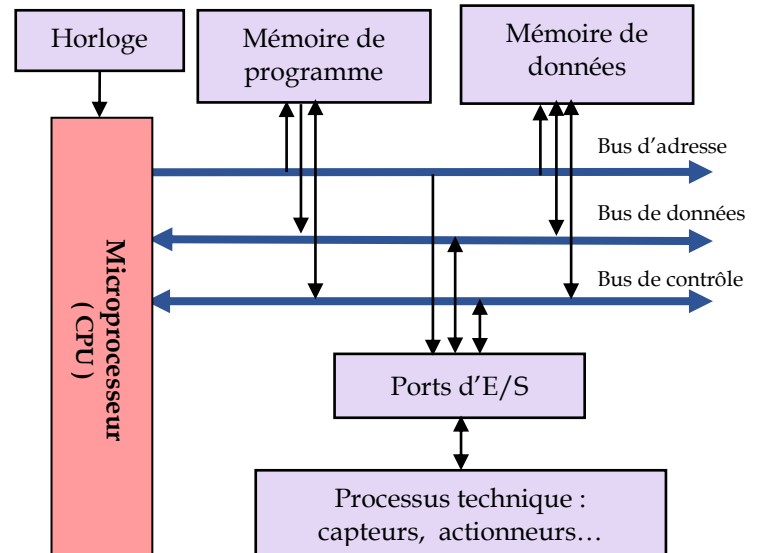
Le contrôle d'un processus technique fait souvent appel à un dispositif de traitement programmable composé de deux éléments complémentaires indissociables :

- **Logiciel** : programme qui décrit la gestion du processus technique ;
- **Matériel** : dispositif électronique, à base de μP , qui héberge le programme et lui donne vie.

Ci-contre, la structure d'un système programmable minimal :

1. Microprocesseur (ou CPU pour Central Processing Unit)

Le μP exécute le programme situé dans la mémoire de programme. Toute l'activité du μP est cadencée par une horloge.



2. Mémoires

Ce sont des composants chargés de conserver des contenus. En fonction des propriétés des mémoires, on distingue :

	Lecture	Écriture	Volatile
RAM	Oui	Oui	Oui
ROM	Oui	Non (programmée une seule fois au moment de la fabrication)	Non
PROM	Oui	Programmable une seule fois par l'utilisateur	Non
EEPROM	Oui	Effaçable électriquement à l'aide d'une broche spécifique et reprogrammable	Non

- Une mémoire volatile perd son contenu à la coupure de l'alimentation ;
- En principe, la RAM sert de mémoire de données tandis que la ROM sert de mémoire de programme ;
- Une variante de l'EEPROM est la mémoire FLASH qui est rapide et accepte d'être reprogrammée un grand nombre de fois.

3. Ports d'entrée/sortie

Ils ont pour rôle d'interfacer les périphériques afin de dialoguer avec le processus à gérer.

- ⇒ Port parallèle : les données sont transmises par paquets de 8, 16 ...bits.
- ⇒ Port série : les données sont transmises bit par bit sur un fil unique (exemples : USB, RS232, RS485).

4. Bus

Un bus est ensemble de fils destiné à véhiculer les données entre les différents composants du système. On distingue :

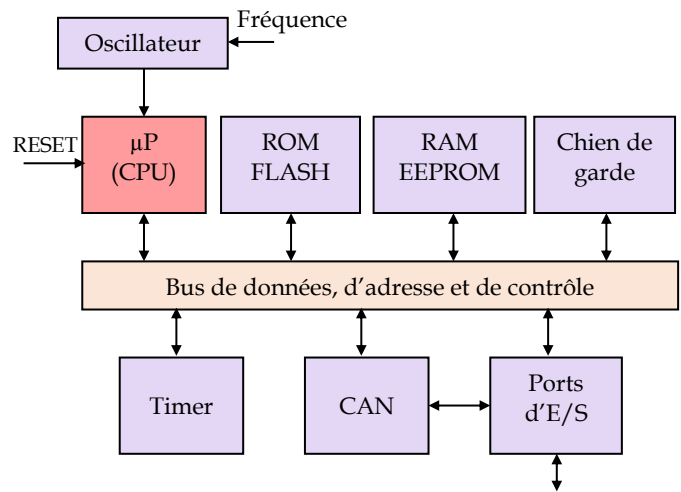
- **Bus de données** : à travers lequel transitent les données ;
- **Bus d'adresse** : à travers lequel le μP applique l'adresse de la donnée à lire ou à écrire ;
- **Bus de contrôle** : à travers lequel le μP dialogue avec le composant adressé.

Microcontrôleur PIC 16F877

Généralités

Le μ C se présente sous la forme d'un circuit intégré réunissant tous les éléments d'une structure à base de μ P ainsi que certains modules auxiliaires :

- Un μ P ;
- De la mémoire de données (RAM, EEPROM) ;
- De la mémoire de programme (FLASH, EEPROM) ;
- Des ports pour la connexion des entrées/sorties ;
- Des timers pour générer des impulsions, compter des événements, mesurer des fréquences... ;
- Des CAN pour traiter des signaux analogiques ;
- Un chien de garde : qui détecte s'il y a un problème logiciel et provoque un RESET ;

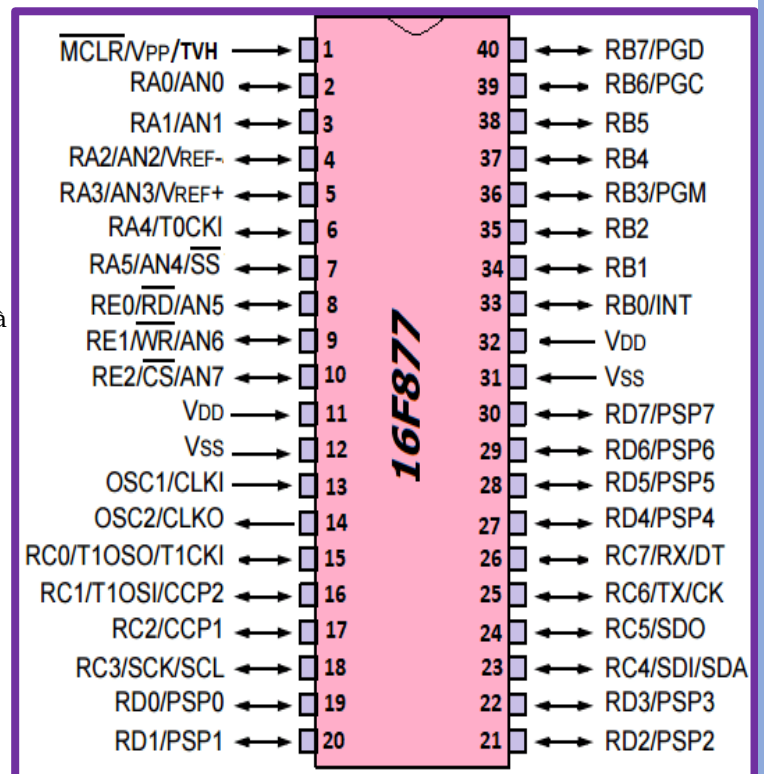


Aujourd'hui on trouve les μ C presque partout : cafetière, réfrigérateur, four à micro-ondes, téléviseur, téléphone portable, imprimante, scanner, voiture (airbags, climatisation, alarme...)...

Architecture externe (brochage) du PIC 16F877 de Microchip

La popularité du 16F877 vient de sa facilité de mise en œuvre et la disposition d'un environnement de développement complet totalement gratuit : MPLAB.

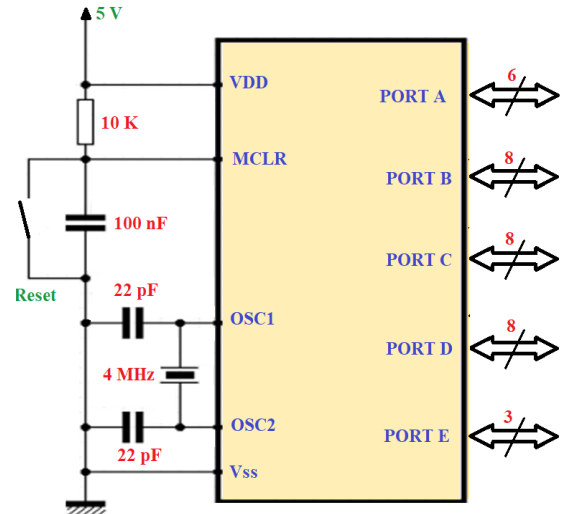
- L'alimentation du circuit est assurée par les pins $VDD = +5V$ et $VSS = 0V$;
- **OSC1** et **OSC2** : broches qui reçoivent un quartz ou un circuit RC pour l'horloge interne ;
- **MCLR** (Master Clear Reset) : broche de remise à zéro, active au niveau bas (0 V) ;
- **RA0 à RA5** : 6 broches E/S du **PORT A** ;
RB0 à RB7 : 8 broches E/S du **PORT B** ;
RC0 à RC7 : 8 broches E/S du **PORT C** ;
RD0 à RD7 : 8 broches E/S du **PORT D** ;
RE0 à RE2 : 3 broches E/S du **PORT E**.



Mise en œuvre

Ci-contre, un montage minimal avec :

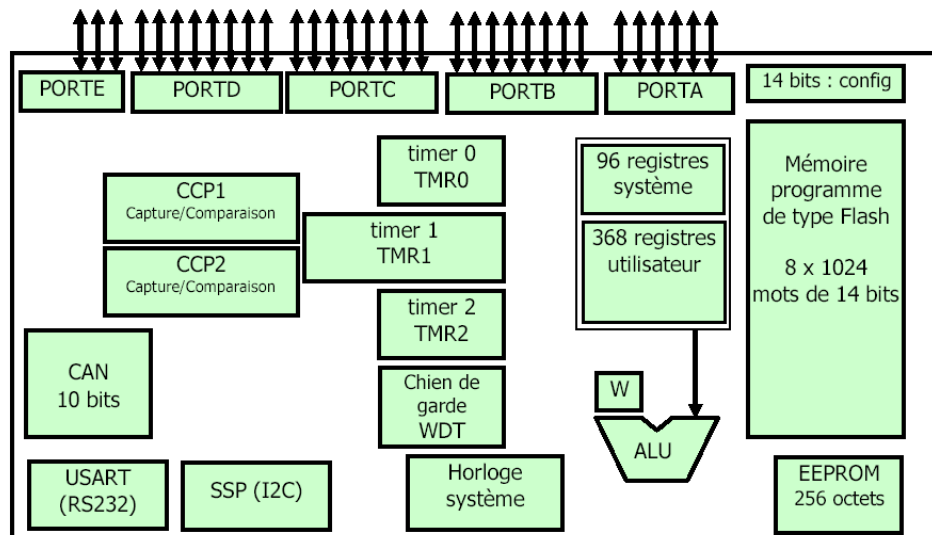
- Alimentation du composant (VDD = +5V et VSS = 0V) ;
- Pilotage par quartz, ici de 4 MHz (OSC1 et OSC2) ;
- RESET manuel par un bouton poussoir ;
- RESET automatique à chaque mise sous tension.
En effet, le condensateur est initialement déchargé (MCLR = 0), puis se charge jusqu'à VDD (MCLR = 1).



Architecture interne

Les caractéristiques principales du 16F877 sont :

- Une **mémoire programme** de type flash de **8K mots de 14 bits** de h'0000' à h'1FFF' (1K = $2^{10} = 1024$) ;
- Une **mémoire RAM** constituée :
 - 96 registres SFR** (Special Function Register) : sont les registres de fonctionnement du PIC et ayant des fonctions spéciales ;
 - 368 registres GPR** (General Propose Register) : sont des positions mémoire que l'utilisateur peut utiliser pour stocker ses variables.
- Une **mémoire EEPROM** Data de données de **256 octets** ;
- 3 Timers** avec prédiviseur programmable : 2 timers 8 bits **TMR0**, **TMR2** et un autre 16 bits **TMR1** ;
- Un chien de garde **WDT** ;
- CAN 10 bits** à approximations successives à 8 entrées multiplexées ;
- 33 Entrée-Sortie bidirectionnelles réparties sur **5 ports** : **PORTA** à 6 bits, **PORTB**, **PORTC**, **PORTD** à 8 bits et **PORTE** à 3 bits ;
- 1 registre de travail (accumulateur) **W** à 8 bits ;
- Bus DATA sur 8 bits ;
- Jeu de **35 instructions** de durée 1 ou 2 cycles ;
- Plusieurs sources d'interruption ;
- Autres modules : **USART** pour transmission série, interface **I2C**, 2 modules pour **PWM**...



La RAM de données

Page 0		Page 1		Page2		Page 3		SFR	
00	INDF	80	INDF	100	INDF	180	INDF		
01	TMR0	81	OPTION	101	TMR0	181	OPTION		
02	PCL	82	PCL	102	PCL	182	PCL		
03	STATUS	83	STATUS	103	STATUS	183	STATUS		
04	FSR	84	FSR	104	FSR	184	FSR		
05	PORTA	85	TRISA	105		185			
06	PORTB	86	TRISB	106	PORTB	186	TRISB		
07	PORTC	87	TRISC	107		187			
08	PORTD	88	TRISD	108		188			
09	PORTE	89	TRISE	109		189			
0A	PCLATH	8A	PCLATH	10A	PCLATH	18A	PCLATH		
0B	INTCON	8B	INTCON	10B	INTCON	18B	INTCON		
0C	PIR1	8C	PIE1	10C	EEDATA	18C	EECON1		
0D	PIR2	8D	PIE2	10D	EEADR	18D	EECON2		
0E	TMR1L	8E	PCON	10E	EEDATH	18E			
0F	TMR1H	8F		10F	EEADRH	18F			
10	T1CON	90		110	RAM 16 octets	190	RAM 16 octets		
11	TMR2	91	SSPCON2						
12	T2CON	92	PR2						
13	SSBUF	93	SSPADD						
14	SSPCON	94	SSPSTAT						
15	CCPR1L	95							
16	CCPR1H	96							
17	CCP1CON	97							
18	RCSTA	98	TXSTA						
19	TXREG	99	SPBRG						
1A	RCREG	9A							
1B	CCPR2L	9B							
1C	CCPR2H	9C							
1D	CCP2CONL	9D							
1E	ADRESH	9E	ADRESL						
1F	ADCON0	9F	ADCON1	11F		19F			
20	RAM 96 octets	A0	RAM 80 octets	120	RAM 80 octets	1A0	RAM 80 octets		
		EF		16F		1EF			
		F0		170		1F0			
7F		FF		17F		1FF			

Programmation du PIC 16F877 en langage assembleur

Jeu d'instructions du 16F877

INSTRUCTIONS OPERANT SUR UN REGISTRE			Indicateurs	Cycles
ADDWF	F, d	$W + F \rightarrow \{W, F ? d\}$	C, DC, Z	1
ANDWF	F, d	$W \text{ AND } F \rightarrow \{W, F ? d\}$	Z	1
CLRF	F	$0 \rightarrow F$	Z	1
CLRW		$0 \rightarrow W$	Z	1
CLRWDT		$0 \rightarrow \text{WDT}$	TO', PD'	1
COMF	F, d	Complément F $\rightarrow \{W, F ? d\}$	Z	1
DECF	F, d	Décrémente F $\rightarrow \{W, F ? d\}$	Z	1
DECFSZ	F, d	Décrémente F $\rightarrow \{W, F ? d\}$ et saut si 0		1(2)
INCF	F, d	Incrémente F $\rightarrow \{W, F ? d\}$	Z	1
INCFSZ	F, d	Incrémente F $\rightarrow \{W, F ? d\}$ et saut si 0		1(2)
IORWF	F, d	$W \text{ OR } F \rightarrow \{W, F ? d\}$	Z	1
MOVF	F, d	$F \rightarrow \{W, F ? d\}$	Z	1
MOVWF	F	$W \rightarrow F$		1
RLF	F, d	Rotation à gauche de F à travers C $\rightarrow \{W, F ? d\}$	C	1
RRF	F, d	Rotation à droite de F à travers C $\rightarrow \{W, F ? d\}$		1
SUBWF	F, d	$F - W \rightarrow \{W, F ? d\}$	C, DC, Z	1
SWAPF	F, d	Permute les 2 quartets de F $\rightarrow \{W, F ? d\}$		1
XORWF	F, d	$W \text{ XOR } F \rightarrow \{W, F ? d\}$	Z	1
INSTRUCTIONS OPERANT SUR UN BIT				
BCF	F, b	$0 \rightarrow \text{bit } b \text{ du registre } F$		1
BSF	F, b	$1 \rightarrow \text{bit } b \text{ du registre } F$		1
BTFSZ	F, b	Test du bit b de F et saut si 0		1(2)
BTFS	F, b	Test du bit b de F et saut si 1		1(2)
INSTRUCTIONS OPERANT SUR UNE DONNEE				
ADDLW	K	$W + K \rightarrow W$	C, DC, Z	1
ANDLW	K	$W \text{ AND } K \rightarrow W$	Z	1
IORLW	K	$W \text{ OR } K \rightarrow W$	Z	1
MOVLW	K	$K \rightarrow W$		1
SUBLW	K	$K - W \rightarrow W$	C, DC, Z	1
XORLW	K	$W \text{ XOR } K \rightarrow W$	Z	1
INSTRUCTIONS GENERALES				
CALL	L	Branchement à un sous-programme de label L		2
GOTO	L	Branchement à la ligne de label L		2
NOP		Pas d'opération		1
RETURN		Retour d'un sous-programme		2
RETFIE		Retour d'interruption		2
RETLW	K	Retour d'un sous-programme avec K dans W		2
SLEEP		Mode standby	TO', PD'	1

La notation $\{W, F ? d\}$ signifie que le résultat va soit dans W si $d=0$ ou w, soit dans F si $d=1$ ou f.

⇒ Accès à la RAMRegistre STATUS

IRP	RP1	RP0	T0	PD	Z	DC	C
-----	-----	-----	----	----	---	----	---

Les bits **RP1** et **RP0** du registre **STATUS** permettent la sélection des pages de la RAM selon ce tableau :

RP1	RP0	Page sélectionnée
0	0	Bank 0
0	1	Bank 1
1	0	Bank 2
1	1	Bank 3

⇒ Expression des nombres

L'assembleur considère les nombres dans la base indiquée par la spécification adjointe :

Base	Indicateur	Exemple
Décimal	d	d'27'
Hexadécimal	h 0x	h'1B' ou 0x1B 1Bh
Binaire	b	b'00011011'

Exercice

En utilisant le plan d'organisation de la RAM, trouver la page concernée.

Registre	Bank
PORTA	0
TRISA	1
TMR0	0 ou 2
ADCON1	1

Exercice

Action	Code assembleur
Sélectionner la page 0	BCF 0x03, 6 ou mieux BCF STATUS, RP1 <i>bcf 0x03, 5</i> <i>bcf STATUS, RP1</i>
Sélectionner la page 2	<i>bsf STATUS, RP1</i> <i>bcf STATUS, RP0</i>
Mettre à 0 le registre W	<i>clrw</i> ; par CLRW autrement <i>andlw 0x00</i> ; par AND ou encore <i>movlw d'0'</i> ; charger la valeur 0 dans W

Incrémenter le registre GPR d'adresse 0x20	<pre>movf 0x20, w ; copier le registre 0x20 dans W addlw d'1' ; Incrémenter le registre W movwf 0x20 ; copier W dans 0x20</pre> ou mieux <pre>incf 0x20, f ; incrémenter le registre 0x20 par incf</pre>
Charger le registre PORTB par le mot 10000001	<pre>clrf PORTB ; RAZ du registre PORTB bsf PORTB, 0 ; forcer le bit b₀ à 1 bsf PORTB, 7 ; forcer le bit b₇ à 1</pre> autrement <pre>movlw b'1000 0001' ; charger l'octet '10000001' dans W movwf PORTB ; copier W dans PORTB</pre>
Copier le contenu de PORTA dans PORTB	<pre>movf PORTA, w ; copier le contenu de PORTA dans W movwf PORTB ; copier W dans PORTB</pre>

⇒ Ports d'entrées/ sortie

PORTA : pins RA0 à RA5
PORTB : pins RB0 à RB7
PORTC : pins RC0 à RC7
PORTD : pins RD0 à RD7
PORTE : pins RE0 à RE2

- La direction des données sur les ports est programmée à travers les registres **TRISA**, **TRISB**, **TRISC**, **TRISD** et **TRISE** de la façon suivante :
 - 0 → configure la broche correspondante en **sortie** ;
 - 1 → configure la broche correspondante en **entrée**.

Exemples : la valeur '00000011' dans TRISB configure les broches RB0 et RB1 en entrée et les autres en sortie.

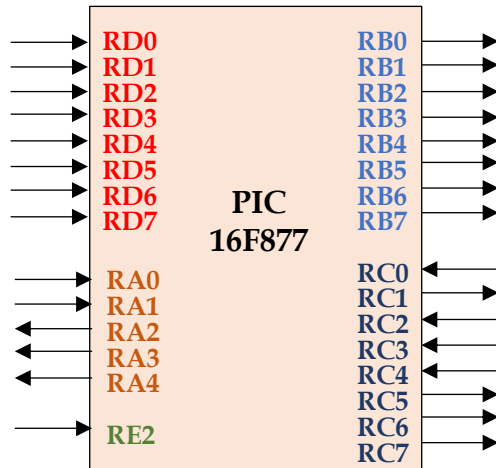
- La manipulation des données (lecture/écriture) sur les ports est programmée à travers les registres PORTA, PORTB, PORTC, PORTD et PORTE.

Exemple :

```
bsf PORTC, 7 → positionne la broche RC7 à 1 (écriture).
movwf PORTC → permet de sortir le contenu de W sur PORTC (écriture).
movf PORTC, w → récupère l'état de PORTC dans W (lecture).
```

Exercice

Ecrire le programme assembleur permettant la configuration suivante :



TRISA = $\text{x x x 0 0 0 1 1} = 03$
 TRISB = $\text{0 0 0 0 0 0 0 0} = 00$
 TRISC = $\text{0 0 0 1 1 1 0 1} = 1D$
 TRISD = $\text{1 1 1 1 1 1 1 1} = FF$
 TRISE = $\text{x x x x x 1 x x} = 04$

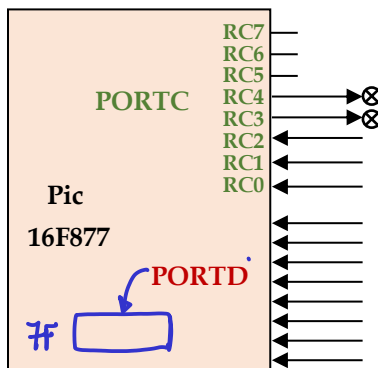
```
bcf STATUS, RP1 ; activer banque 1
bsf STATUS, RP0
movlw 0x03 ; configurer port A
movwf TRISA

clrf TRISB ; configurer port B
movlw 0x1D ; configurer port C
movwf TRISC
movlw 0xFF ; configurer port D
movwf TRISD
bsf TRISE, 2 ; configurer port E

bcf STATUS, RP1 ; activer banque 0
bsf STATUS, RP0
```

Exercice

- Configurer les ports conformément à la figure
- Allumer les 2 LED du PORTC
- Lire le contenu de PORTD pour le stocker dans le registre d'adresse 7F



TRISC = $\text{x x x 0 0 1 1 1} = 07$
 TRISD = $\text{1 1 1 1 1 1 1 1} = FF$

```
bcf STATUS, RP1 ; activer page 1
bsf STATUS, RP0
movlw 0x07 ; configurer le port C
movwf TRISC
movlw 0xFF ; configurer le port D
movwf TRISD

bcf STATUS, RP1 ; retour à page 0
bsf STATUS, RP0
bsf PORTC, 3 ; allumer les 2 Leds du portC
bsf PORTC, 4
movf PORTD, W ; lire et ranger la valeur du port D
movwf 0x7F ; dans le registre 7F
```

Exercice

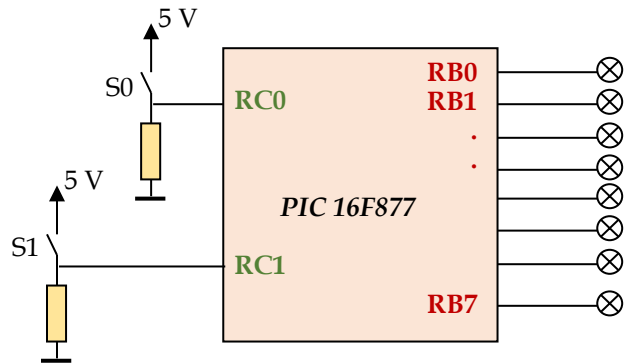
Au repos les LEDs sont éteintes.

Une action sur le bouton poussoir **S1** allume toutes les LEDs.

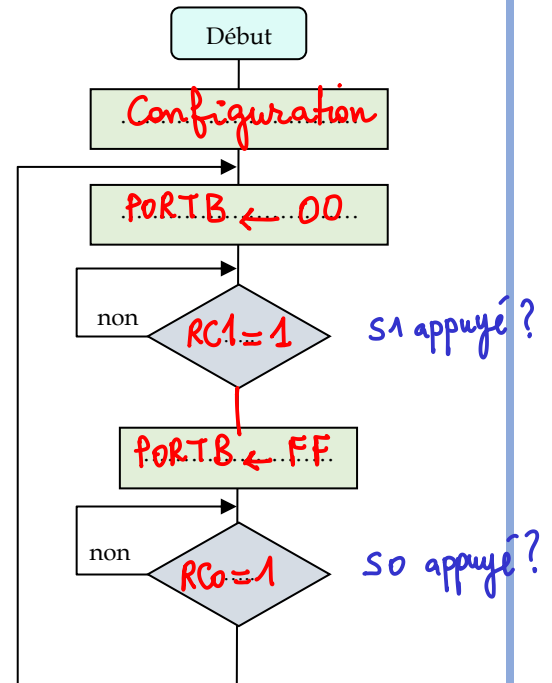
Une action sur le bouton poussoir **S0** éteint toutes les LEDs.

Et ainsi de suite.

Fournir l'organigramme et le programme



TRISB	0 0 0 0 0 0 0 0 = 00
TRISC	x x x x x x 1 1 = 03



```

( bcf STATUS, RP1
  bcf STATUS, RP0
  clrf TRISB
  movlw 0x03
  movwf TRISC
  bcf STATUS, RP1
  bcf STATUS, RP0

```

; page 1

; configurer PORTB en sortie

; configurer PORTC

; page 0

```

boucle1 clrf PORTB
boucle2 btfss PORTC, 1
        goto boucle2
        movlw 0xFF
        movwf PORTB
boucle3 btfss PORTC, 0
        goto boucle3
        goto boucle1

```

; éteindre les LEDs

; Si RC1 = 1 (signifiant si S1 appuyé)

; sinon se brancher à "boucle2"

; si oui allumer les LEDs

; Si RC0 = 1

; sinon se brancher à "boucle3"

; Se brancher à "boucle1" pour éteindre de nouveau

⇒ Techniques de comparaison des registres

Bits indicateurs d'état Z et C du registre STATUS

Le bit **Z** est l'indicateur de **Zéro** : **Z = 1** si le résultat d'une opération arithmétique ou logique est **zéro** ;
Z = 0 si le résultat est **différent de zéro**.

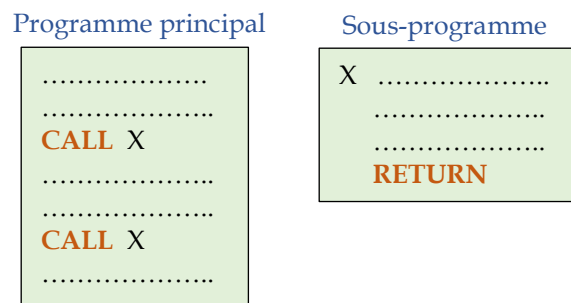
Le bit **C** est l'indicateur de **signe** : **C = 1** si le résultat d'une soustraction est **positif** ;
C = 0 si le résultat est **négatif**.

F1 et F2 étant deux registres, compléter ce tableau :

Action	Code assembleur
Si F1 = 0	<i>movl F1, w</i> ; copier F1 dans W puis contrôler le bit Z <i>btss STATUS, Z</i>
Si F1 = F2	<i>movl F2, w</i> ; $W \leftarrow F2$; effectuer la soustraction entre F1 et F2 puis contrôler le bit Z <i>subwl F1, w</i> ; $W \leftarrow F1 - F2$ <i>btss STATUS, Z</i> ; Z = 1 ?
Si F1 < F2	<i>movl F2, w</i> ; effectuer la soustraction entre F1 et F2 puis contrôler le bit C <i>subwl F1, w</i> <i>btsc STATUS, C</i>

⇒ Temporisation et sous-programme

Un sous-programme est une séquence d'instructions chargée d'effectuer un traitement particulier.
 Les sous-programmes permettent ainsi de décomposer un programme en plusieurs sous-parties.



CALL : instruction d'appel du sous-programme.

RETURN : instruction de retour au programme appelant.

Exercice

Faire clignoter à la fois et à 1 Hz, les 8 LED supposées montées sur PORTB.
On suppose déclaré un sous-programme "tempo" qui réalise une temporisation de 0,5 s.

```

loop  ... clrf PORTB           ; Éteindre les LED
      ... call tempo          ; Temporiser 0,5 s
      ... movlw 0xFF          ; Allumer les LED
      ... movwf PORTB         ;
      ... call tempo          ; Temporiser 0,5 s
      ... goto loop          ; répéter
  
```

Variante utilisant l'instruction **comf F, d**

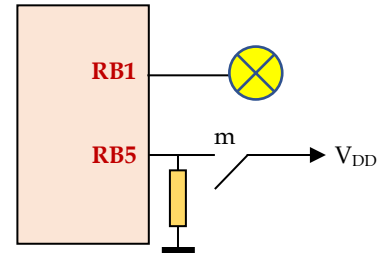
```

loop  ... clrf PORTB           ; Éteindre les LED
      ... call tempo          ; Temporiser 0,5 s
      ... comf PORTB, f       ; complémenter PORTB
      ... goto loop          ; répéter
  
```

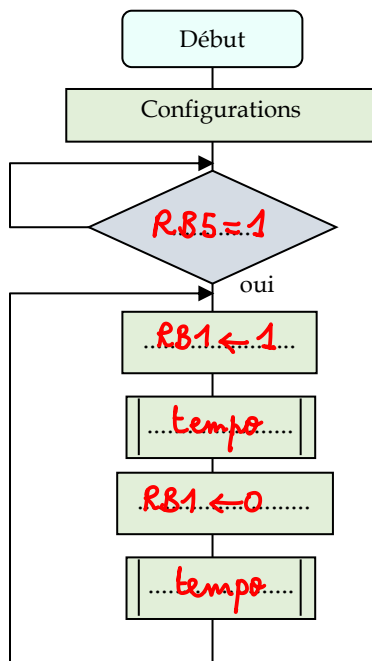
Exercice

Faire clignoter la **LED** du montage ; **m** est le bouton marche.

Réaliser la temporisation par une boucle de retard (temporisation logicielle) et la confier à un sous-programme.



Programme principal



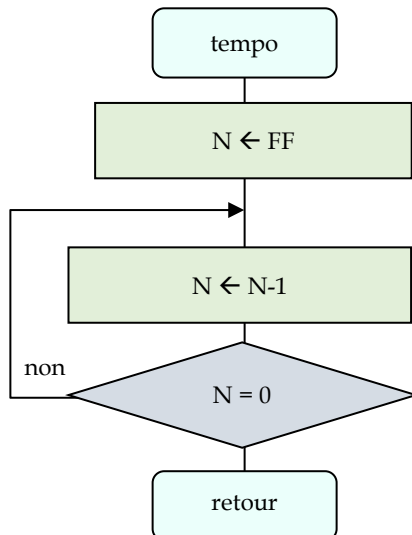
```

N equ 0x20           ; Initialisation des variables

( bcf STATUS, RP1    ; page 1
  bsf STATUS, RP0
  movlw 0x20          ; configurer port B
  movwf TRISB         TRISB x x 1 x x x 0 x = 20
  bcf STATUS, RP1    ; page 0
  ( bcf STATUS, RP0
test  btfss PORTB, 5   ; tester si RB5 = 1 et saut si vrai
      goto test       ; revenir à 'test'
lab   bsf PORTB, 1     ; allumer
      call tempo       ; appel du sous-programme 'tempo'
      bcf PORTB, 1     ; éteindre
      call tempo       ; temporisation
      goto lab        ; revenir à 'lab'

tempo  movlw 0xFF      ; sous prog. de temporisation
       movwf N
boucle decfsz N, f
       Goto boucle
       Return
  
```

Sous-programme de temporisation



```

tempo  movlw 0xFF      ; N ← FF
       movwf N
loop   decfsz N, f      ; décrémente N et tester si N = 0
       goto loop      ; sinon retour à l'étiquette 'loop'
       return         ; retour au programme principal
  
```

Durée de temporisation du sous-programme

La fréquence **f** de fonctionnement interne du PIC est le quart de celle du quartz ; soit **f = Fosc / 4**.

- Pour un quartz de Fosc = 20 MHz $\Rightarrow f = 5 \text{ MHz} \Rightarrow 1 \text{ cycle} = 1/f = 0,2 \mu\text{s}$;
- Pour un quartz de Fosc = 4 MHz $\Rightarrow f = 1 \text{ MHz} \Rightarrow 1 \text{ cycle} = 1 \mu\text{s}$.

- Pour un quartz de **4MHz**, 1 cycle instruction = **1 μ s** ;
- Toutes les instructions du sous prog. prennent 1 cycle sauf goto et return qui en prennent 2.

Calcul de la durée la temporisation :

movlw	→ 1 cycle	} T = 768 cycles
movwf	→ 1 cycle	
decfsz (sans saut.)	→ 254 x 1 cycle	
decfsz (avec saut.)	→ 2 cycles	
goto	→ 254 x 2 cycle	
return	→ 2 cycles	} T = 768 μs

Multiple durées de temporisation

Augmenter la durée de temporisation peut être obtenu par imbrication des boucles de retard.

```

tempo  movlw 0xFF
        movwf N
loop   decfsz N,f
        goto loop
        return
  
```

Durée T = **768 μ s** avec un quartz de **4MHz**

```

tempo1  movlw 0xFF
         movwf N1
loop1   call tempo
         decfsz N1,f
         goto loop1
         return
  
```

Durée T1 = **$\approx 255 \times 768 \mu\text{s} \approx 196 \text{ ms}$**

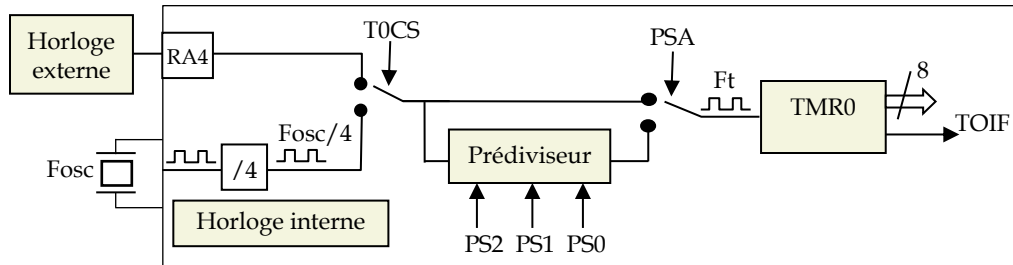
```

tempo2  movlw 0xFF
         movwf N2
loop2   call tempo
         decfsz N2,f
         goto loop2
         return
  
```

Durée T2 = **$\approx 255 \times 196 \text{ ms} \approx 50 \text{ s}$**

⇒ Module Timer 0

- Le Timer 0 est un compteur 8 bits qui peut servir de temporisateur (timer) ou de compteur d'évènements ;
- TMR0 est un registre associé au Timer 0.



Configuration

Timer 0 est configuré par le registre OPTION_REG

Registre **OPTION_REG**
(pages 1 et 3)

RBPUP	INTEDG	T0CS	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0
-------	--------	-------------	------	------------	------------	------------	------------

- L'horloge peut être interne ou externe :
 - T0CS = 0** → horloge interne (de fréquence $F_{osc}/4$) ;
 - T0CS = 1** → horloge externe appliquée à la broche RA4.
- On peut ou non utiliser le prédiviseur :
 - PSA = 0** → le prédiviseur est affecté au timer TMR0 ;
 - PSA = 1** → le prédiviseur est affecté au Watchdog WDT.

Le facteur de division de la fréquence est fixé par les bits PS2, PS1 et PS0

PS2 PS1 PS0	000	001	010	011	100	101	110	111
Division de fréquence de TMR0 par	2	4	8	16	32	64	128	256

Timer 0 en mode timer

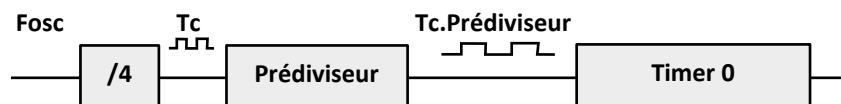
Dans ce mode, Timer 0 est piloté par l'horloge interne du microcontrôleur et sert de temporisateur..

La durée de temporisation est **$T = T_c \cdot \text{Prédiviseur} \cdot (256 - \text{TMR0})$**

T_c : durée d'un cycle horloge.

Prédiviseur : valeur de prédivision.

TMR0 : valeur de départ du registre TMR0.



Temporisation par scrutation du débordement du Timer 0

Au débordement du timer (passage de FF à 00), le bit **TOIF** du registre **INTCON** passe à 1.

Registre **INTCON**
(pages 0, 1, 2 et 3)

GIE	PEIE	TOIE	INTE	RBIE	TOIF	INTF	RBIF
-----	------	------	------	------	-------------	------	------

Exercice

On désire obtenir une temporisation de **10 ms**, trouver le mot de configuration (OPTION_REG) et la valeur initiale de TMR0.
On donne **Fosc = 4 MHz**.

Écrire, ensuite, un sous-programme qui met en œuvre cette temporisation en scrutant le bit TOIF.

En mode timer, on utilise l'horloge interne : T0CS = **0**.

Et si on choisit une prédivison = **64**..., le mot de configuration sera : (choix arbitraire)

OPTION_REG	RBPUR	INTEDG	T0CS	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0
	X	X	0	X	0	1	0	1

= (05)₁₆

Avec un quartz de Fosc = 4MHz, la durée d'un cycle horloge est **Tc = 1μs**

$$T = T_c \cdot \text{Prédiv} \cdot (256 - \text{TMR0}) \Rightarrow \text{TMR0} = 256 - \frac{T}{T_c \cdot \text{Prédiv}}$$

$$\text{TMR0} = 256 - \frac{10 \times 10^{-3}}{10^{-6} \cdot 64} \approx 100$$

Sous-programme de temporisation de 10 ms par scrutation du bit TOIF

```

...
movlw 0x05                ; configurer Timer 0 via OPTION_REG
movwf OPTION_REG

...
tempo10ms movlw d'100      ; valeur de départ du registre TMR0
           movwf TMR0
           bcf INTCON, TOIF ; baisser le drapeau càd mettre TOIF = 0
attente   btfss INTCON, TOIF ; tester si TOIF = 1
           goto attente     ; sinon revenir à 'attente'
           return           ; retour au programme principal

```

Exercice

Donner la valeur initiale de TMR0 et trouver le mot de configuration (OPTION_REG) pour obtenir la temporisation maximale possible. On donne **Fosc = 4 MHz**.

Écrire, ensuite, un sous-programme qui met en œuvre cette temporisation.

La temporisation est maximale quand **TMR0 = 0** (et prédiv. = 256)

$$T_{\max} = T_c \cdot \text{prédiv} (256 - \text{TMR0}) = 10^{-6} \cdot 256 \cdot 256 = 65,5 \text{ ms}$$

OPTION_REG	RBPUR	INTEDG	T0CS	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0
	X	X	0	X	0	1	1	1

= (07)₁₆

Sous-programme de temporisation maximale

```

...
movlw 0x07                ; configurer Timer 0 via OPTION_REG
movwf OPTION_REG

...
tempomax  clrf TMR0        ; valeur de départ du registre TMR0
           bcf INTCON, TOIF ; baisser le drapeau càd mettre TOIF = 0
attente   btfss INTCON, TOIF ; tester si TOIF = 1
           goto attente     ; sinon revenir à 'attente'
           return           ; retour au programme principal

```

⇒ Le module WDT Watchdog Timer ou chien de garde

C'est un compteur 8 bits incrémenté par une horloge indépendante de l'horloge système (même si le μC est en mode sleep). Lorsqu'il déborde (après 18 ms), deux situations sont possibles :

- Si le μC est en fonctionnement normal, cela provoque un RESET ;
- Si le μC est en mode SLEEP, cela provoque un WAKE-UP (l'exécution du programme reprend).

Configuration

Registre **OPTION_REG**
(pages 1 et 3)

RBPU	INTEDG	T0CS	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0
------	--------	------	------	-----	-----	-----	-----

Il est possible d'augmenter la durée par utilisation du prédiviseur (celui partagé avec le timer 0). Le coefficient de prédivision est fixé par les bits PS0, PS1 et PS2 :

- **PSA = 0** → le prédiviseur est affecté au timer TMR0 ;
- **PSA = 1** → le prédiviseur est affecté au Watchdog WDT.

Le coefficient de prédivision de la fréquence est fixé par les bits PS2, PS1 et PS0 :

PS2 PS1 PS0	000	001	010	011	100	101	110	111
Division de fréquence par	1	2	4	8	16	32	64	128

Le WDT est activé par la directive `__CONFIG _WDT_ON`.

Mode SLEEP

Dans ce mode, l'horloge système est arrêtée ce qui suspend l'exécution du programme.

Pour sortir du mode SLEEP et donc continuer l'exécution, il faut provoquer un WAKE-UP par :

- Un RESET externe dû à l'initialisation du PIC ; dans ce cas, l'exécution recommence ;
- Ou par un débordement du chien de garde WDT s'il est activé ; dans ce cas, l'exécution continue.

Temporisation par le WDT combiné au mode Sleep

On met le μC dans le mode Sleep ; le programme est alors suspendu et reprendra après débordement du WDT.

Exercice

Faire clignoter une LED montée sur la ligne RC0.

On optera pour une prédivision par ...**4**... donc PSA = ..**1**... et PS2 PS1 PS0 = ...**0 1 0**...

Donc

OPTION_REG	RBPU	INTEDG	T0CS	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0
	.. X ..	... X ..	... X ..	.. X ..	.. 1 ..	.. 0 ..	.. 1 ..	.. 0 ..

= 0A

La durée du WDT étant de

Avec le prédiviseur elle devient

$$18 \text{ ms} \\ 4 \times 18 \text{ ms} = 72 \text{ ms}$$

```

...CONFIG..._WDT_ON... ; activer WDT
...
movlw 0x0A ; configurer WDT via OPTION_REG
movwf OPTION_REG
...
loop bsf PORTC,0 ; allumer la LED
sleep ; passer en mode sleep. Réveil après débordement de WDT
bcf PORTC,0 ; éteindre la LED
sleep ; passer en mode sleep. Réveil après débordement de WDT
goto loop

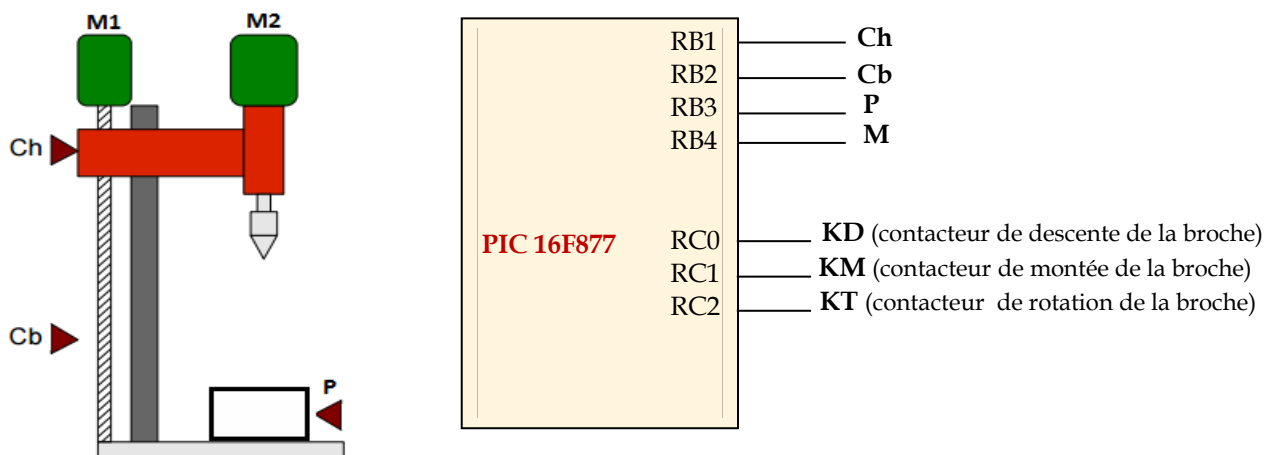
```

Durées possibles du WDT

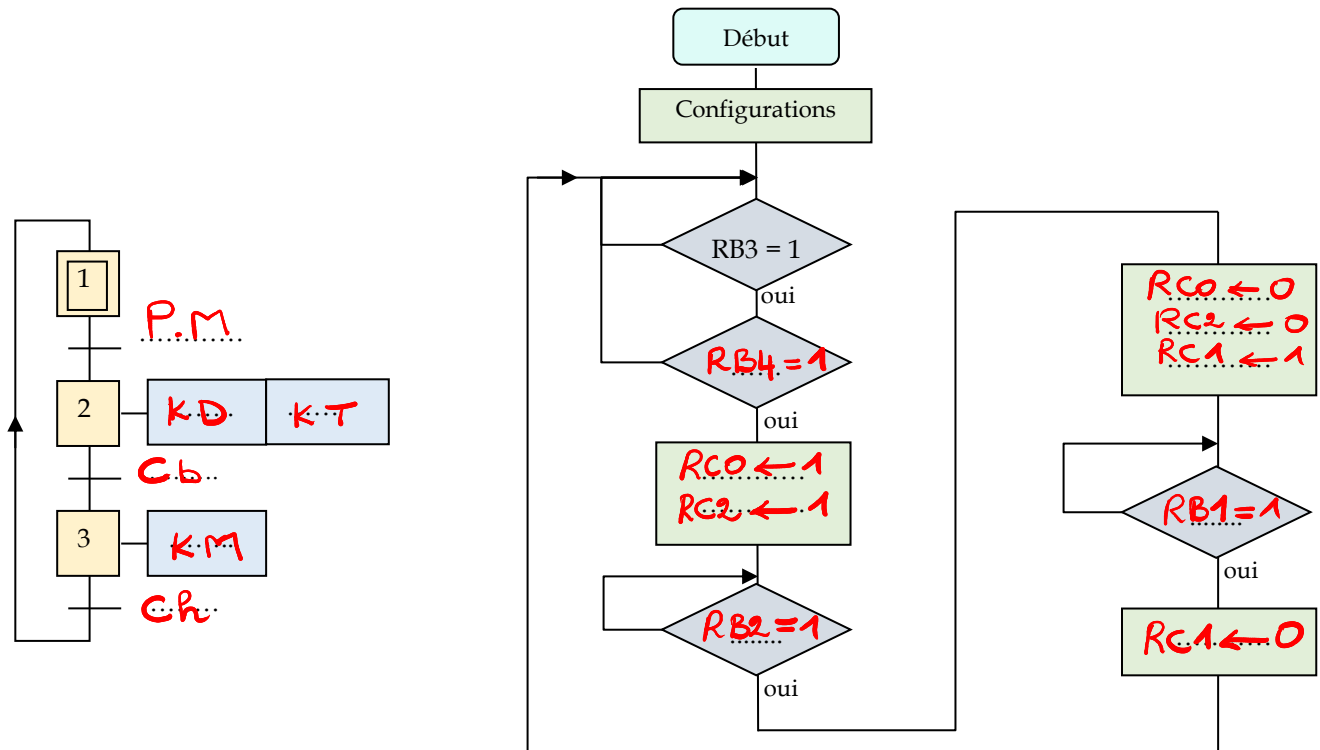
PSA	PS2, PS1, PS0	Taux de prévision du WDT	Mot de configuration (OPTION_REG)	Durée indicative
1	000	1...	$x \cdot x \cdot x \cdot x \cdot 1000 = 08$	18 ms
1	001	2...	$x \cdot x \cdot x \cdot x \cdot 1001 = 09$	36 ms
1	010	4...	$x \cdot x \cdot x \cdot x \cdot 1010 = 0A$	72 ms
1	011	8...	$x \cdot x \cdot x \cdot x \cdot 1011 = 0B$	144 ms
1	100	16...	$x \cdot x \cdot x \cdot x \cdot 1100 = 0C$	288 ms
1	101	32...	$x \cdot x \cdot x \cdot x \cdot 1101 = 0D$	576 ms
1	110	64...	$x \cdot x \cdot x \cdot x \cdot 1110 = 0E$	1,152 s
1	111	128...	$x \cdot x \cdot x \cdot x \cdot 1111 = 0F$	2,304 s

Implantation du GRAFCET dans un microcontrôleur

Le système est une perceuse automatique simple. Lorsque la pièce à usiner est en place (P), un appui sur le bouton M lance le cycle : la machine descend jusqu'à Cb puis remonte pour s'arrêter en Ch.



Fournir le GRAFCET, le traduire en organigramme puis en un programme assembleur pour le microcontrôleur PIC16F877.



```

bcf STATUS, RP1                                ; page 1
bsf STATUS, RP0
(movlw 0x1E                                     ; configurer le port B   xxx111x
movwf TRISB
clrf TRISC                                       ; configurer le port C   xxxxx000
bcf STATUS, RP0
bcf STATUS, RP1

test1 btfss PORTB, 3                            ; si RB3 = 1
      goto test1
      btfss PORTB, 4                            ; si RB4 = 1
      goto test1
      bsf PORTC, 0                             ; RC0 ← 1
      bsf PORTC, 2                             ; RC2 ← 1
test2 btfss PORTB, 2                            ; si RB2 = 1
      goto test2
      bcf PORTC, 0                             ; RC0 ← 0
      bcf PORTC, 2                             ; RC2 ← 0
      bsf PORTC, 1                             ; RC1 ← 1
test3 btfss PORTB, 1                            ; si RB1 = 1
      goto test3
      bcf PORTC, 1                             ; RC1 ← 0
      goto test1                               ; recommencer

```

⇒ Interruptions

Une interruption provoque l'arrêt du programme principal pour aller exécuter un sous-programme, dit d'interruption, qui se trouve à l'adresse **0004**.

À la fin de cette procédure, le microcontrôleur reprend le programme principal à l'endroit où il l'a laissé.

Sources d'interruption

Interruption	Source d'interruption	Bit de validation	Flag	Interruption périphérique
TOI	Débordement de Timer0	TOIE	TOIF	Non
INT	Front sur la broche RB0/INT (le front de déclenchement est configuré par le bit INTEDG)	INTE	INTF	Non
RBI	Front sur une broche RB4-RB7	RBIE	RBIF	Non
ADI	Fin de conversion A/N	ADIE	ADIF	Oui
TMR1I	Débordement de Timer1	TMR1E	TMR1F	Oui
TMR2I	Timer2 a atteint la valeur maxi	TMR2E	TMR2F	Oui
EEl	Fin d'écriture en EEPROM	EEIE	EEIF	Oui

- ☞ Toutes les interruptions peuvent être validées/interdites à la fois par le bit GIE ;
- ☞ Chaque interruption peut être validée/interdite par son bit de validation individuel ;
- ☞ Un bit drapeau (flag) permet de savoir si l'évènement déclenchant l'interruption arrive.

L'interruption INT

Cette interruption externe arrive via la broche RB0/INT, sa mise en œuvre nécessite de :

- Mettre à 1 le bit **GIE** pour l'autorisation globale de toutes les interruptions ;
- Mettre à 1 le bit **INTE** afin d'autoriser l'interruption sur RB0/INT ;
- Choisir le front (montant ou descendant) qui déclenche l'interruption par le bit **INTEDG** du registre OPTION_REG.

Le bit **INTF** (flag) est un indicateur, il est mis à 1 si une interruption arrive sur RB0/INT. Il doit être remis à 0 dans le programme de traitement de l'interruption.

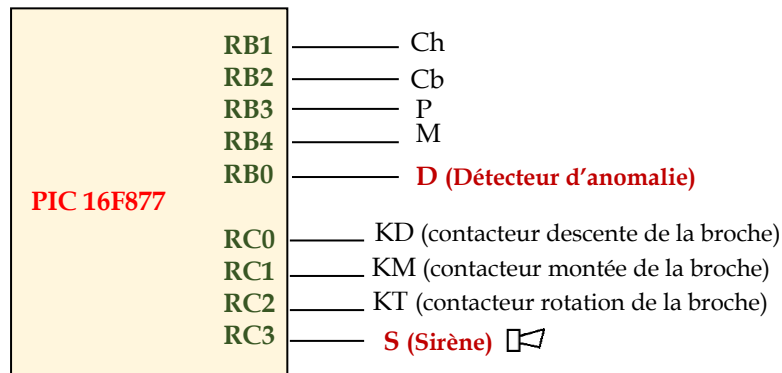
Registre **INTCON**

GIE	EEIE	TOIE	INTE	RBIE	TOIF	INTF	RBIF
-----	------	------	------	------	------	------	------

Exercice : mise en œuvre de l'interruption INT

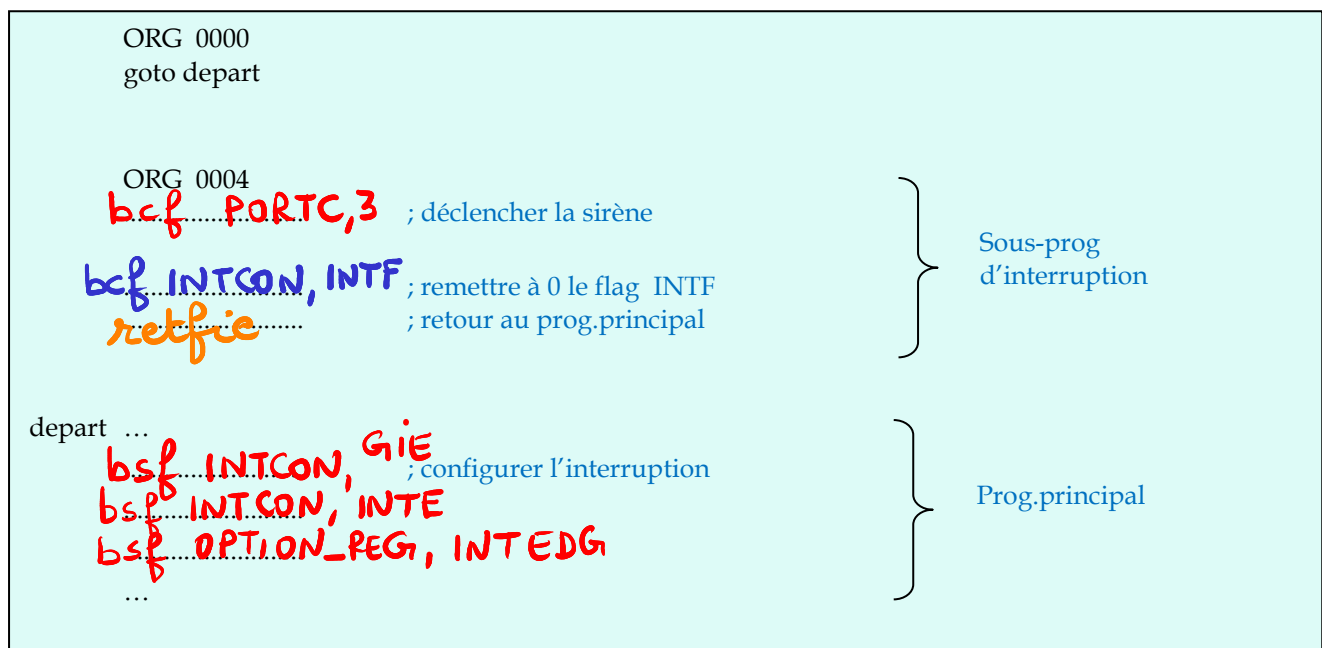
Il s'agit d'alerter les responsables en cas de danger autour de la perceuse de l'exercice traité plus haut : en cas d'anomalie signalée par le détecteur D sur la broche RB0, la sirène S montée sur RC3 entre en action

On va charger le programme principal de l'opération de perçage et la routine d'interruption du traitement de l'anomalie



Configuration de l'interruption INT (sur RB0)

Registre	bit	Action
INTCON	GIE = 1	Autorisation générale de toutes les interruptions
INTCON	INTE = 1	Autorisation de l'interruption INT (sur RB0)
OPTION_REG	INTEDG = 1	Choix du front montant sur RB0



Exercice 1 : examen national 2018, session de rattrapage
Tâche 4 : Test du niveau de la charge de la batterie (voir document DRES 04)

A chaque mise sous tension du chariot, l'utilisateur est informé du niveau de la charge de la batterie par une signalisation sonore. Pour cela, un sous-programme « Test » permet de tester la tension de la batterie E_{Bat} et d'émettre des bips sonores :

- $E_{Bat} \geq 12 V$ → charge convenable : 1 bip ;
- $11 V \leq E_{Bat} < 12 V$ → charge moyenne : 2 bips ;
- $E_{Bat} < 11 V$ → charge insuffisante (batterie déchargée) : 3 bips.

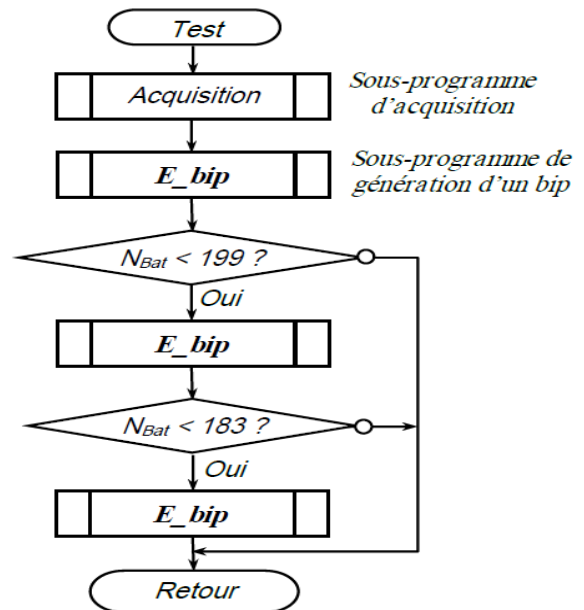
Le principe de ce test consiste à acquérir la tension U_{Bat} (image de la tension de la batterie E_{Bat}) et à la convertir en une valeur numérique N_{Bat} ; ensuite, on compare cette valeur aux seuils correspondants définis dans le tableau suivant :

	$E_{Bat} = 11 V$	$E_{Bat} = 12 V$
$U_{Bat} (V)$	3,59	3,92
N_{Bat} en décimal	183	199

L'organigramme du sous-programme « Test » est représenté ci-contre :

On note **adr_Nbat** l'adresse de la case mémoire contenant la valeur numérique N_{Bat} .

Q39) En utilisant le jeu d'instructions du microcontrôleur donné sur le document DRES 05, compléter le programme Assembleur correspondant à cet organigramme. 6 pts



Q39) Programme assembleur :

Label	Mnémonique	Opérande	Commentaire
Test	CALL ..	Acquisition	; Appel au sous-programme Acquisition
	CALL	E_bip	; Appel au sous-programme E_bip
	MOVLW ..	d'199'	; Charger W par la valeur 199
	SUBWF	Adr_NBat,W	; Comparer (adr_NBat) à W
	BTFSC	STATUS,C	; Sauter si N_Bat < 199
	GOTO	Fin	; Aller à la fin
	CALL	E_bip	; Appel au sous-programme E_bip
	MOVLW	d'183'	; Charger W par la valeur 183
	SUBWF ..	Adr_NBat ,W	; Comparer (adr_NBat) à W
	BTFSC	STATUS,C	; Sauter si N_Bat < W
	GoTo ..	Fin ..	; Aller à la fin
	CALL	E_bip	; Appel au sous-programme E_bip
Fin	RETURN		

Exercice 2 : examen national 2019, session de rattrapage
Tâche 2 : Programme de régulation du degré d'acidité pH

Le programme de régulation agit selon l'**algorithme** suivant :

- Acquisition du niveau de pH ;
- Affichage du niveau de pH sur l'indicateur (BARGRAPH) ;
- Si le pH mesuré est inférieur à 6,9 ($N < N1$) alors :
 - ✓ Injection pendant 5 minutes du correcteur de pH+ par la mini-pompe doseuse pH+ ;
 - ✓ Arrêt de la mini-pompe pendant 15 minutes, ce qui permet de stabiliser l'eau traitée ;
- Si le pH mesuré est supérieur à 7,7 ($N > N2$) alors :
 - ✓ Injection pendant 5 minutes du correcteur de pH- par la mini-pompe doseuse pH- ;
 - ✓ Arrêt de la mini-pompe pendant 15 minutes, ce qui permet de stabiliser l'eau traitée.

On dispose des sous programmes suivants :

- **Acquisition_pH** : qui permet de convertir le signal U_3 image du pH en un nombre N sur 8 bits, stocké dans la case mémoire appelée **Val_pH** ;
- **Affichage_pH** : qui permet d'afficher le pH mesuré sur le BARGRAPH à diodes LED connecté sur le port B ;
- **TEMPO_T1** : est un sous-programme de temporisation $T1 = 5 \text{ min}$;
- **TEMPO_T2** : est un sous-programme de temporisation $T2 = 15 \text{ min}$.

Q.43- En vous aidant de l'algorithme ci-dessus, compléter l'**organigramme** correspondant.

[4,5 pts]

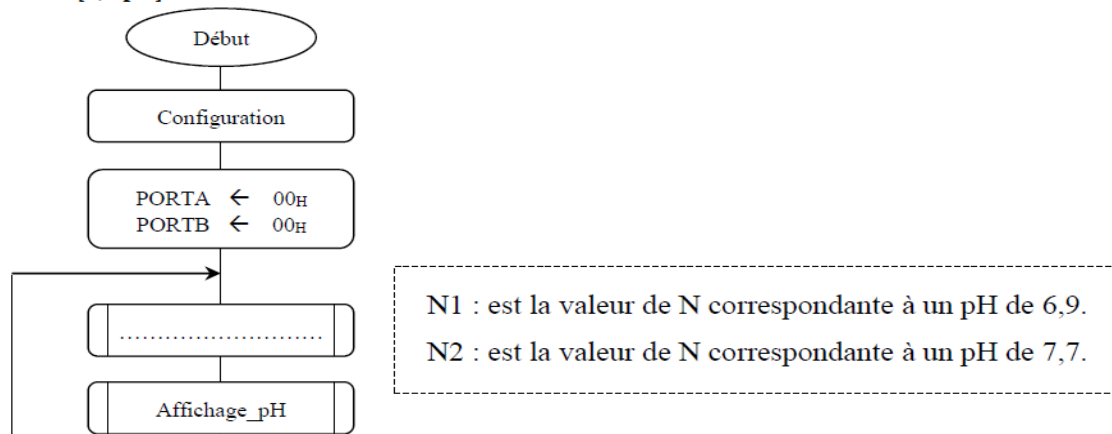
La configuration du PIC16F876 est comme suit :

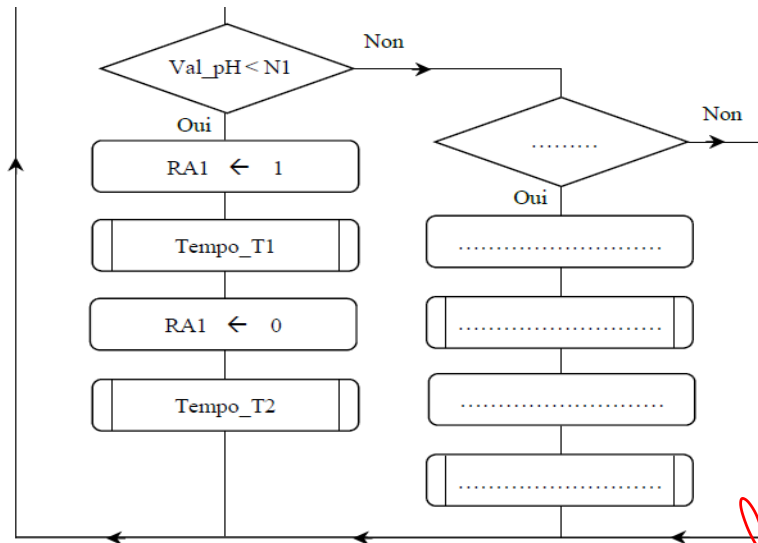
- RA2 : Sortie logique pour la commande de la mini-pompe doseuse pH- ;
- RA1 : Sortie logique pour la commande de la mini-pompe doseuse pH+ ;
- RA0 : Entrée analogique pour l'acquisition de la tension U_3 image du pH de l'eau de la piscine ;
- RB0...RB7 : Sorties logiques pour la commande du BARGRAPH.

Q.44- En vous aidant du jeu d'instructions fourni en **DRES 04** page 14, compléter le programme assembleur de régulation du pH. (Les bits non utilisés du registre **TRISA** sont à 0).

[5,5 pts]

Question.43: [4,5 pts]





Voir la correction sur la page
www.albawaba.ma/2ste

Question.44: [5,5 pts]

	BCF	STATUS, 6	
			; Accès à la banque 1
			
			; Configuration PORTA
			; Configuration PORTB
	MOVLW	0X0E	
	MOVWF	ADCON1	; Configuration ADCON1
	BCF	STATUS, 5	; Accès à la banque 0
	MOVLW	0X81	
	MOVWF	ADCON0	; Configuration ADCON0
	CLRF	PORTB	;
	CLRF	PORTA	; Initialisation des sorties du système
LAB1	CALL	Acquisition_pH	; Appel du sous-programme Acquisition_pH
	CALL	Affichage_pH	; Appel du sous-programme Affichage_pH
			;
			;
			;
	GOTO	LAB2	; Si non sauter à LAB2
			;
			;
			;
			;
	GOTO	LAB1	; Reprendre
LAB2	MOVF	Val_pH, W	; Lecture du résultat de la conversion
	SUBLW	N2	; W = N2 - W
	BTFSC	STATUS, C	; W > N2?
	GOTO	LAB1	; Si non sauter à LAB1
	BSF	PORTA, 2	; Injection du pH-
	CALL	TEMPO_T1	; Appel du sous-programme de temporisation 5 min
	BCF	PORTA, 2	; Arrêt d'injection du pH-
	CALL	TEMPO_T2	; Appel du sous-programme de temporisation 15 min
	GOTO	LAB1	; Reprendre

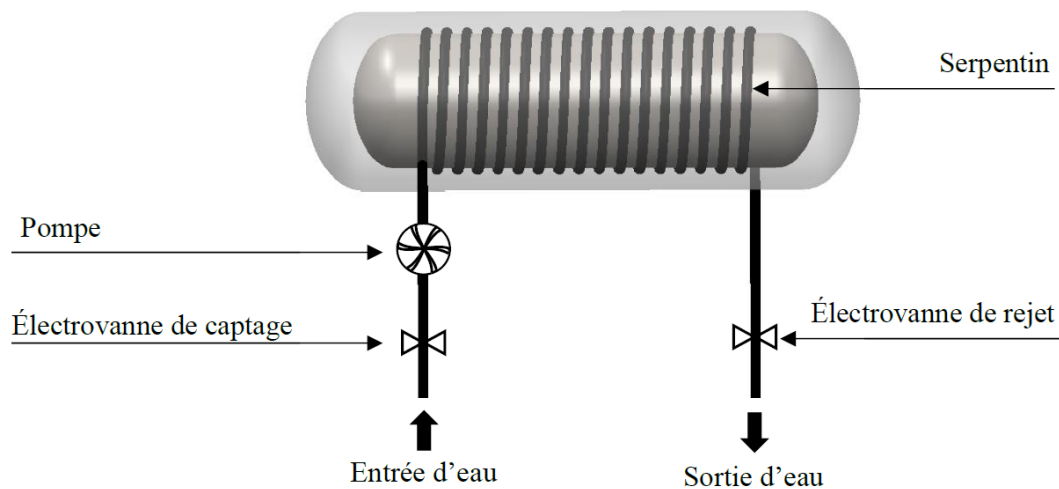
Exercice 3 : examen national 2021, session normale
Tâche 2 : Commande du système de refroidissement à l'eau de mer

Les constituants électriques de l'hydrolienne, en particulier les convertisseurs électroniques de puissance, sont confinés à l'intérieur du convertisseur **AC/AC** (l'enceinte posée au fond marin et abritant l'ensemble du matériel électrique de l'hydrolienne).

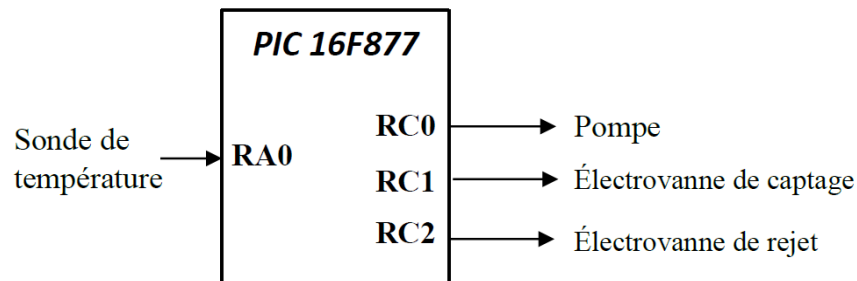
De ce fait, les composants électroniques peuvent être portés à des températures excessives. Cela nécessite de prévoir un moyen de refroidissement afin de protéger l'électronique embarquée.

On envisage de maintenir la température à l'intérieur du convertisseur **AC/AC** entre **20 °C** et **30 °C** par un système de refroidissement à l'eau de mer.

Moyennant deux électrovannes et une pompe à eau de mer, le système fait circuler l'eau dans un serpentin (tube métallique enroulé en spirale) inséré dans la double coque du convertisseur **AC/AC**. C'est un refroidissement en circuit ouvert ; en effet, après circulation dans le serpentin, l'eau est rejetée dans la mer. Une sonde mesure la température à l'intérieur du convertisseur **AC/AC**.



La commande de ce système de refroidissement est réalisée par un microcontrôleur **PIC 16F877** selon l'architecture suivante :



Programme de commande de ce système de refroidissement

Éléments du programme

- **Lecture_T** : sous-programme chargé de lire, sur la ligne **RA0**, l'information issue de la sonde de température et de ranger le code numérique correspondant dans le registre **NT**.
- **NT** : registre qui contient le code numérique de la température mesurée par la sonde.
- **NT_{min}** et **NT_{max}** : sont les codes numériques qui correspondent respectivement à **20 °C** et **30 °C**.

Séquences du programme

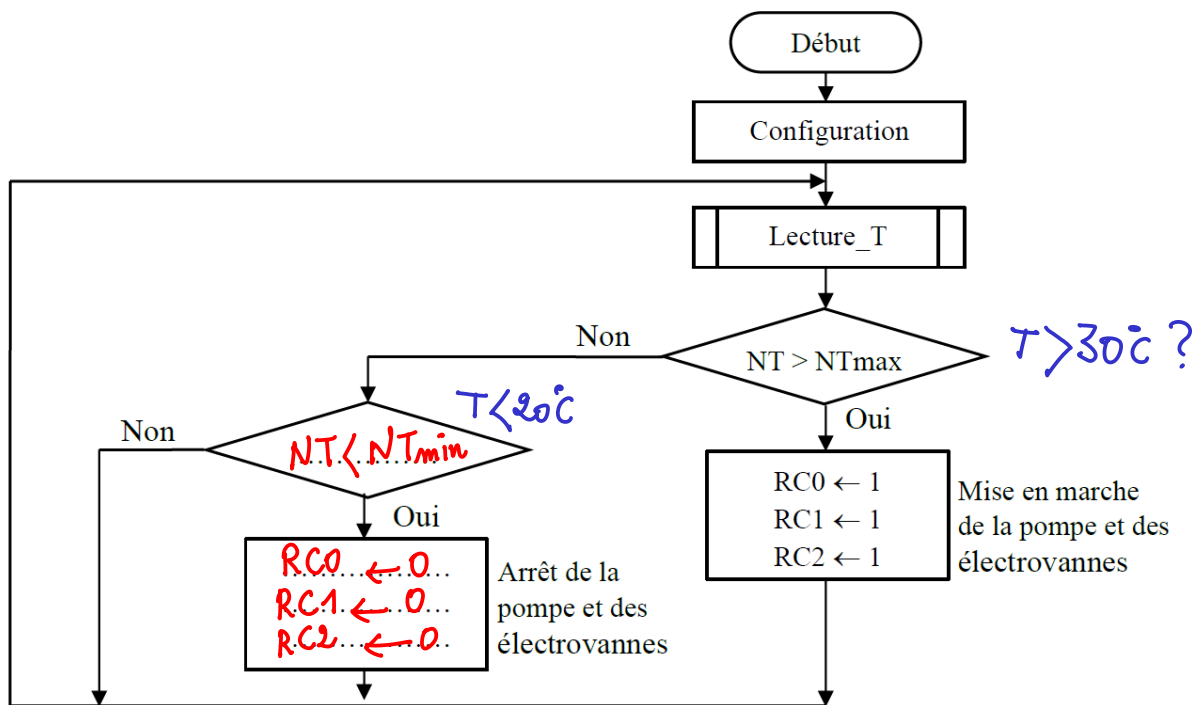
- Appel du sous-programme **Lecture_T** ;
- Evaluation de la température lue :
 - Si **NT > NT_{max}**, on met en marche la pompe et les deux électrovannes ;
 - Si **NT < NT_{min}**, on arrête la pompe et les deux électrovannes ;
- Reprendre une nouvelle lecture de la température.

Question : 43. Compléter l'organigramme traduisant les séquences ci-dessus.

2 pts

Question : 44. En vous aidant du jeu d'instructions du **DRES 04**, compléter le programme assembleur correspondant.

6 pts



Instruction		Commentaire	
	BCF STATUS, RP1 BSF STATUS, RP0	; Activer la page 1	
	CLRFTRISC	; Configurer PORTC en sortie	
	BSF TRISA, 0	; Configurer la ligne RA0 en entrée	
	BCF STATUS, RP1 BCF STATUS, RP0	; Activer la page 0	
repeter	CALLLecture_T	; appel du sous-programme "Lecture_T"	
	MOVLW NTmax SUBWF NT, w BTFSSSTATUS, C	; W ← NTmax ; W ← NT – NTmax ; tester si le bit C = 1	tester si NT > NTmax
	GOTO saut	; si non, se brancher à l'étiquette "saut"	
	BSF PORTC, 0 BSF PORTC, 1 BSF PORTC, 2	; si oui, mettre en marche la pompe et les deux électrovannes	
	GOTO repeter	; reprendre	
saut	MOVLWNTmin SUBWF NT, w BTFSCSTATUS, C	; W ← NTmin ; W ← NT – NTmin ; tester si le bit C = 0	tester si NT < NTmin
	GOTO repeter	; si non, reprendre	
	BCF PORTC, 0 BCF PORTC, 1 BCFPORTC, 2	; si oui, arrêter la pompe et les deux électrovannes	
	GOTO repeter	; reprendre	

Exercice 4 : examen national 2022, session normale**Tâche 2 : Affichage de la masse à déplacer**

Le monte-charge étudié est équipé d'une carte d'acquisition et d'affichage de la masse m_C à déplacer (voir document ressources **DRES 04**). Cette carte est à base du microcontrôleur **PIC 16 F 876**.

L'affichage se fait en décimal sur 3 afficheurs à 7 segments, équipés chacun d'un décodeur BCD/7 segments et d'un Latch 4 bits (verrou à 4 bascules D).

On dispose des sous programmes suivants :

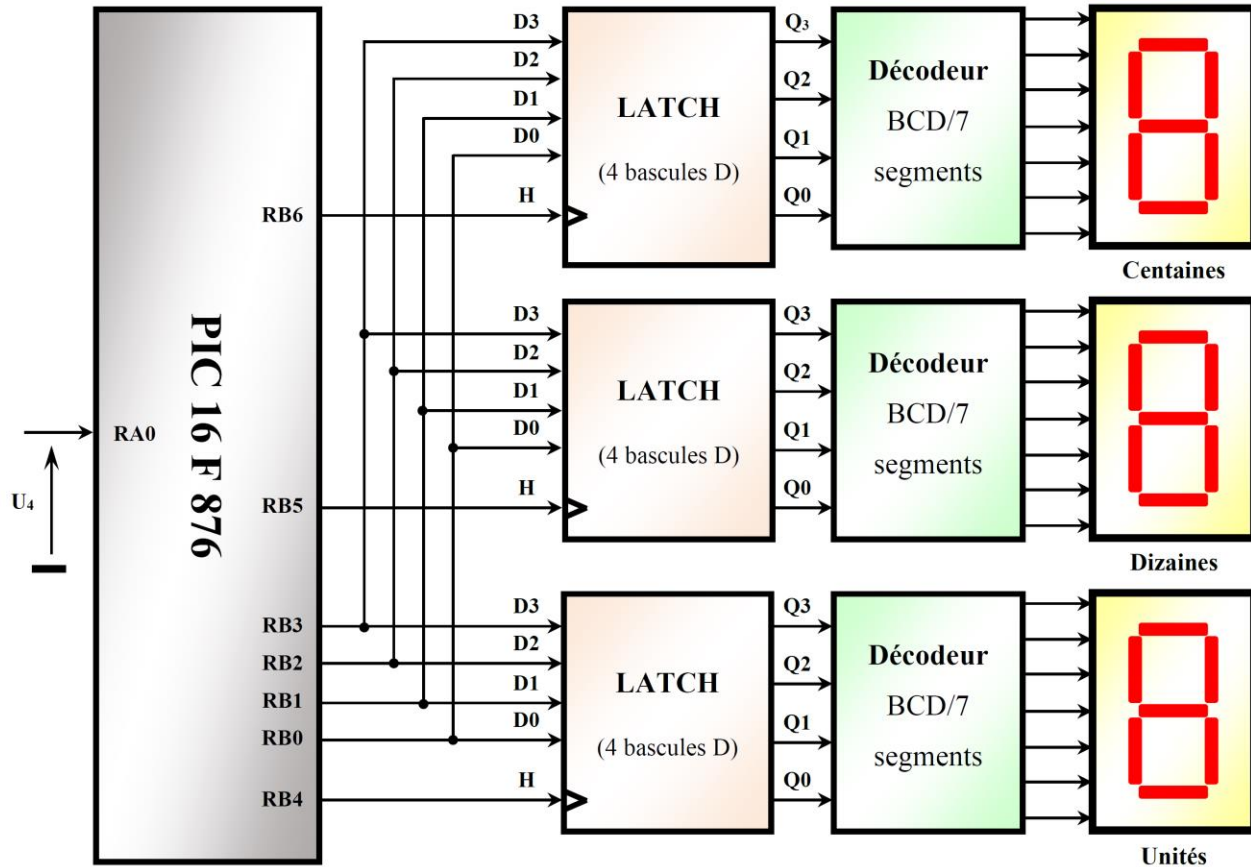
- **Acquisition** : Sous-programme qui convertit le signal U_4 image de la masse m_C à déplacer en un nombre N sur **10 bits**, stocké dans les registres internes du CAN (**ADRESH : ADRESL**).
- **Conv_Kg** : Sous-programme qui convertit la valeur numérique N résultat du convertisseur CAN (**ADRESH : ADRESL**) en un nombre N' exprimé en **Kg**, stocké dans deux cases mémoires appelées **Val_mc_H** et **Val_mc_L**.
- **Conv_BCD** : Sous-programme qui convertit le nombre N' en décimal (code BCD), stocké dans les cases mémoires appelées **Unite_mc** (pour les unités), **Dizaine_mc** (pour les dizaines) et **Centaine_mc** (pour les centaines) ;

Q.47 - En vous aidant du document ressources **DRES 04**, compléter l'**organigramme** de l'acquisition et de l'affichage de la masse m_C à déplacer. **4 pts**

Q.48 - En vous aidant du jeu d'instructions fourni en document ressources **DRES 05**, compléter le **programme assembleur** correspondant. **5 pts**

Carte d'acquisition et d'affichage de la masse à déplacer

DRES 04



Principe d'affichage de la masse à déplacer

Si $N' = 2DE_H$ alors $N' = 734$ en décimal donc $N' = 0111.0011.0100$ en BCD

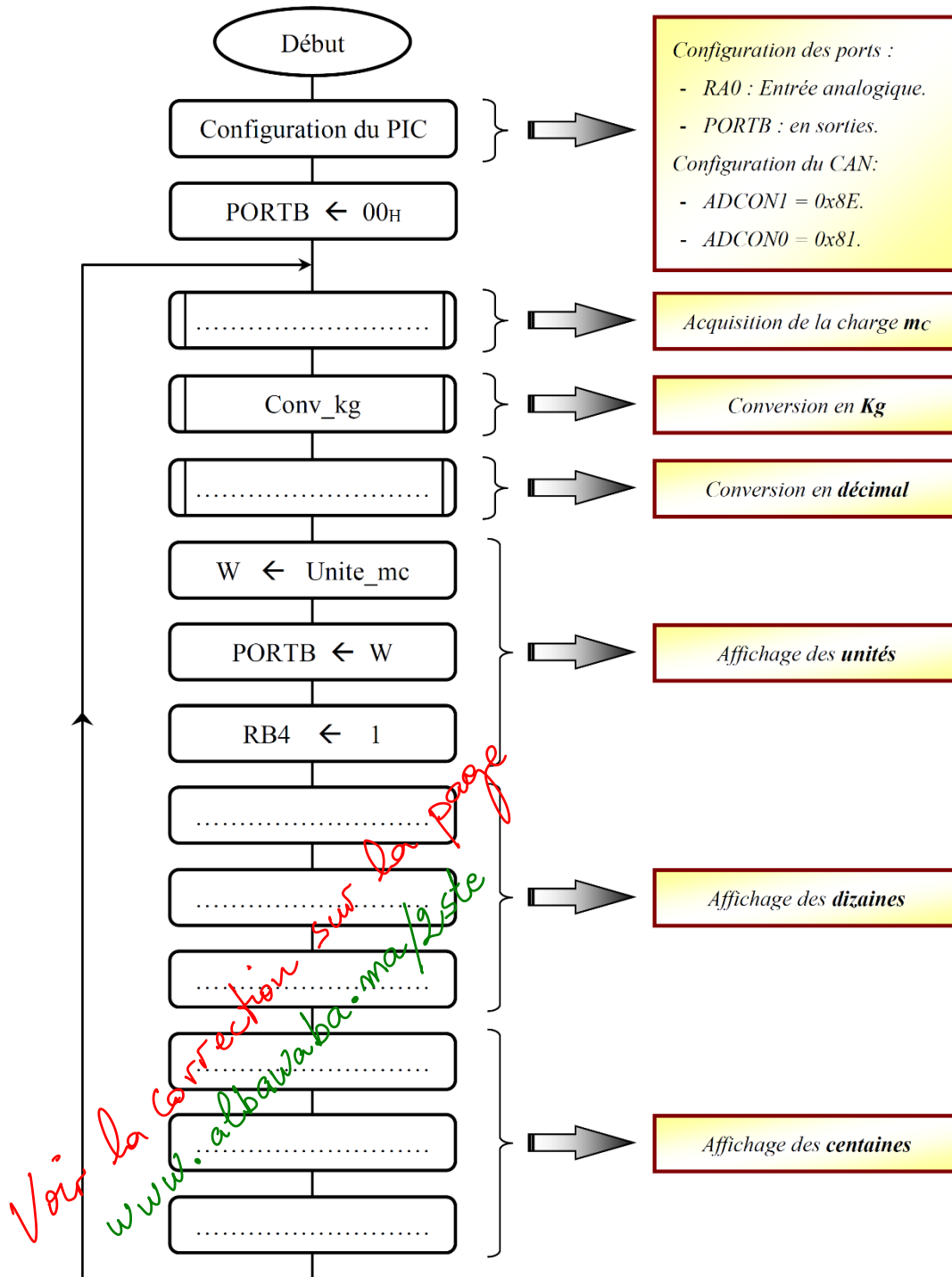
Donc, après appel du sous-programme "Conv_BCD" :

- Unité_mc = 0 0 0 0 . 0 1 0 0 (4)
- Dizaine_mc = 0 0 0 0 . 0 0 1 1 (3)
- Centaines_mc = 0 0 0 0 . 0 1 1 1 (7)

Pour afficher la masse à déplacer m_c en décimal sur les **trois** afficheurs ($N' = 2DE_H = 734$ en décimal), on effectue les opérations suivantes :

- Acquisition de la masse à déplacer par appel du sous-programme "Acquisition" ;
- Convertir le nombre N résultat de la conversion analogique numérique en un nombre N' , exprimé en **kg** par appel du sous-programme "Conv_Kg" ;
- Convertir N' en BCD par appel du sous-programme "Conv_BCD" ;
- Écrire la valeur des unités '4' sur les entrées $D_3..D_0$ de l'afficheur des unités avec $H = 0$;
- Mettre H à 1 pour mémoriser la valeur des unités par les sorties $Q_3..Q_0$ (créer un front montant sur l'entrée d'horloge des unités) ;
- Écrire la valeur des dizaines '3' sur les entrées $D_3..D_0$ de l'afficheur des dizaines avec $H = 0$;
- Mettre H à 1 pour mémoriser la valeur des dizaines par les sorties $Q_3..Q_0$ (créer un front montant sur l'entrée d'horloge des dizaines) ;
- Écrire la valeur des centaines '7' sur les entrées $D_3..D_0$ de l'afficheur des centaines avec $H = 0$;
- Mettre H à 1 pour mémoriser la valeur des centaines par les sorties $Q_3..Q_0$ (créer un front montant sur l'entrée d'horloge des centaines).

Q.47 -

DREP 09

Q.48 -**DREP 10**

```

BCF      STATUS, 6      ;
.....      ; accès à la BANK 1
.....      ; PORTB en sortie
.....      ; Mot de commande du registre TRISA

MOVWF    TRISA          ; RA0 en entrée

MOVLW    0x8E           ; Mot de commande du registre ADCON1

MOVWF    ADCON1         ; Configuration du CAN interne

BCF      STATUS, 5      ; Retour en banque mémoire 0

MOVLW    0x81           ; Mot de commande du registre ADCON0

MOVWF    ADCON0         ; Configuration du CAN interne

CLRF     PORTB          ; Initialisation des sorties

Loop     CALL    Acquisition      ; appel du sous-programme "Acquisition"
.....

CALL     Conv_BCD        ; appel du sous-programme "Conv_BCD"
.....
.....
.....
.....
.....
.....

MOVF     Centaine_mc, W  ; Lecture de la valeur des centaines

MOVWF    PORTB          ; Ecriture des centaines dans le PORTB

BSF      PORTB, 6       ; Affichage des centaines

GOTO     Loop           ;

```

Exercice 5 : examen national 2023, session de rattrapage**Tâche 2 : programmation du cycle de nettoyage des diffuseurs fines bulles**

Le colmatage (bouchage des orifices des membranes des diffuseurs causé par les dépôts) est le problème majeur observé dans le système d'insufflation par diffuseurs fines bulles.

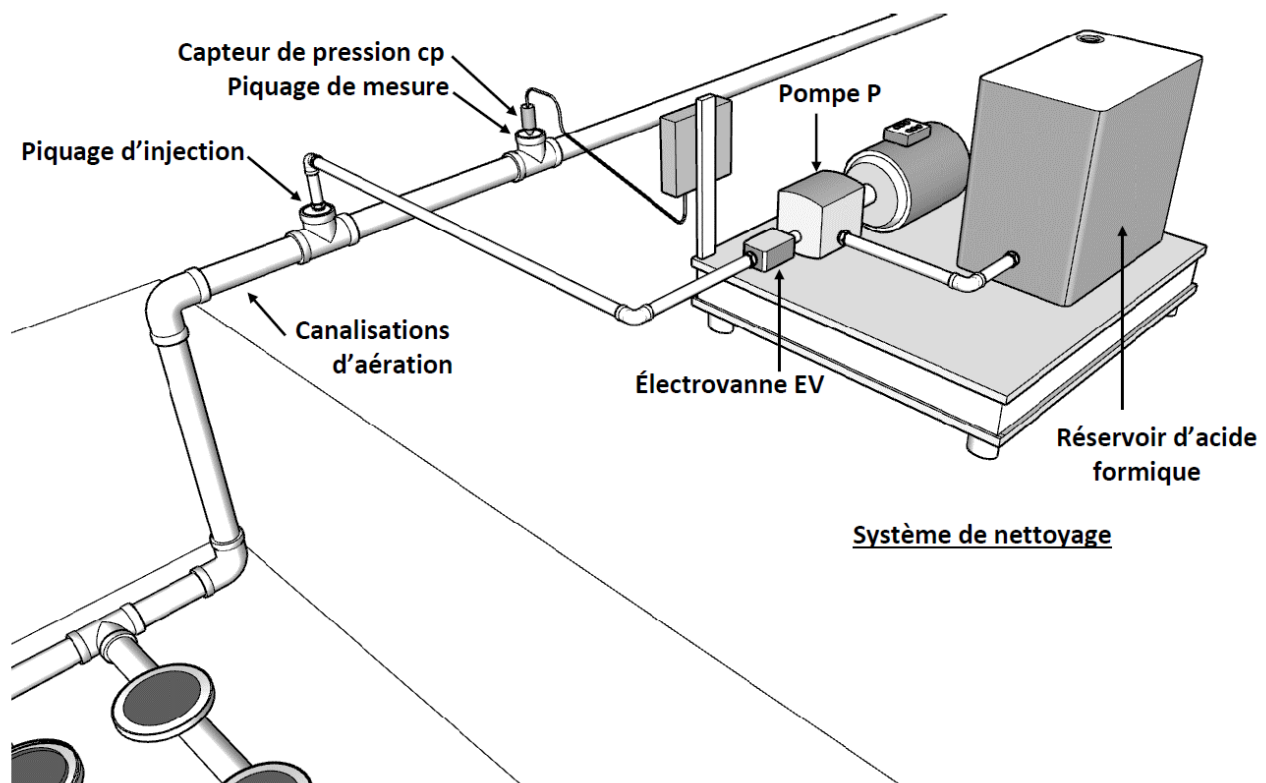
Il est donc fortement recommandé de procéder de façon régulière à un nettoyage préventif des canalisations d'aération

Le nettoyage par injection de l'acide formique est le remède le plus couramment utilisé.

Système de nettoyage

Le système de nettoyage (figure ci-dessous) est équipé d'une pompe **P** et d'une électrovanne d'isolement **EV** ; la pompe puise l'acide formique dans un réservoir. Le produit est pulvérisé et injecté dans les canalisations d'aérations par le biais d'un piquage.

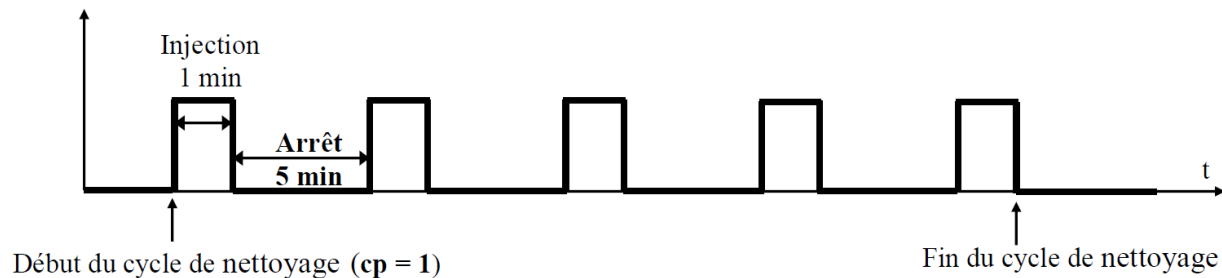
Le cycle de nettoyage se déclenche lorsque la perte de charge (chute de pression), détectée par un capteur de pression **cp**, dépasse un certain seuil



Le dispositif de nettoyage est géré par microcontrôleur (PIC 16F877). Le cycle de fonctionnement de ce dispositif est réalisé de la manière suivante :

Dès que le capteur « cp » détecte une perte de charge de **30 mbar** (**cp = 1**), on réalise **5 injections** d'acide formique d'une minute chacune (**1 min**), avec un arrêt de **5 minutes** entre deux injections successives.

Le chronogramme suivant illustre les étapes du cycle de nettoyage :



L'équipement électrique du nettoyeur est connecté au microcontrôleur comme suit :

Capteur de pression cp	→ RC1
Pompe P	→ RC2
Électrovanne EV	→ RC3

Q.40) Quelle est la durée totale T_n d'un cycle de nettoyage (en **min**) ?

1 pt

Q.41) Compléter l'organigramme de ce cycle (sont déclarés : une variable N de comptage ainsi que deux sous-programmes T_1min et T_5min qui réalisent respectivement des temporisations de **1 min** et de **5 min**) ;

2 pts

Q.42) Compléter le programme assembleur correspondant (le jeu d'instructions du microcontrôleur est fourni en **DRES 02**).

3 pts

Les deux sous-programmes de **T_1min** et **T_5min** font appel à une routine qui se répète plusieurs fois pour réaliser la temporisation désirée. Le code assembleur de la routine est le suivant :

<u>Routine de temporisation</u>		
	MOVLW	d'233'
	MOVWF	N1
b4	DECFSZ	N1, f
	GOTO	b4

N1 est une variable de comptage

Q.43) Citer une méthode, autre que la boucle de retard, pour faire une temporisation par le microcontrôleur PIC 16F877 ; 0,5 pt

Q.44) Sachant que l'oscillateur est à base d'un quartz de fréquence $F_{osc} = 4 \text{ MHz}$ et en se référant au DRES 02, vérifier que la durée d'un cycle instruction est $T_{cy} = 1 \mu s$; 1 pt

Q.45) En se référant au jeu d'instructions du DRES 02, calculer le nombre total de cycles N_{cy} que prend l'exécution de la routine de temporisation donnée ci-dessus ; 1,5 pt

Q.46) En déduire la temporisation T (en ms) obtenue par cette routine. 1 pt

Jeu d'instructions du PIC 16F877

DRES 02

Note : Les instructions de test (DECFSZ, INCFSZ, BTFSZ et BTFSZ ayant 1(2) cycles) : 1 cycle s'il n'y a pas le saut et 2 cycles en cas de saut

Durée d'un cycle instruction

La durée T_{cy} d'un cycle instruction est égale à 4 fois la période T_{osc} de l'oscillateur ;

Soit : $T_{cy} = 4 \cdot T_{osc}$

40/ $T_n = 4 \times 5 + 5 \times 1 = 25 \text{ min}$

43/ Autres méthodes : Timer / WDT + sleep

44/ on a $T_{cy} = 4 \cdot T_{osc} = \frac{4}{F_{osc}} = \frac{4}{4 \times 10^6} = 10^{-6} \text{ s} = 1 \mu s$

45/ $\text{movlw} \rightarrow 1 \text{ cycle}$

$\text{movwf} \rightarrow 1 \text{ cycle}$

$\text{decfsz} \text{ (sans saut)} \rightarrow 232 \times 1 \text{ cycle}$

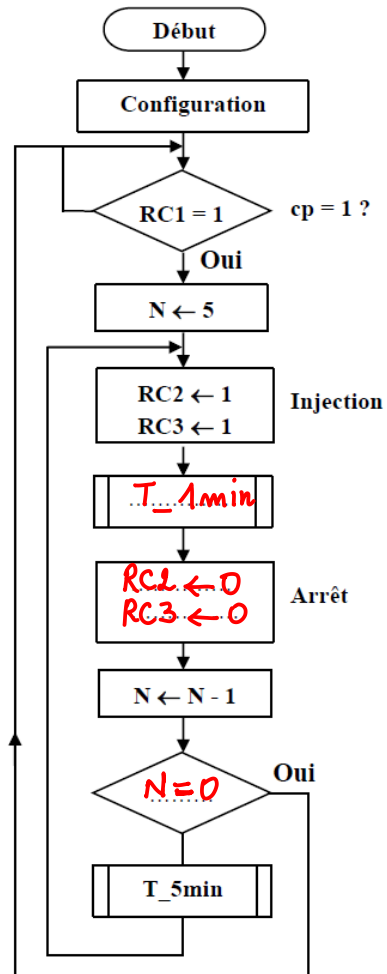
$\text{decfsz} \text{ (avec saut)} \rightarrow 1 \times 2 \text{ cycles}$

$\text{goto} \rightarrow 232 \times 2 \text{ cycles}$

donc $N_{cy} = 700 \text{ cycles}$

46/ $T = 700 \times 1 \mu s = 700 \mu s = 0,7 \text{ ms}$

Q.41)



Q.42)

b1	<i>btfss PORTC, 1</i> GOTO b1	Tester si RC1 = 1
	<i>movlw d'5'</i> <i>movwf N</i>	N ← 5
b2	BSF PORTC, 2 BSF PORTC, 3	Injection
	CALL T_1min	Temporisation de 1 min
	BCF PORTC, 2 BCF PORTC, 3	Arrêt de l'injection
	DECFSZ N, f GOTO b3	Décrémenter N et tester si N = 0 Si non, se brancher à "b3"
	<i>goto b1</i>	Si oui, fin de cycle
b3	<i>call T_5min</i> <i>goto b2</i>	

Exercice 6 : examen national 2024, session normale
Tâche 6 : Calcul de la vitesse de consigne et détermination du sens de déplacement

Pour calculer la vitesse de consigne et déterminer le sens de déplacement du crochet (montée ou descente), le PIC agit selon l'algorithme suivant :

- Acquérir la position α du manche de la manette de commande par un sous-programme appelé 'Acquisition' qui convertit le signal U_s image de α en un nombre N sur 9 bits, stocké dans les cases mémoires appelées N_H (N_{H0} bit de poids fort de N) et N_L (8 bits de poids faible de N) ;
- Déterminer à partir de N_{H0} (bit 0 de N_H) et de N_L :
 - Le code de la vitesse consigne N_C (sur 8 bits) : $N_C = N_L$ si $\alpha > 0$ et $N_C = \bar{N}_L$ si $\alpha < 0$;
 - Le sens de déplacement du crochet (montée ou descente) en positionnant les bits RA1 et RA2.
- Mettre N_C à 0 si $N_C < N_{Cm}$ (N_{Cm} : code de la vitesse de déplacement minimal du crochet) ;
- Transférer le code N_C au convertisseur numérique analogique via le PORTB, pour restituer le signal U_c de commande du variateur de vitesse du moteur **M1**.

Exemple :

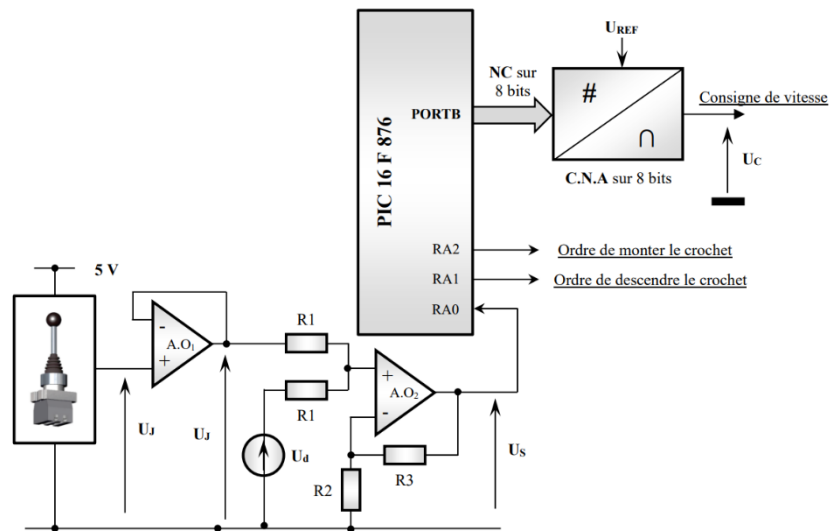
	N_H	N_L	
$\alpha_{\max} = +25^\circ$ ($\alpha > 0$)	0000 0001	1111 1111	Vitesse maximale de montée : $N_C = N_L = 255$ Bit 0 de $N_H = 1$: ordre de monter le crochet.
$\alpha_{\min} = -25^\circ$ ($\alpha < 0$)	0000 0000	0000 0000	Vitesse maximale de descente : $N_C = \bar{N}_L = 255$ Bit 0 de $N_H = 0$: ordre de descendre le crochet.

En vous aidant de l'**algorithme** ci-dessus et du jeu d'instructions fourni en **DRES 04**, compléter :

Q.48- L'**organigramme** correspondant.

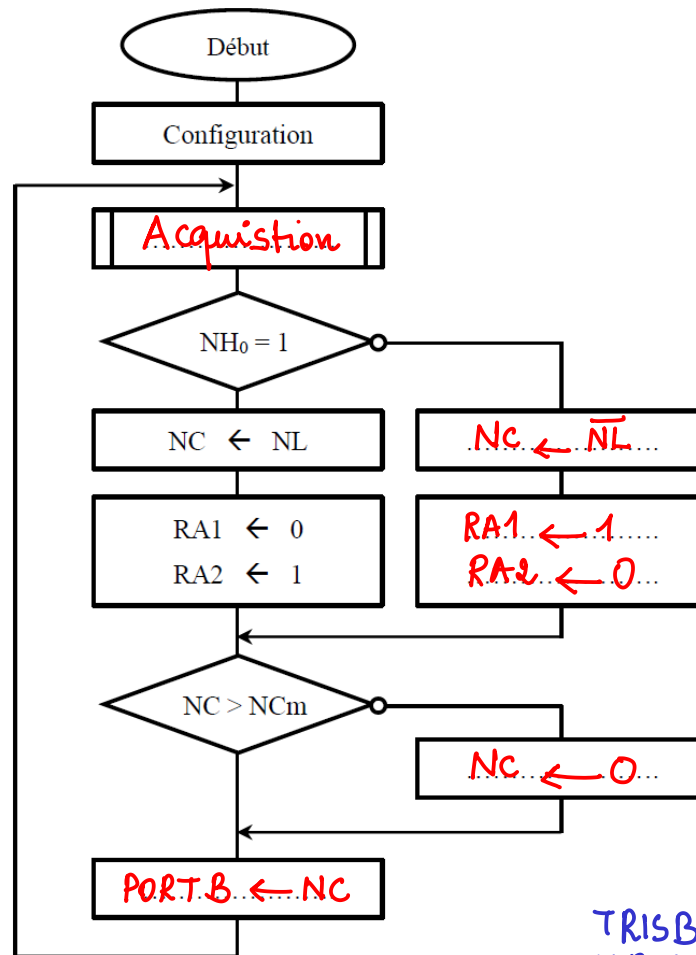
3 pts

Q.49- Le programme de configuration du microcontrôleur **PIC 16F876**. (Mettre les bits non utilisés du registre **TRISA** à 0).

3 pts


Q.48-

[3 pts]



TRISB 00000000 = 00
 TRISA xx xx x 001 = 01

Q.49-

[3 pts]

```

( bcf STATUS, RP1 ;
( bsf STATUS, RP0 ; Accès à la BANK 1
( movlw 0x01 ;
( movwf TRISA ; RA0 entrée, RA1 et RA2 des sorties
( bsf TRISB ; PORTB en sortie
MOVLW 0x8E ;
MOVWF ADCON1 ; Configuration du CAN interne
( BCF STATUS, 6 ;
( bcf STATUS, RP0 ; Accès à la BANK 0
MOVLW 0x81 ;
MOVWF ADCON0 ; Configuration du CAN interne
  
```

Exercice 7 : examen national 2024, session de rattrapage
Tâche 5 : Programme assembleur

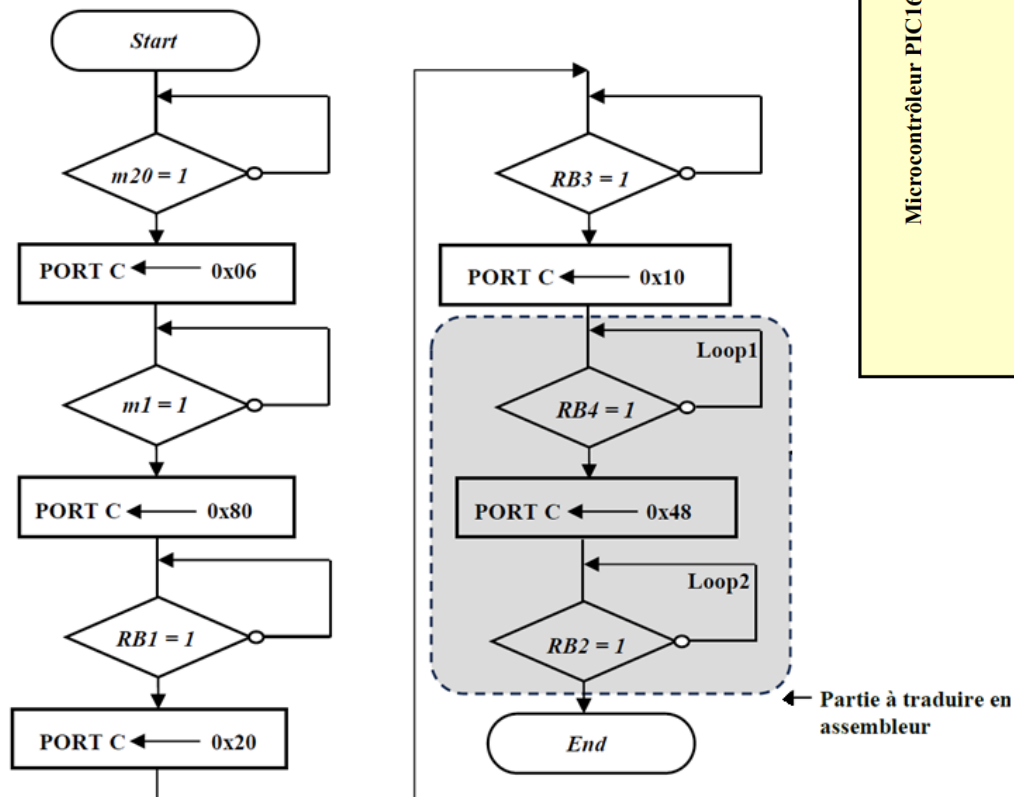
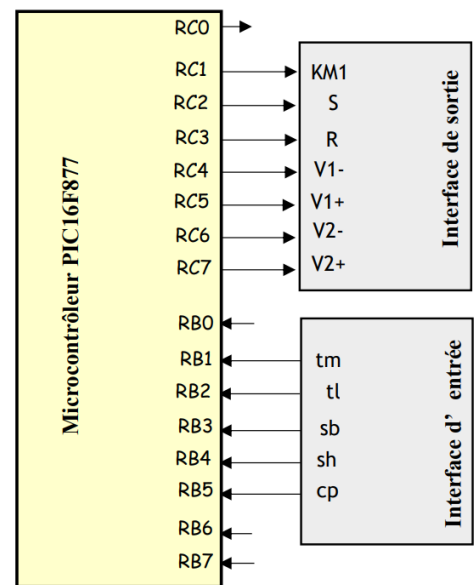
À partir :

- Du schéma de câblage des entrées-sorties du **DRES 03** ;
- De l'extrait de la documentation technique du microcontrôleur donné en **DRES 04**,

Q47. Compléter les parties du programme assembleur permettant de :

6,5 pts

1. Configurer les ports **B** et **C** du microcontrôleur ;
2. Réaliser la partie encadrée de l'organigramme de l'expansion de la macro-étape **M20** donné ci-dessous.


Schéma de câblage des entrées-sorties


Q47. Programme Assembleur

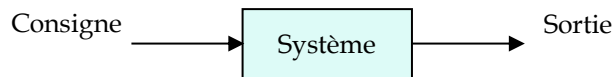
TRISB = 11111111 = FF
 TRISC = 00000000 = 00

Ligne	Label	Mnémonique	Opérande
Configuration des ports B et C			
1		BSF	STATUS, RP0 → Page 1
2	(	movlw	0xFF
3		movwf	TRISB
4		clrf	TRISC
5			
6		BCF	STATUS, RP0 → Page 0
Programme de la partie encadrée de l'organigramme			
7	Loop1	BTFSS	PORTB, RB4
8		goto	loop1
9	(	movlw	0x48
10		movwf	PORTC
11	Loop2	btfs	PORTB, 2
12		goto	loop2

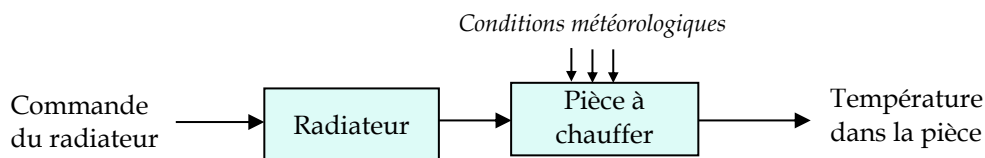
8

SYSTEMES ASSERVIS**Généralités****1. Commande en boucle ouverte**

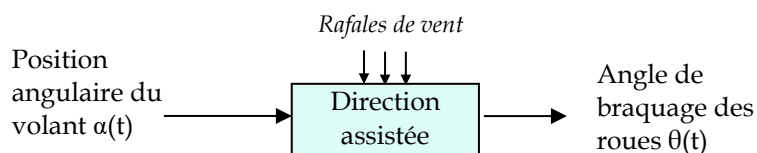
Un système est en boucle ouverte lorsque la commande est élaborée indépendamment de la sortie. Lorsqu'une perturbation intervient sur le système, la sortie s'écarte de la consigne (sortie souhaitée) : la précision de ce système est faible et il est moins fiable.

**Exemple 1 : commande de la température d'une salle**

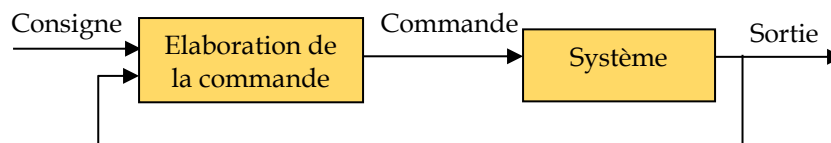
Suite à un changement de la température ambiante, la température atteinte dans la salle sera différente de la consigne.

**Exemple 2 : direction assistée d'un véhicule automobile**

Lors de rafales de vent, l'angle de braquage souhaité ne sera pas obtenu.

**2. Commande en boucle fermée**

En boucle fermée, la sortie est comparée en permanence à la consigne puis corrigée.



3. Système bouclé

Un système bouclé a donc un dispositif de retour permettant de compenser le manque de fidélité d'un système physique. Un système bouclé peut fonctionner en régulation ou en asservissement :

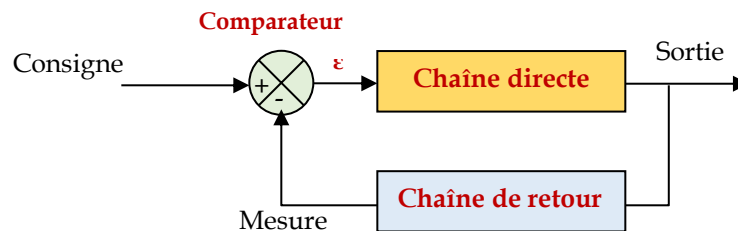
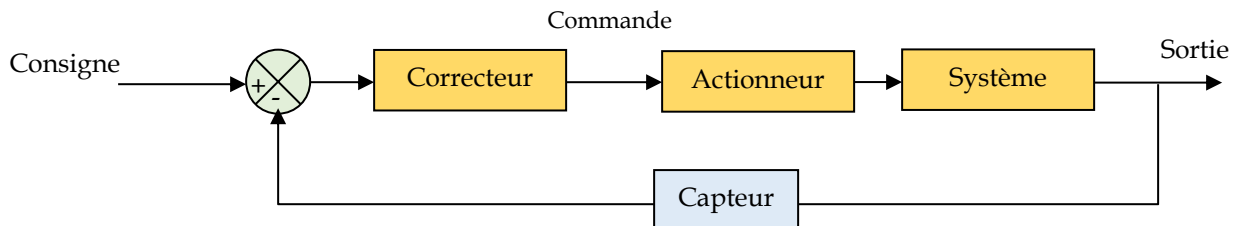
- On parle de **régulation** lorsque la **consigne est constante** et que le système doit maintenir une sortie constante quelques soient les perturbations.

Exemples : régulation de vitesse d'un véhicule, de température d'un local.

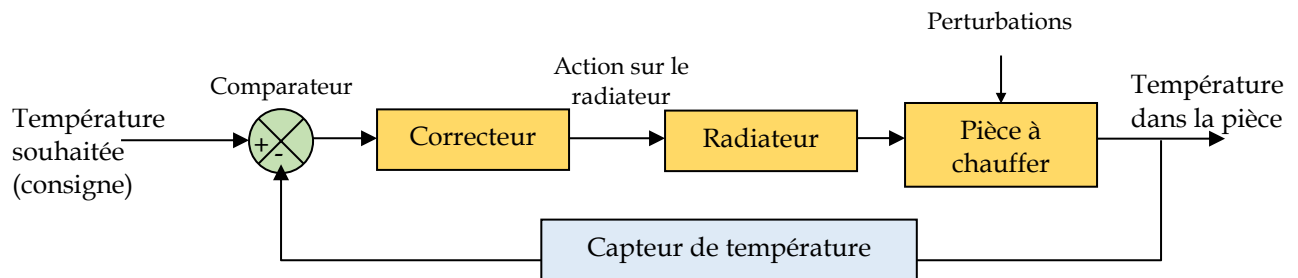
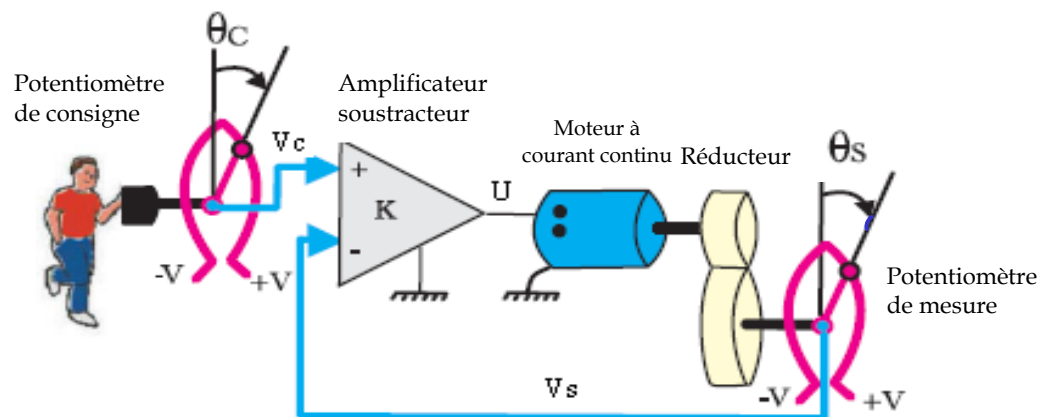
- On parle d'**asservissement** lorsque la **consigne varie** avec le temps. Le système doit ajuster en permanence la sortie au signal d'entrée.

Exemples : asservissement de position d'un radar de poursuite, suivi de trajectoire d'un missile.

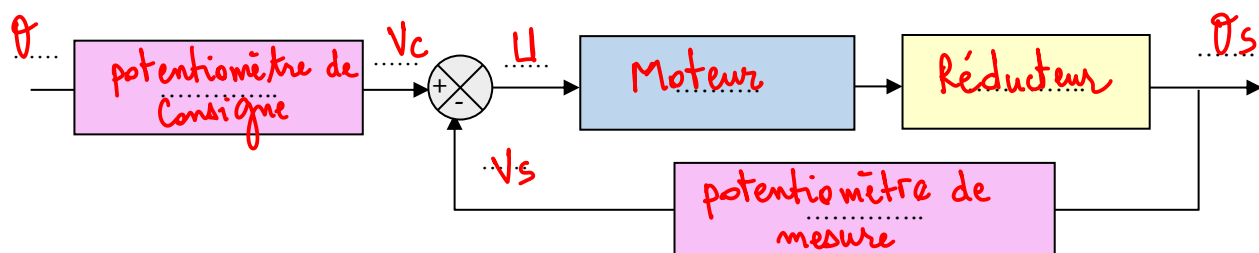
Le schéma bloc d'un système asservi est le suivant :



- Le **comparateur** calcule l'écart entre la consigne et la sortie ;
- À partir de l'écart ϵ constaté, le **correcteur** élabore un signal de commande ;
- L'**écart ϵ** (ou erreur) caractérise la qualité de l'asservissement. Le but de l'asservissement est d'annuler en permanence cet écart, de manière à ce que la sortie suive l'entrée.

Exemple : régulation de température d'une pièce**Exercice : représentation d'une régulation de position par un schéma bloc**

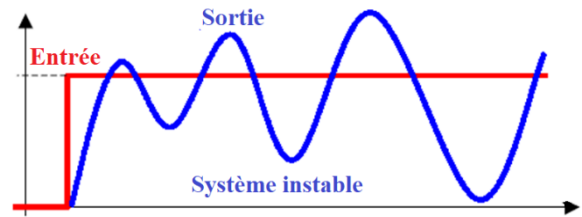
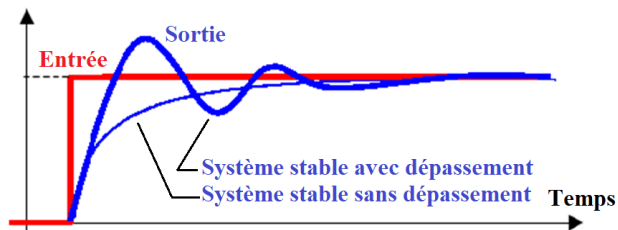
Compléter la représentation en blocs de cette régulation.



4. Performances d'un système asservi

Le cahier des charges d'un système asservi impose généralement un certain nombre de contraintes sur le comportement du système (pour le passage d'une position à une autre sur un radar par exemple). Ces contraintes portent sur : la *stabilité*, la *précision* et la *rapidité*.

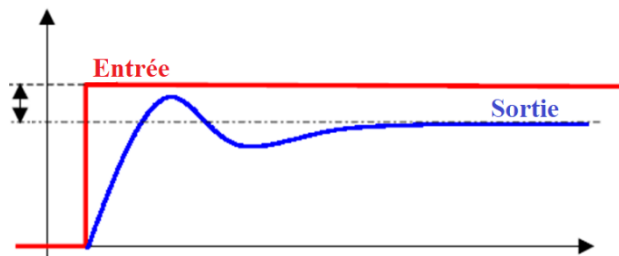
⇒ Stabilité



Un système est stable si pour une entrée constante $e(t)$, la sortie du système $s(t)$ tend vers une constante. Un système asservi instable se traduit par des variations importantes de la sortie qui peuvent causer la dégradation.

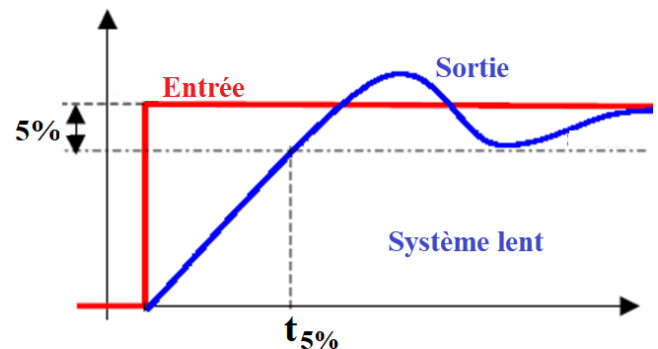
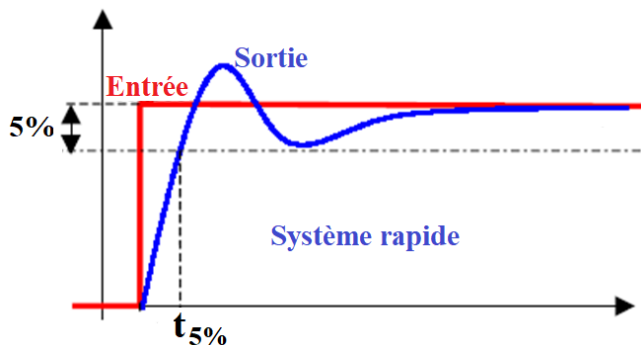
⇒ Précision

C'est la différence entre la sortie et l'entrée en régime permanent.



⇒ Rapidité

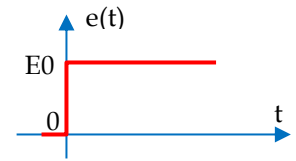
La rapidité se traduit par le temps mis par le système pour que la sortie atteigne la valeur finale. On définit, pour caractériser la rapidité, le temps de réponse à 5%.



Systèmes linéaires

- La mise en équations d'un système $s(t) = f(e)$ aboutit souvent à une équation différentielle du premier ordre ou du deuxième ordre ;
- Analyser les performances d'un système c'est étudier son comportement vis-à-vis des signaux d'entrée particuliers. Une entrée typique est l'échelon, la réponse de $s(t)$ à un échelon s'appelle une réponse indicielle.

Entrée échelon



1. Système du premier ordre

Un système physique d'entrée $e(t)$ et de sortie $s(t)$ est du premier ordre s'il est régi par une équation différentielle du premier ordre du type :

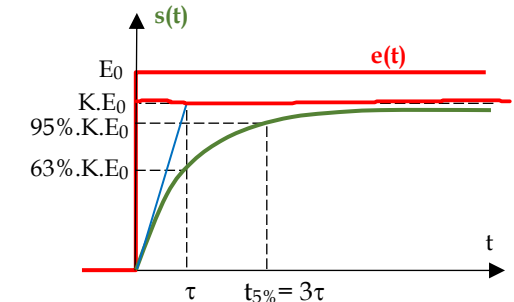
$$\tau \frac{ds(t)}{dt} + s(t) = K \cdot e(t)$$

k : gain statique du système
 τ : constante de temps.

Réponse indicielle : l'entrée est un échelon d'amplitude E_0 pour $t > 0$

L'équation devient : $\tau \frac{ds(t)}{dt} + s(t) = K \cdot E_0$

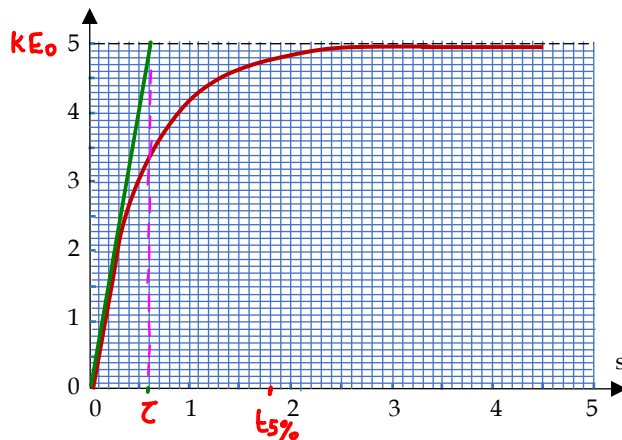
Ce qui donne : $s(t) = K \cdot E_0 \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$



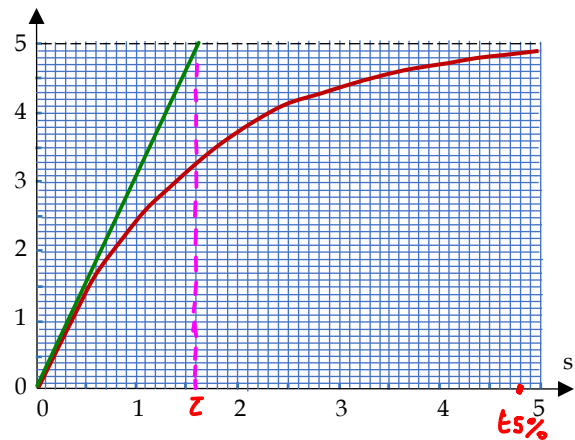
- Le comportement du système est non oscillant (stable), il tend vers la valeur $K \cdot E_0$ sans jamais la dépasser. La propriété de non dépassement est très recherchée dans certains asservissements où le dépassement est interdit ;
- Le temps de réponse à 5% est tel que $s(t) = 0,95 \cdot K \cdot E_0 \Rightarrow s(t) = K \cdot E_0 \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) = 0,95 \cdot K \cdot E_0 \Rightarrow t(5\%) = 3\tau$;
- L'erreur statique est $\varepsilon = 1 - k$;
 En effet, $\varepsilon = (e(t) - s(t))/e(t)$ en régime statique ; soit $\varepsilon = (E_0 - kE_0)/E_0 = 1 - k$ en % ;
- La **tangente à l'origine** coupe l'asymptote horizontale $y = K \cdot E_0$ à $t = \tau$. À $t = \tau$, $s(t) = 0,63 \cdot K \cdot E_0$.

Exercice

Déterminer le temps de réponse à 5% et la constante de temps de ces systèmes du premier ordre.



$$\tau = 0,6 \text{ s} \quad \left| \quad s(t) = 5(1 - e^{-\frac{t}{0,6}}) \right. \\ t_{5\%} = 3\tau = 1,8 \text{ s}$$



$$\tau = 1,6 \text{ s} \quad \text{et} \quad t_{5\%} = 3\tau = 4,8 \text{ s}$$

2. Système du deuxième ordre

Un système physique d'entrée $e(t)$ et de sortie $s(t)$ est du deuxième ordre s'il est régi par une équation différentielle du deuxième ordre du type :

$$\frac{1}{\omega_n^2} \cdot \frac{d^2 s(t)}{dt^2} + \frac{2z}{\omega_n} \cdot \frac{ds(t)}{dt} + s(t) = K \cdot e(t)$$

K : gain statique

ω_n : pulsation propre

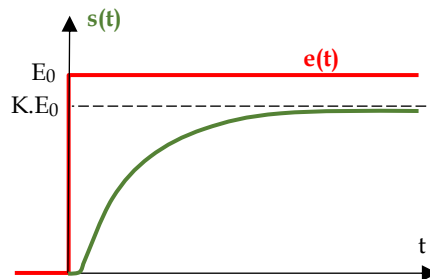
z : facteur d'amortissement

Réponse indicielle : l'entrée est un échelon d'amplitude E pour $t > 0$

Il existe 3 cas selon le facteur d'amortissement :

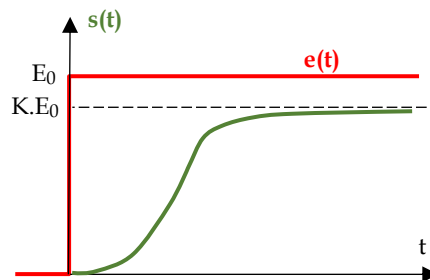
1^{er} cas : $z > 1$, régime aperiodique amorti

Le comportement du système est non oscillant, il tend vers la valeur $K.E_0$ sans jamais la dépasser.



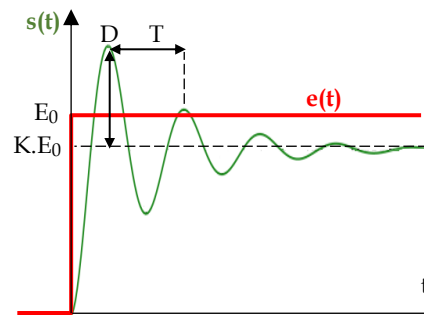
2^e cas : $z = 1$, régime aperiodique critique

La réponse est non oscillante, c'est le régime aperiodique le plus rapide.



3^e cas : $z < 1$, régime oscillatoire

La réponse présente la forme d'une sinusoïde amortie.



D : dépassement

T : pseudo-période

Asservissement en vitesse d'un moteur à CC

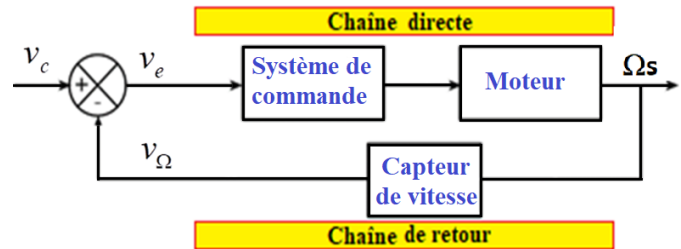
Le système est décrit par le schéma bloc ci-contre :

Supposons qu'une perturbation provoque une diminution de la vitesse de sortie Ωs (la consigne v_c étant constante).

La chaîne de retour fait alors apparaître une diminution de la grandeur de retour v_Ω .

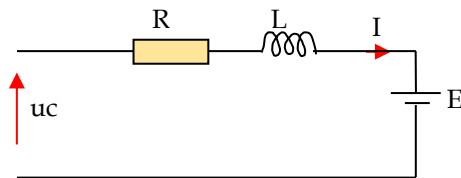
La grandeur d'entrée v_e va donc augmenter et la vitesse Ωs également. Elle va augmenter jusqu'à ce que la tension $\varepsilon = v_e = v_c - v_\Omega$ s'annule.

Remarquons que ce résultat est obtenu sans qu'il soit nécessaire de connaître l'origine de la perturbation.



⇒ Mise en équation du moteur et sa charge

La mise en équation du système "moteur+charge" est réalisable à partir du modèle électrique de la machine à courant continu et de la relation fondamentale de la dynamique.



R, L : résistance et inductance de l'induit
 E : force contre électromotrice

On a $U_c = E + RI + L \frac{dI}{dt}$ avec $E = k'\Phi\Omega = k\Omega$ (à flux constant) $\Rightarrow U_c = RI + L \frac{dI}{dt} + k\Omega$ (1)

Le principe fondamental de la dynamique s'écrit : $J\Omega' = C_u - C_r = C_{em} - C_f - C_r = C_{em} - C_r$ (si on néglige C_f , le couple des frottements secs)

Avec J : moment d'inertie des masses en mouvement

C_{em}, C_u et C_r : respectivement couple électromagnétique, couple utile et couple résistant

On aussi $C_{em} = kI$ et on suppose $C_r = f\Omega$ où f est le coefficient de frottement visqueux

Ce qui donne $J\Omega' = kI - f\Omega \Rightarrow I = \frac{J}{k} \cdot \Omega' + \frac{f}{k} \cdot \Omega$ (2)

⇒ Analyse temporelle

On néglige l'inductance L de l'induit

L'équation (1) devient $U_c = RI + k\Omega$ or (2) $I = \frac{J}{k} \cdot \Omega' + \frac{f}{k} \cdot \Omega \Rightarrow U_c = \frac{RJ}{k} \cdot \Omega' + \frac{Rf + k^2}{k} \cdot \Omega$

$$\Rightarrow \frac{RJ}{Rf + k^2} \cdot \Omega' + \Omega = \frac{k}{Rf + k^2} \cdot U_c$$

C'est une équation du 1^{er} ordre avec la constante de temps $\tau = \frac{RJ}{Rf + k^2}$ et le gain statique $K = \frac{k}{Rf + k^2}$.

La réponse indicielle (à un échelon) $U_c = E_0$ pour $t > 0$ est $\Omega(t) = K \cdot E_0 \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$ (voir plus haut).

Le système est stable et ne risque aucun dépassement. Le temps de réponse à 5% est 3τ .

On tient compte de l'inductance L de l'induit

En tenant compte des équations (1) et (2), il vient $U_c = R \left(\frac{J}{k} \cdot \Omega' + \frac{f}{k} \cdot \Omega \right) + L \left(\frac{J}{k} \cdot \Omega'' + \frac{f}{k} \cdot \Omega' \right) + k\Omega$

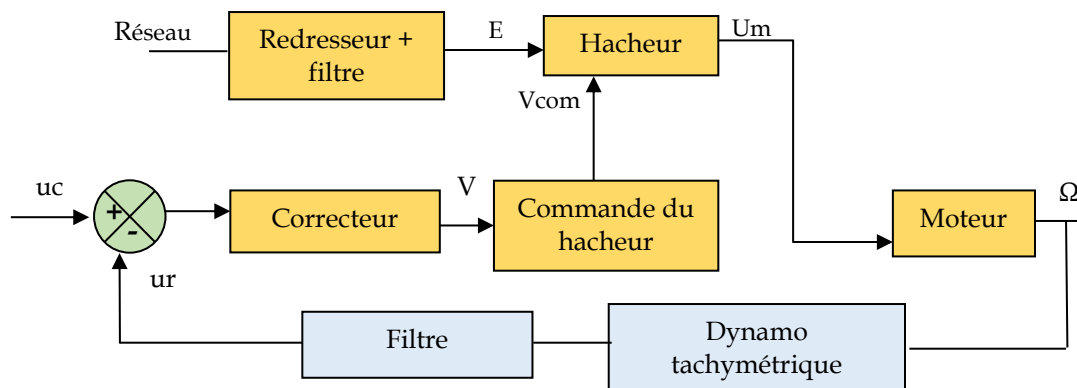
Ce qui donne $\frac{LJ}{Rf + k^2} \cdot \Omega'' + \frac{RJ + Lf}{Rf + k^2} \cdot \Omega' + \Omega = \frac{k}{Rf + k^2} \cdot U_c$

C'est une équation du 2^{ème} ordre.

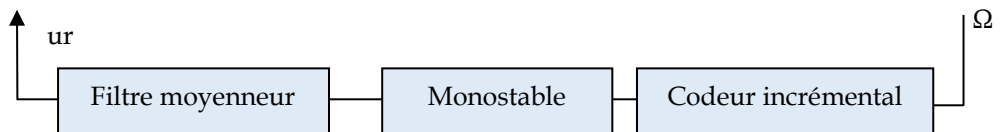
La pulsation propre, le facteur d'amortissement et le gain statique sont tels que (voir plus haut) :

$$\frac{1}{\omega_n^2} = \frac{LJ}{Rf + k^2} \quad , \quad \frac{2z}{\omega_n} = \frac{RJ + Lf}{Rf + k^2} \quad \text{et} \quad K = \frac{k}{Rf + k^2}$$

⇒ Montage d'asservissement

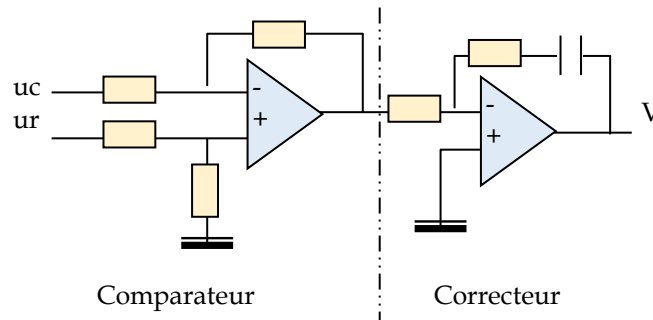


Autre structure de la chaîne de retour



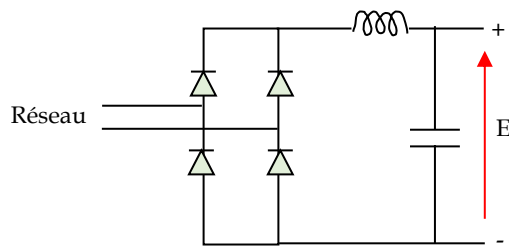
- La dynamo tachymétrique, capteur de vitesse, est en général très bruitée ; il va falloir filtrer sa sortie avec un passe-bas qui élimine une partie suffisante du bruit ;
- Pour qu'un asservissement soit correct, il faut d'abord qu'il assure la **stabilité** du système. Ceci étant, on recherche souvent à ce qu'en régime permanent, la sortie tende vers la consigne (**précision**). On peut aussi s'imposer un temps de réponse court (**rapidité**). Pour atteindre ces objectifs, on introduit un **correcteur** dans la chaîne directe.

L'ensemble "comparateur (soustracteur) + correcteur" peut avoir la structure suivante :

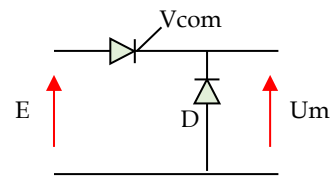


Alimentation du hacheur

Cette alimentation est réalisée au moyen d'un pont redresseur et d'un filtre :



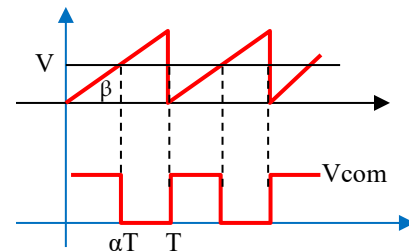
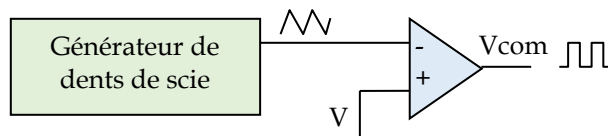
Hacheur



Le hacheur débite au moteur une tension $U_m = \alpha \cdot E$ où α est le rapport cyclique proportionnel à la tension de commande V .

D est une diode de roue libre.

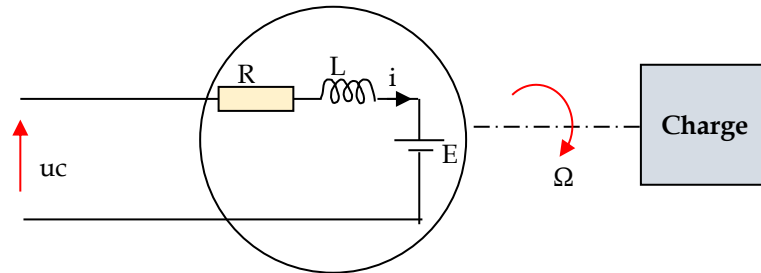
Pour obtenir un rapport cyclique α proportionnel à la tension V , on compare celle-ci à un signal en dents de scie. La sortie du comparateur est le signal V_{com} envoyée au thyristor.



On a $\tan \beta = V / (\alpha \cdot T) \Rightarrow \alpha = V / (\tan \beta \cdot T) = K \cdot V$
 (β et T étant des caractéristiques du générateur de dents de scie)

Exercice : Modélisation du moteur à CC par un schéma bloc

L'objectif est de représenter l'ensemble "moteur à courant continu + charge" par un schéma bloc en vue d'en étudier l'asservissement en vitesse. On négligera l'inductance L du bobinage de l'induit.



Relation	Schéma fonctionnel
<u>i en fonction de u_c et E</u> $u_c = Ri + L \frac{di}{dt} + E \approx Ri + E \Rightarrow i = \frac{u_c - E}{R}$	
<u>E en fonction de Ω</u> A flux constant, $E = k \cdot \Omega$	
<u>Ω en fonction de C_{em} et de C_r</u> 2 ^{ème} loi de Newton $\sum \text{Couple} = J \cdot \frac{d\Omega}{dt} \Rightarrow C_{em} - C_r = J \cdot \frac{d\Omega}{dt}$ $\Omega = \int \frac{C_{em} - C_r}{J}$	
<u>C_r en fonction de Ω</u> On admet que le couple résistant C_r est proportionnel à Ω . Soit, $C_r = f \cdot \Omega$ où f est le coefficient de frottement visqueux	
<u>C_{em} en fonction de i</u> $C_{em} = \frac{P_{em}}{\Omega} = \frac{E \cdot i}{\Omega} = \frac{k \Omega \cdot i}{\Omega} = k i$	
<u>Schéma bloc</u> 	

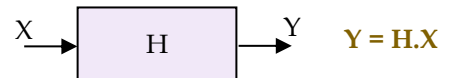
Schéma bloc (ou diagramme fonctionnel)

Un schéma fonctionnel est une représentation simplifiée d'un processus mettant en évidence les différentes fonctions mises en œuvre.

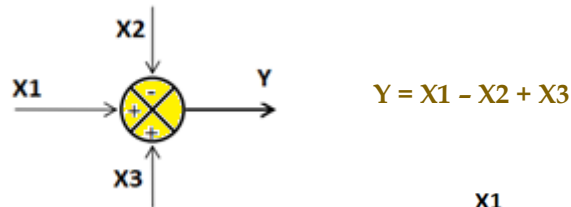
1. Formalisme

⇒ Bloc

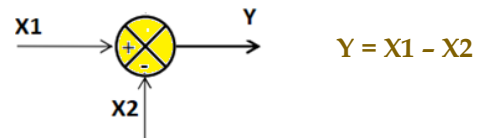
Un bloc est caractérisé par sa fonction de transfert ou transmittance H



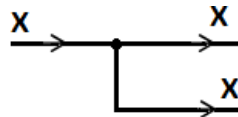
⇒ Sommateur



⇒ Comparateur



⇒ Point de prélèvement



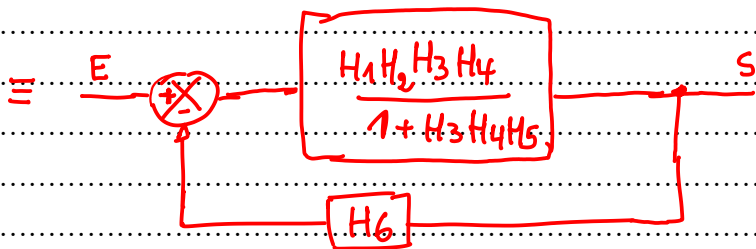
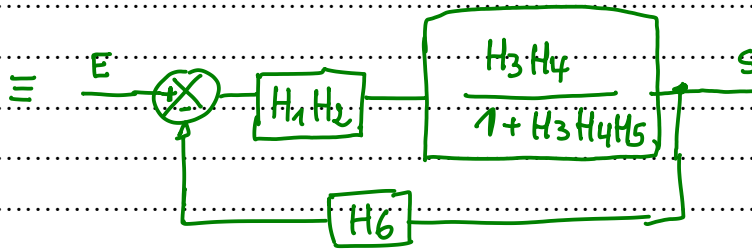
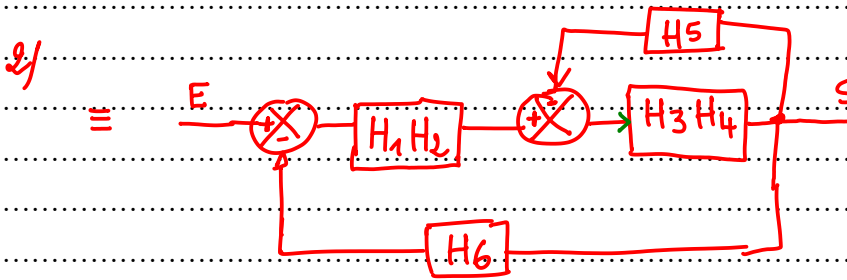
2. Simplification des schémas blocs

$$Y = z \cdot B = x \cdot A \cdot B$$

Blocs en cascade (en série)		
Blocs en parallèle		
Structure en boucle fermée		
Cas du retour unitaire		

$$S = xH = (E - y)H = (E - S.K).H$$

$$\text{donc } S = (E - S.K)H \Rightarrow S(1 + KH) = EH \Rightarrow S = E \cdot \frac{H}{1 + KH}$$



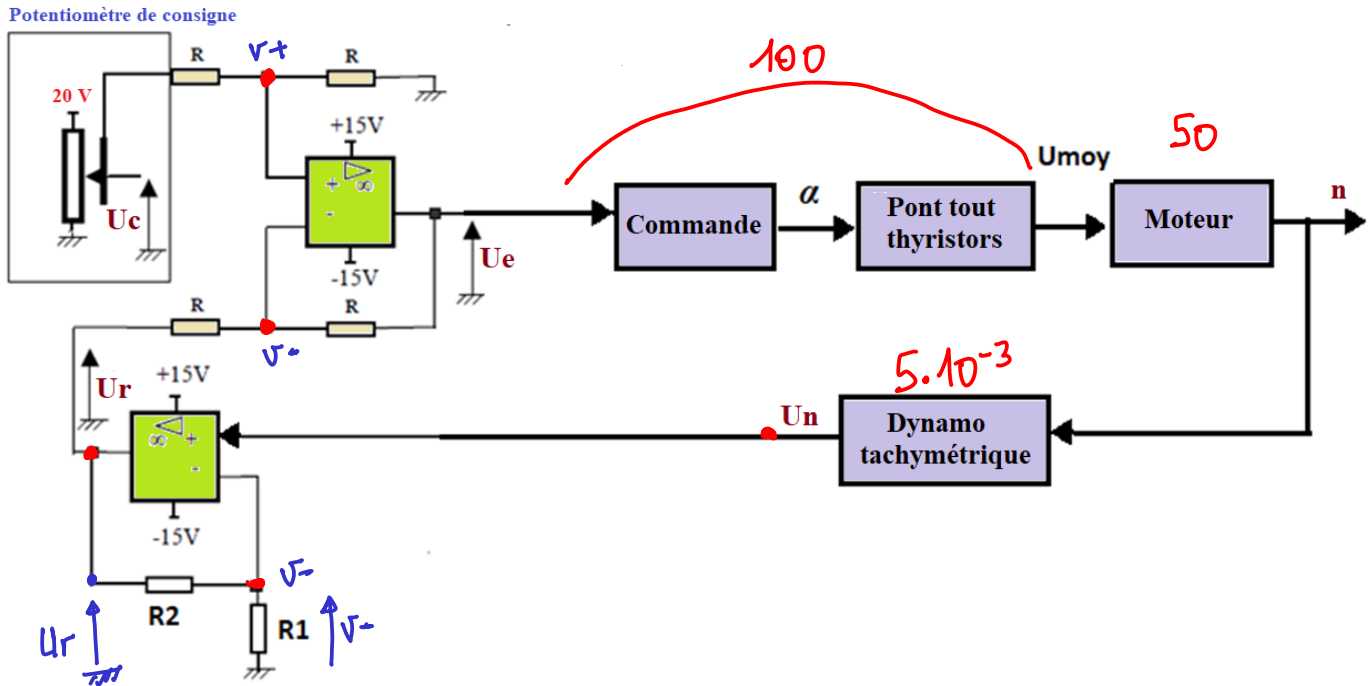
La fct de transfert $\frac{S}{E} = \frac{H_1 H_2 H_3 H_4}{1 + H_3 H_4 H_5}$

$= \frac{H_1 H_2 H_3 H_4}{1 + \frac{H_1 H_2 H_3 H_4}{1 + H_3 H_4 H_5} \cdot H_6}$

$= \frac{H_1 H_2 H_3 H_4}{1 + H_3 H_4 H_5 + H_1 H_2 H_3 H_4 H_6}$

Exercice 2 : régulation de vitesse de rotation d'un moteur à CC

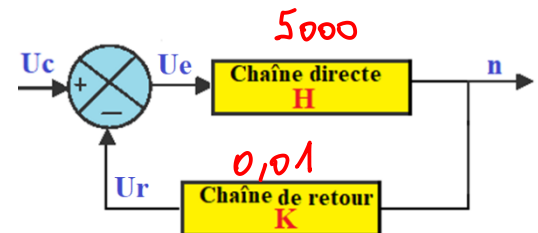
L'exercice propose d'étudier la régulation de vitesse d'un moteur à courant continu, afin d'éviter des variations importantes de vitesse lors d'une perturbation. Le descriptif du système de régulation est le suivant :



La régulation par le système bouclé peut être schématisée comme suit :

La chaîne de retour est constituée par l'ensemble "dynamo tachymétrique-amplificateur"

La dynamo tachymétrique délivre une tension U_n proportionnelle à la vitesse de rotation du moteur : $U_n = 5 \cdot 10^{-3} \cdot n$ (n en tr/min et U_n en V).



Comparteur

Les amplificateurs opérationnels sont supposés parfaits et fonctionnent en régime linéaire, montrer que $U_e = U_c - U_r$.

Chaîne de retour

- Montrer que $U_r = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot U_n$
- On donne $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$, calculer R_2 pour que la transmittance de la chaîne de retour soit $K = 0,01 \text{ V/(tr/min)}$.

Régulation de vitesse

U_e est une tension de commande qui sert à régler l'angle de retard à l'amorçage des thyristors et donc à régler la tension moyenne U_{moy} à la sortie du pont. La relation liant la tension U_e à la tension moyenne est $U_{moy} = 100 \cdot U_e$.

On négligera la chute de tension dans l'induit du moteur ; la vitesse de rotation est alors pratiquement proportionnelle à U_{moy} ; soit $n = 50 \cdot U_{moy}$ (U_{moy} en V et n en tr/min).

- Calculer la transmittance H de la chaîne directe.
- La tension de consigne U_c étant maintenue constante, calculer U_e et U_r pour une vitesse de $n = 1000 \text{ tr/min}$. En déduire la tension de consigne U_c permettant le réglage de cette vitesse.
- Une perturbation tend à diminuer la vitesse du moteur. Donner le sens de variation des grandeurs U_r , U_e et n puis conclure sur l'intérêt du bouclage réalisé.

Comparateur

Par le th. de Millman

$$V_+ = \frac{\frac{U_c}{R} + \frac{0}{R}}{\frac{1}{R} + \frac{1}{R}} = \frac{U_c}{2}$$

$$V_- = \frac{\frac{U_r}{R} + \frac{U_e}{R}}{\frac{1}{R} + \frac{1}{R}} = \frac{U_r + U_e}{2}$$

$$\text{or } V_+ = V_- \Rightarrow \frac{U_c}{2} = \frac{U_r + U_e}{2}$$

$$\Rightarrow U_e = U_c - U_r$$

Chaîne de retour* on a $V_+ = U_n$

$$\text{et } V_- = U_r \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (\text{Diviseur})$$

$$\text{or } V_+ = V_-$$

$$\Rightarrow U_n = U_r \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$\Rightarrow U_r = \frac{(R_1 + R_2) U_n}{R_1} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) U_n$$

* D'après le schéma bloc $U_r = K \cdot n$

$$\text{et } U_r = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) U_n$$

$$\Rightarrow K \cdot n = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) U_n$$

$$\Rightarrow K n = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot 5 \times 10^{-3} \cdot n$$

$$\Rightarrow K = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot 5 \times 10^{-3}$$

$$\Rightarrow R_2 = R_1 \left(\frac{K}{5 \times 10^{-3}} - 1 \right)$$

$$R_2 = 10 \times 10^3 \left(\frac{0,01}{5 \times 10^{-3}} - 1 \right) = 10 \text{ K}\Omega$$

Régulation* D'après le schéma bloc, $n = H \cdot U_e$

$$\begin{aligned} \Rightarrow H &= \frac{n}{U_e} = \frac{50 \times U_{\text{moy}}}{U_{\text{moy}}/100} \\ &= 5000 (\text{tr/min})/\text{V} \end{aligned}$$

* D'après le schéma bloc,

$$\rightarrow U_r = K \cdot n = 0,01 \times 1000 = 10 \text{ V}$$

$$\rightarrow n = H \cdot U_e \Rightarrow U_e = \frac{n}{H}$$

$$U_e = \frac{1000}{5000} = 0,2 \text{ V}$$

$$\rightarrow U_e = U_c - U_r \Rightarrow U_c = U_e + U_r$$

$$U_c = 0,2 + 10 = 10,2 \text{ V}$$

* Si $n \downarrow$ alors

$$U_r \downarrow \text{ et } U_e (= U_c - U_r) \uparrow$$

$$\Rightarrow n \uparrow$$

D'où la régulation

Exercice 3 : examen national 2018, session de rattrapage
SEV 3 : Asservissement de vitesse et traitement de l'information

Le réglage de la vitesse du moteur se fait en agissant sur le rapport cyclique de la tension du moteur $u_m(t)$.

En plus, la vitesse dépend de plusieurs paramètres tels que :

- ✓ La charge du chariot ;
- ✓ La pente et l'état du terrain.

On se propose d'asservir la vitesse du chariot à la vitesse choisie par l'utilisateur (consigne).

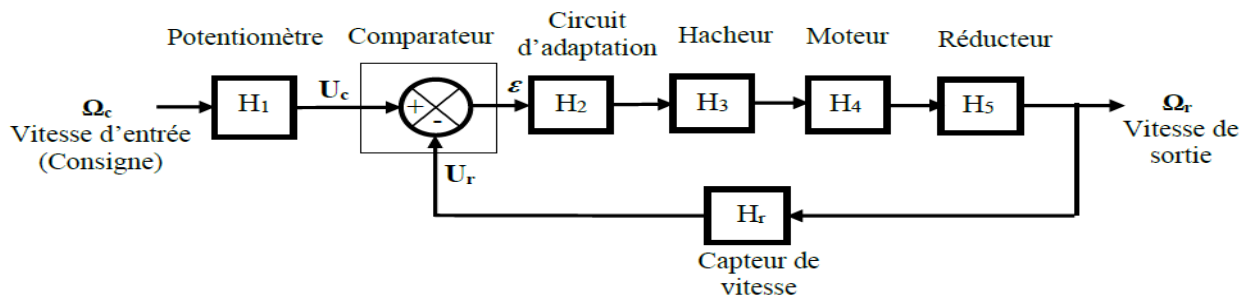
Le principe de cet asservissement consiste donc à :

- Mesurer la vitesse du chariot et délivrer une tension U_r image de la vitesse ;
- Comparer cette tension à la tension U_c image de la vitesse désirée ;
- Agir sur le moteur en fonction de l'écart entre U_c et U_r .

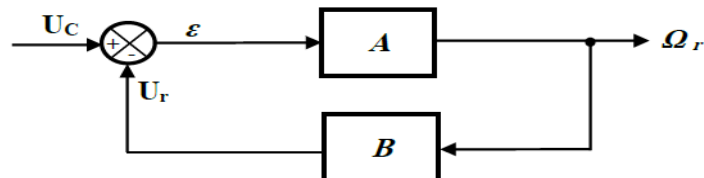
La comparaison des tensions et la commande du hacheur s'effectuent par le microcontrôleur.

Tâche 1 : Modélisation du système

Le modèle équivalent est représenté par le schéma bloc suivant :



Ce schéma-bloc peut être simplifié et remplacé par le schéma équivalent suivant :



Avec : $U_c = H_1 \cdot \Omega_c$

On note :

- A : la fonction de transfert de la chaîne directe ;
- B : la fonction de transfert de la chaîne de retour.

Q26) Exprimer A et B en fonction de H_2 , H_3 , H_4 , H_5 et H_r .

1,5 pt

Q27) Donner en fonction de A et de B :

Q27-1) La fonction de transfert en boucle ouverte FTBO : $T_{BO} = U_r / \varepsilon$.

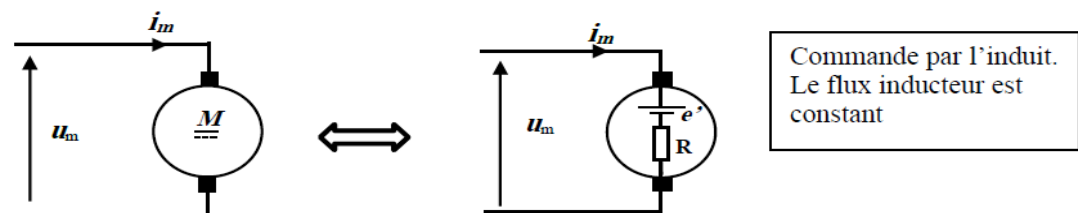
1,5 pt

Q27-2) Donner la fonction de transfert en boucle fermée FTBF : $T_{BF} = \Omega_r / U_c$.

2 pts

Tâche 2 : Modélisation du moteur

Le schéma équivalent du moteur à courant continu est le suivant :



$$u_m = R i_m + e'$$

$$e' = a \cdot \Omega_m$$

$$C_m = a \cdot i_m$$

avec :

• u_m : tension aux bornes de l'induit du moteur (V).

• R : résistance de l'induit du moteur (Ω).

• e' : f.c.é.m du moteur (V).

• a : constante de la f.c.é.m (V.s/rad) ou constante de couple (N.m/A).

• Ω_m : vitesse angulaire du moteur (rad/s).

• C_m : couple moteur (N.m).

En appliquant la loi fondamentale de la dynamique au moteur, on obtient : $C_m - C_r - C_f = J \frac{d\Omega_m}{dt}$

avec J : le moment d'inertie de l'ensemble mobile en rotation.

On suppose que :

- ✓ Le moteur est à vide : couple résistant $C_r = 0$;
- ✓ Les frottements mécaniques C_f sont négligeables.

Q28) Montrer que la vitesse du moteur Ω_m est liée à la tension u_m par l'équation différentielle suivante :

$$\left(\frac{RJ}{a^2}\right) \frac{d\Omega_m}{dt} + \Omega_m = \frac{u_m}{a}$$

2 pts

Q29) S'agit-il d'un système de premier ou de deuxième ordre ?

0,5 pt

Q30) Sur le document DREP 06, compléter alors le schéma-bloc du moteur.

1,5 pt

$$26.) A = H_2 \cdot H_3 \cdot H_4 \cdot H_5$$

$$B = H_r$$

$$27/ T_{BO} = A \cdot B ; T_{BF} = \frac{A}{1 + A \cdot B}$$

$$28/ \text{On a } C_m - C_r - C_f = J \frac{d\Omega_m}{dt} \Rightarrow C_m = J \frac{d\Omega_m}{dt} \quad (\text{car } C_r = 0 \text{ et } C_f \approx 0)$$

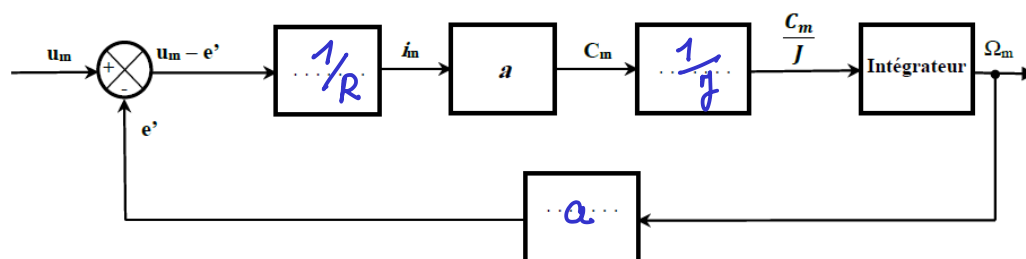
$$\Rightarrow a \cdot i_m = J \frac{d\Omega_m}{dt} \Rightarrow a \left(\frac{u_m - e'}{R} \right) = J \frac{d\Omega_m}{dt}$$

$$\Rightarrow a \left(\frac{u_m - a \cdot \Omega_m}{R} \right) = J \frac{d\Omega_m}{dt} \Rightarrow \frac{a}{R} \cdot u_m - \frac{a^2}{R} \cdot \Omega_m = J \frac{d\Omega_m}{dt}$$

$$\Rightarrow \frac{R}{a^2} \left(\frac{a}{R} \cdot u_m - \frac{a^2}{R} \cdot \Omega_m \right) = \frac{R}{a^2} J \frac{d\Omega_m}{dt}$$

$$\Rightarrow \frac{u_m}{a} - \Omega_m = \frac{RJ}{a^2} \frac{d\Omega_m}{dt} \Rightarrow \left(\frac{RJ}{a^2} \right) \frac{d\Omega_m}{dt} + \Omega_m = \frac{u_m}{a}$$

29/ 1^{er} ordre car équation différentielle du 1^{er} ordre



Exercice 4 : examen national 2023, session de rattrapage

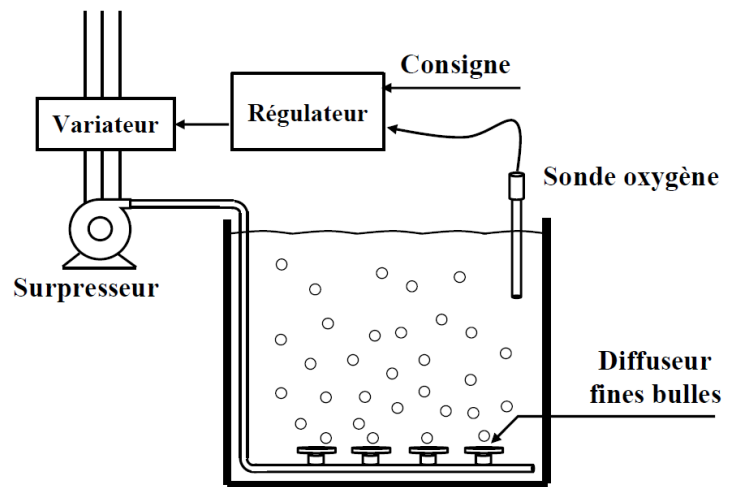
Pour réaliser un traitement biologique efficace, il est nécessaire de réguler le taux d'oxygène dissous dans le bassin d'aération et donc de contrôler la vitesse du surpresseur selon le besoin en oxygène.

Tâche 1 : régulation du taux d'oxygène dissous (OD) dans le bassin d'aération

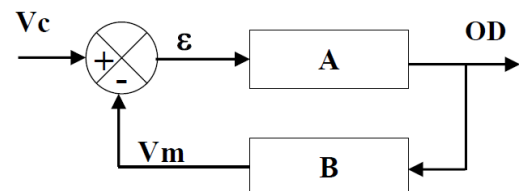
La figure ci-contre fournit le schéma de la boucle de régulation du taux d'oxygène dissous (OD).

⇒ Boucle de régulation

Le régulateur compare la valeur mesurée par la sonde oxygène à la consigne et élabore le signal de commande envoyé au variateur de vitesse. La modification de vitesse du surpresseur se traduit par celle du débit d'air soufflé dans le bassin et donc du taux d'oxygène OD

**Boucle de régulation de l'oxygène dissous**

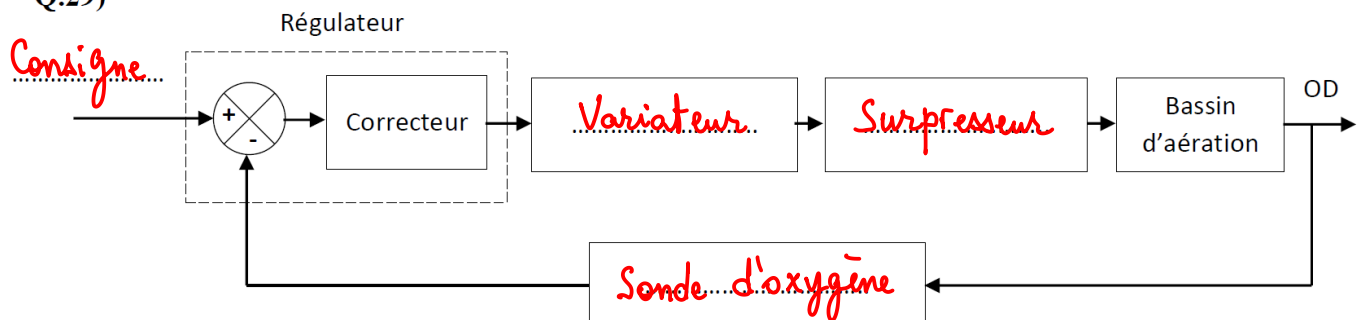
Le schéma fonctionnel de cette boucle de régulation peut être modélisé comme le montre la figure ci-contre.



Q.29) À partir du schéma de la boucle de régulation ci-dessus, compléter le schéma-bloc fonctionnel de cette régulation (utiliser les propositions : surpresseur, sonde oxygène, variateur, consigne) **2 pts**

Q.30) Parmi les propositions données, lesquelles sont correctes ? **1,5 pt**

Q.29)



Q.30) Cocher les cases appropriées

Proposition	Vrai	Faux
Un système régulé est un système bouclé pour lequel la sortie poursuit une consigne variable.	☐	☒
Un système régulé est un système bouclé qui maintient la sortie conforme à une consigne fixe.	☒	☐
Le bloc A correspond à la chaîne directe du système bouclé.	☒	☐
Le bloc B correspond à la chaîne de retour du système bouclé.	☒	☐
La fonction de transfert en boucle fermée est : $\frac{A}{1+A.B}$	☒	☐
La fonction de transfert en boucle ouverte est : $A + B$	☐	☒

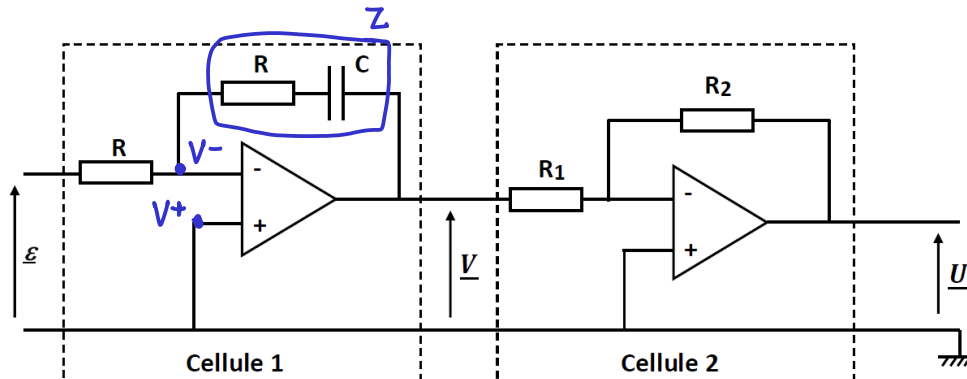
⇒ **Synthèse d'un correcteur PI**

Dans une boucle de régulation, le correcteur élabore le signal de commande à partir du signal d'erreur. Son but est d'améliorer les performances de la régulation.

Q.34) Quelles sont ces performances visées par le correcteur (cocher les bonnes réponses)

1,5 pt

Le montage suivant représente un correcteur **PI** dit à architecture mixte :



Q.35) Montrer que la fonction de transfert complexe de la cellule 1 est $\frac{V}{\varepsilon} = -(1 + \frac{1}{jRC\omega})$;

2 pts

Q.36) Donner, en fonction de R_1 et R_2 , la fonction de transfert complexe $\frac{U}{V}$ de la cellule 2 ;

2 pts

Q.37) En déduire que la fonction de transfert complexe $\underline{H} = \frac{U}{\varepsilon}$ du correcteur s'écrit $\underline{H} = \frac{R_2}{R_1} (1 + \frac{1}{jRC\omega})$;

2 pts

La forme canonique de la fonction de transfert de ce correcteur est : $\underline{H} = K_p (1 + \frac{1}{T_i j\omega})$.

K_p et T_i s'appellent respectivement gain proportionnel et constante de temps d'action intégrale.

On se propose de déterminer ces deux paramètres par une méthode expérimentale.

Cette méthode de réglage des correcteurs repose sur le principe de la recherche des oscillations en faisant varier le gain proportionnel. On note, au point d'oscillations, le gain K_{osc} et la période des oscillations T_{osc}

Les paramètres **K_p** et **T_i** du correcteur sont alors donnés par le tableau ci-dessous.

Type du correcteur	Gain K _p	T _i
PI	0,45.K _{osc}	0,83.T _{osc}

L'application de cette méthode sur le système de régulation de l'oxygène dissous a donné, à la limite des oscillations : **K_{osc} = 4** et **T_{osc} = 0,9 s**.

Q.38) En utilisant le tableau ci-dessus, calculer les valeurs des paramètres **K_p** et **T_i**

1,5 pt

Q.39) En déduire les valeurs de **R₂** et **C** si **R = 18 kΩ** et **R₁ = 22 kΩ**

2 pts

Q.34) Cocher les cases appropriées

	Vrai	Faux		Vrai	Faux		Vrai	Faux
Linéarité	☐	☒	Résolution	☐	☒	Précision	☒	☐
Rapidité	☒	☐	Stabilité	☒	☐	Étendue de mesure	☐	☒

35/ $\underline{V}^+ = 0$

$$\underline{V}^- = \frac{\frac{\underline{\varepsilon}}{\underline{Z}_R} + \frac{\underline{V}}{\underline{Z}}}{\frac{1}{\underline{Z}_R} + \frac{1}{\underline{Z}}}$$

or $\underline{V}^+ = \underline{V}^- \Rightarrow \frac{\underline{\varepsilon}}{\underline{Z}_R} + \frac{\underline{V}}{\underline{Z}} = 0$

$$\Rightarrow \frac{\underline{V}}{\underline{Z}} = -\frac{\underline{\varepsilon}}{\underline{Z}_R} \Rightarrow \frac{\underline{V}}{\underline{\varepsilon}} = -\frac{\underline{Z}}{\underline{Z}_R}$$

avec $\underline{Z} = \underline{Z}_R + \underline{Z}_C = R + \frac{1}{j\omega C}$

$$\text{donc } \frac{\underline{V}}{\underline{\varepsilon}} = -\frac{R + \frac{1}{j\omega C}}{R} = -\left(1 + \frac{1}{j\omega RC}\right)$$

36/ De façon pareille, on

$$\text{trouvera } \frac{\underline{U}}{\underline{V}} = -\frac{\underline{Z}_R}{\underline{Z}_{R1}} = -\frac{R_2}{R_1}$$

37/ $\underline{H} = \frac{\underline{U}}{\underline{\varepsilon}} = \frac{\underline{U}}{\underline{V}} \cdot \frac{\underline{V}}{\underline{\varepsilon}}$

$$\underline{H} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \left(-\left(1 + \frac{1}{j\omega RC}\right)\right)$$

donc $\underline{H} = \frac{R_2}{R_1} \left(1 + \frac{1}{j\omega RC}\right)$

38/ $K_p = 0,45 \times K_{osc}$

$$= 0,45 \times 4 = 1,8$$

$$\cdot T_i = 0,83 \cdot T_{osc}$$

$$= 0,83 \times 0,9 = 0,74 \text{ s}$$

39/ on a $\underline{H} = \frac{R_2}{R_1} \left(1 + \frac{1}{j\omega RC}\right) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot j\omega}\right)$

Par analogie $K_p = \frac{R_2}{R_1} \Leftrightarrow R_2 = K_p \cdot R_1$

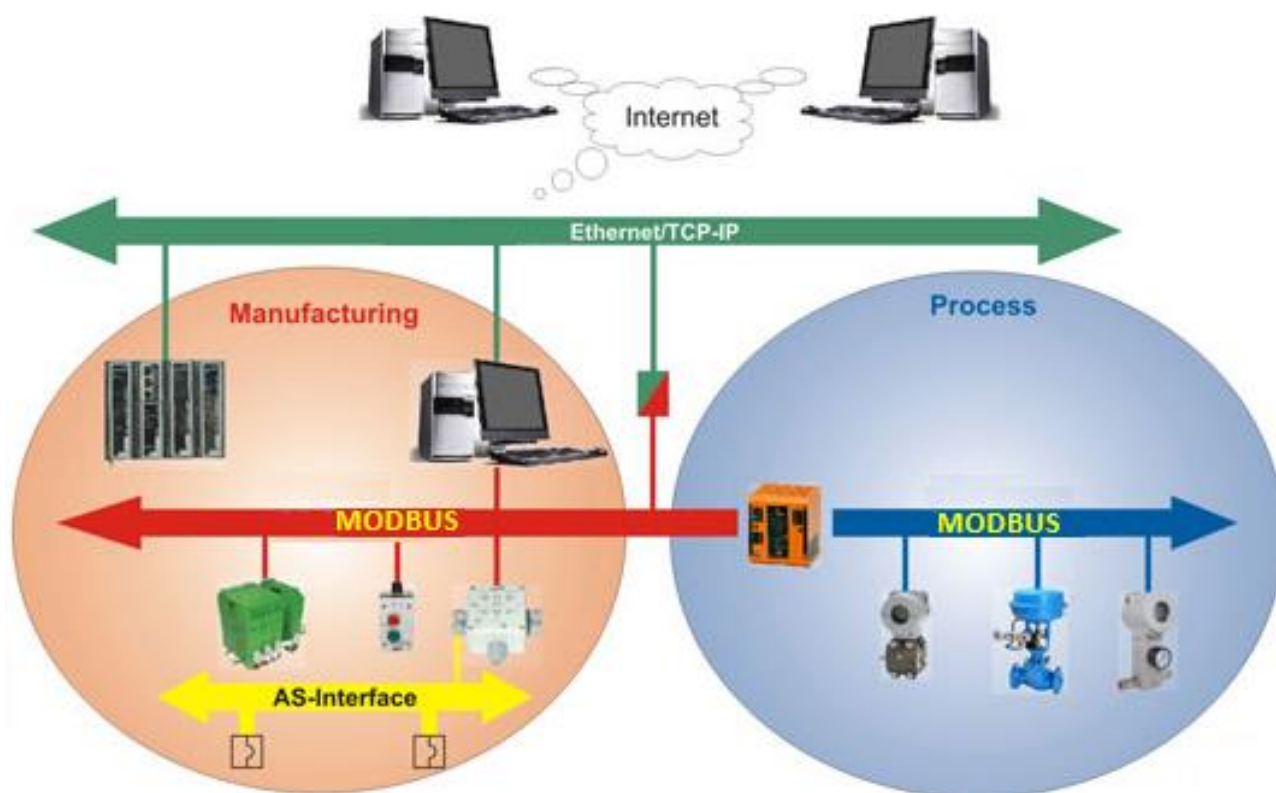
$$R_2 = 1,8 \times 22 = 39,6 \text{ k}\Omega$$

$$\cdot T_i = RC \Rightarrow C = \frac{T_i}{R}$$

$$= \frac{0,74}{18 \times 10^3} = 4,11 \cdot 10^{-5} \text{ F}$$

PARTIE**3**

La fonction COMMUNIQUER



9

COMMUNICATION DE L'INFORMATION - RESEAUX INDUSTRIELS -

Généralités sur les réseaux informatiques

Un réseau est un ensemble de machines interconnectées dans le but d'échanger des informations et de partager des ressources (fichiers, imprimante...).

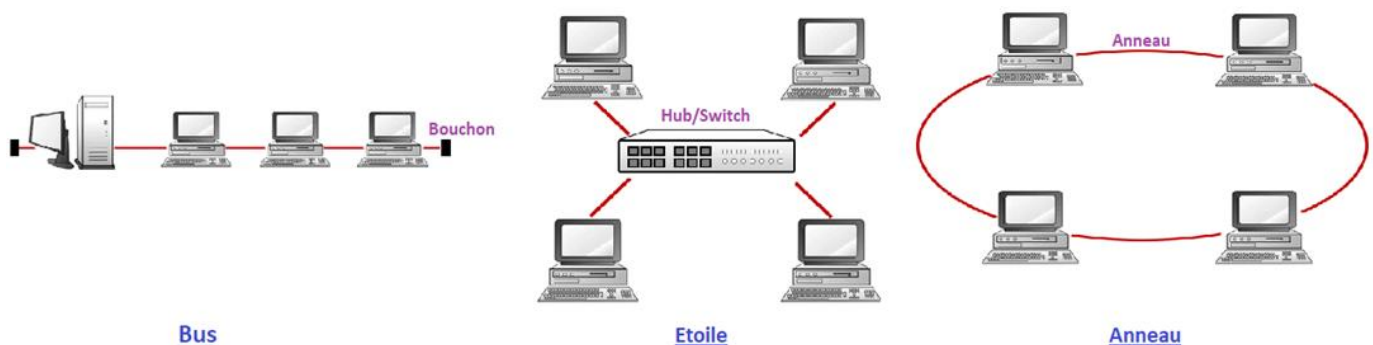
En fonction de la localisation, la distance et le débit, les réseaux sont classés en trois types :

- **LAN** (Local Area Network) : réseau local, intra entreprise permettant l'échange de données et le partage de ressources (ex : Ethernet) ;
- **MAN** (Metropolitan Area Network) : réseau métropolitain qui permet la connexion de plusieurs sites à l'échelle d'une ville ;
- **WAN** (Wide Area Network) : réseau à l'échelle d'un pays ou d'un continent, généralement celui des opérateurs. Le plus connu des WAN est Internet.

⇒ Topologie

Par topologie, nous entendons la façon dont on connecte les machines au serveur. Il y en a trois principales :

- **Topologie en bus** : tous les ordinateurs sont reliés à une même ligne par le biais d'un câble ;
- **Topologie en étoiles** : la communication entre deux ordinateurs passe par le matériel central (routeur, commutateur, concentrateur, ...) ;
- **Topologie en anneau (ring)** : les équipements sont reliés entre eux en formant une boucle.



⇒ Méthodes d'accès

Une méthode d'accès est un ensemble de règles définissant la façon dont un ordinateur accède au support tout en évitant les collisions.

On distingue les méthodes :

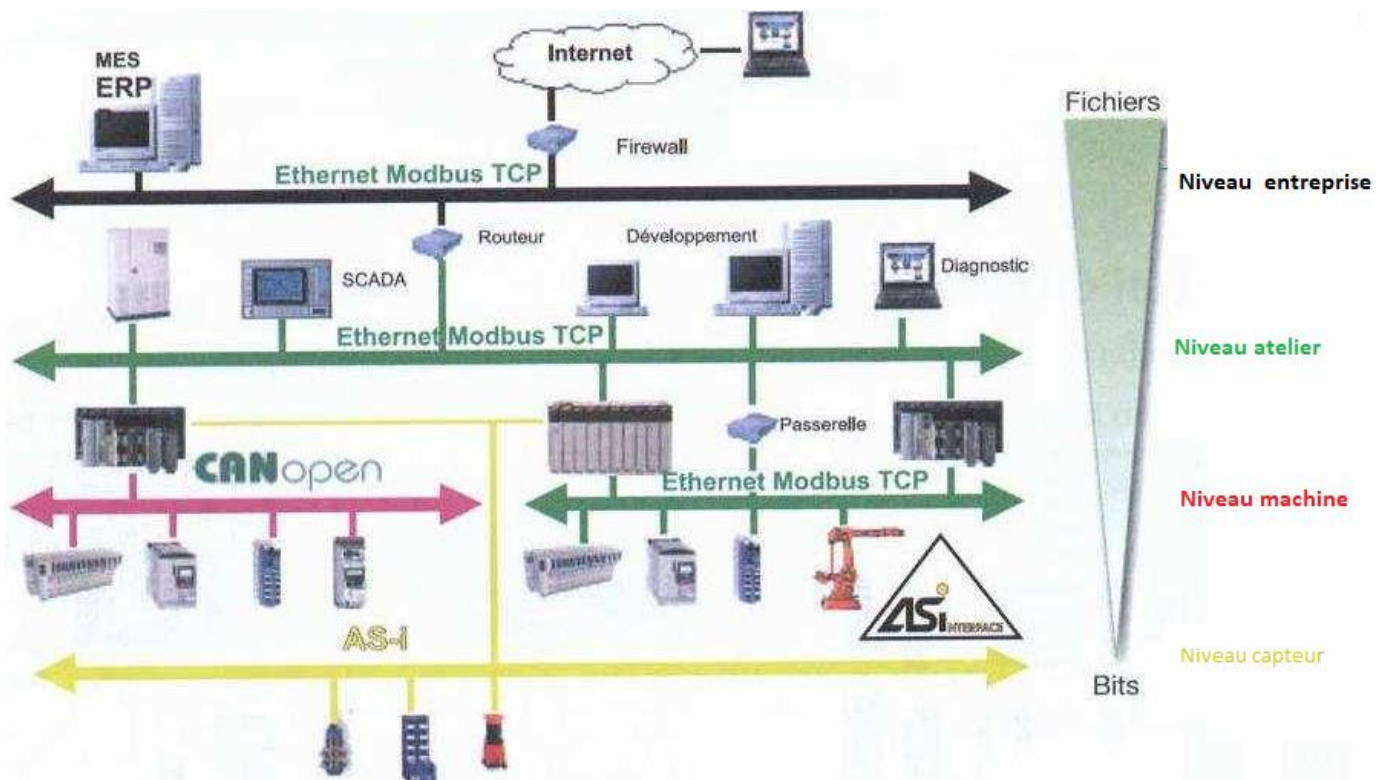
- **CSMA/CD** (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detect) pour les réseaux en bus et en étoile. Méthode utilisée par Ethernet ;
- **Token Ring** (anneau à jeton) pour les réseaux en anneau.

⇒ Pyramide CIM (Computer Integrated Manufacturing)

La technologie CIM définit le modèle d'usine industrielle au sens de l'automatisation et de la communication, c'est-à-dire que tous les équipements de l'usine fonctionnent sous le contrôle permanent des ordinateurs, API et autres dispositifs numériques.

La CIM propose quatre niveaux. Plus on s'élève dans la pyramide, plus le niveau de décision est important. Un niveau supérieur décide ce qu'un niveau inférieur exécute.

	<i>Fonction</i>	<i>Réseau</i>
Niveau 3 Entreprise	Informatique de gestion de l'entreprise (PC, serveur)	Réseau informatique (Ethernet, TCP)
Niveau 2 Atelier	Gestion locale Contrôle de production (PC industriel, serveur)	Réseau local industriel (Ethernet, TCP Modbus)
Niveau 1 Machine	Traitement d'automatisation (API, μ C, régulateur)	Réseau de terrain (Modbus)
Niveau 0 Capteur Actionneur	capteurs/ actionneurs	Réseau de capteurs/ actionneurs (ASI)



Réseau Ethernet

La technologie Ethernet permet de connecter les différents équipements entre eux dans un LAN (Local Area Network). Plusieurs réseaux peuvent communiquer entre eux par des routeurs pour former un WAN (Wide Area Network). La topologie la plus courante pour un réseau local est une topologie en étoile. Ethernet utilise le mécanisme CSMA/CD.

⇒ Équipements

- Carte réseau dans le PC ;
- Prises murales de type RJ45 ;
- Câble en cuivre à paires torsadées ou en fibres optiques ;
- Concentrateurs (hub), commutateurs (switchs), routeurs ;

Selon l'importance et le type de réseau, on utilise le plus souvent un des trois concentrateurs les plus généraux : les Hubs, Switchs et Routeurs.

Hub (concentrateur) : utilisé pour un réseau local avec un nombre très limité de machines. Il n'est ni plus ni moins qu'une multiprise RJ45 qui amplifie le signal réseau.

Switch (ou commutateur) : distribue les données à chaque machine destinataire, alors que le hub envoie les données à toutes machines qui répondent. Il élimine les collisions de paquets éventuelles.

Routeur : autorise l'utilisation de plusieurs classes d'adresses IP au sein d'un même réseau. Il permet ainsi la création de sous-réseaux.

⇒ Protocoles de communication

Un protocole est un ensemble de règles et de procédures à respecter pour émettre et recevoir des données sur un réseau. Le plus souvent, c'est la suite de protocoles **TCP/IP** qui est utilisée.

Voici quelques exemples de protocoles utilisant TCP/IP :

- **HTTP** (HyperText Transfer Protocol) : protocole de navigation sur le web ;
- **FTP** (File Transfer Protocol) : protocole pour le transfert de fichiers.

TCP/IP (Transmission Control Protocole / Internet Protocole) :

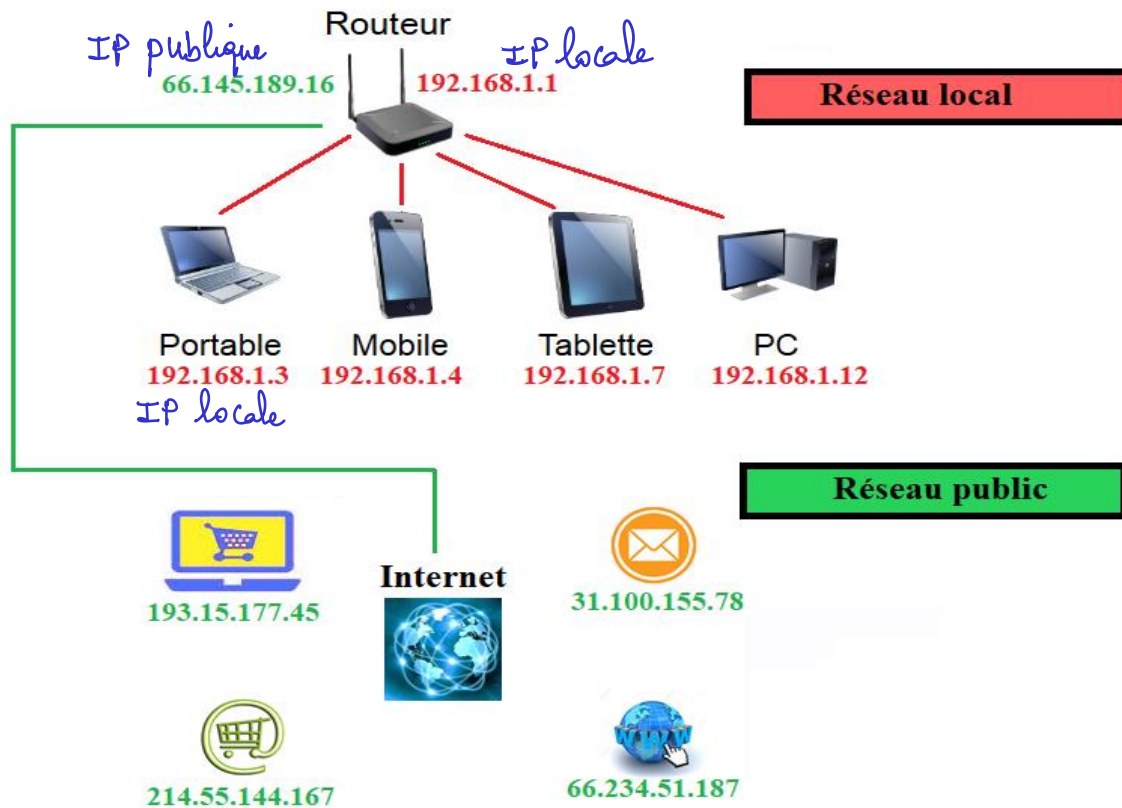
- Le protocole **IP** se base sur l'adressage IP, c'est-à-dire le fait de fournir une adresse IP à chaque machine du réseau afin de pouvoir acheminer des paquets de données ;
- Le protocole **TCP** assure le contrôle de la transmission des données.

⇒ Adressage IP

Une adresse IP est le numéro qui identifie chaque ordinateur connecté à Internet, ou plus généralement, l'interface avec le réseau de tout matériel informatique (PC, routeur, imprimante) connecté à un réseau informatique utilisant l'Internet Protocol.

En attendant la généralisation de la nouvelle version d'IPv6 avec un adressage sur 128 bits, IPv4 utilise 32 bits représentés par 4 valeurs décimales chacune allant de 0 à 255.

L'adresse est constituée de deux parties : un identificateur de réseau (netId) et un identificateur de la machine (hostId) pour ce réseau.



Il existe trois classes d'adresses, chacune permettant de coder un nombre différent de réseaux et de machines :

- **Classe A** : 1 octet identificateur du réseau, 3 octets d'hôtes.
1^{er} Octet compris entre 1 et 127.
- **Classe B** : 2 octets réseau, 2 octets d'hôtes.
1^{er} Octet compris entre 128 et 191.
- **Classe C** : 3 octets réseau, 1 octet d'hôtes.
1^{er} Octet compris entre 192 et 223.

Classe A : De 0.0.0.0 à 127.255.255.255

0XXX XXXX	XXXX XXXX	XXXX XXXX	XXXX XXXX
octet 1	octet 2	octet 3	octet 4
partie réseau	partie hôte		

Classe B : De 128.0.0.0 à 191.255.255.255

10XX XXXX	XXXX XXXX	XXXX XXXX	XXXX XXXX
octet 1	octet 2	octet 3	octet 4
partie réseau	partie hôte		

Classe C : De 192.0.0.0 à 223.255.255.255

110X XXXX	XXXX XXXX	XXXX XXXX	XXXX XXXX
octet 1	octet 2	octet 3	octet 4
partie réseau	partie hôte		

Masque de sous-réseau

Il permet d'identifier le réseau associé à une adresse IP.

Pour connaître, par exemple, l'adresse du réseau associé à l'adresse IP **34.208.123.12** (classe A), le masque est **11111111.00000000.00000000.00000000** ; soit **255.0.0.0** (/8)

Remarque : si on ajoute le nombre entre parenthèses, c'est pour indiquer la taille de l'adresse réseau.

La valeur binaire de 34.208.123.12 est 00100010.11010000.01111011.00001100 .

Un ET logique entre l'adresse IP et le masque donne ainsi le résultat suivant :

```

      00100010.11010000.01111011.00001100
ET    11111111.00000000.00000000.00000000
=     00100010.00000000.00000000.00000000
soit  34.0.0.0

```

Il s'agit bien du réseau associé à l'adresse 34.208.123.12 .

En généralisant, il est possible d'obtenir les masques par défaut correspondant à chaque classe d'adresse :

- Pour une adresse de **Classe A**, le masque est **255.0.0.0**
- Pour une adresse de **Classe B**, le masque est **255.255.0.0**
- Pour une adresse de **Classe C**, le masque est **255.255.255.0**

Exercice

- Quelle est la classe d'adresse de la machine dont l'adresse IP est 144.19.74.201 ?
- Quelle est l'adresse du réseau ?
- Quel est l'identificateur de la machine dans le réseau ?
- Quel est le masque réseau ?

B

144.19.0.0
74.201
255.255.0.0

Exercice

Compléter le tableau.

Note : on enlève toujours deux adresses :

- L'adresse du réseau : la partie hôte contient uniquement des 0 ;
- L'adresse de diffusion (broadcast) : la partie hôte contient uniquement des 1.

Classe	Adresse mini	Adresse maxi	Masque par défaut	Nombre de réseaux	Nombres de machines par réseau
A	0.0.0.1	127.255.255.254	255.0.0.0	2⁷	2²⁴ - 2
B	128.0.0.1	191.255.255.254	255.255.0.0	2¹⁴	2¹⁶ - 2
C	192.0.0.1	223.255.255.254	255.255.255.0	2²¹	2⁸ - 2

Création de sous-réseaux

Soit l'adresse **34.208.123.12** et supposons que l'on désire que les deux premiers bits du deuxième octet permettent de désigner le sous-réseau. Le masque à appliquer sera alors : **11111111.11000000.00000000.00000000** c'est-à-dire **255.192.0.0**.

Ce masquage divise donc un réseau de classe A en 4 sous-réseaux ; d'où le nom de *masque de sous-réseau*. Si on note N le nombre de bits attribués en plus au réseau, le **nombre de sous-réseaux** sera 2^N

Exercice

- ☞ Pour l'adresse **145.245.45.225**, donner
- La classe d'adresse ;
 - Le masque de sous-réseau et l'adresse du réseau ;
 - Le nombre de machines possibles sur ce réseau ;
- ☞ Pour une subdivision de ce réseau en 64 sous-réseaux, donner :
- Le masque modifié ;
 - L'adresse du sous-réseau auquel appartient la machine **145.245.45.225**.
 - Le nombre de machines possibles par sous-réseau.

a) Le premier octet de l'adresse est **145**... : il s'agit d'une classe **B**..

b) Le masque de sous-réseau d'une classe ...**B**... est **255.255.0.0** (/16). Nous aurons en binaire **11111111.11111111.00000000.00000000**.

Pour trouver l'adresse réseau, on va appliquer le masque de sous-réseau à l'adresse IP au travers d'une fonction "ET". Nous aurons ...**145.245.0.0**.....

c) Le nombre de machines possibles sur ce réseau est ... **$2^{16} - 2$** ..

d) Pour obtenir 64 subdivisions du réseau, nous devons augmenter le masque réseau de**6**.... bits. Le masque de sous-réseau devient donc en binaire **11111111.11111111.11111100.00000000** soit **255.255.252.0** (/22).

e) Notre adresse IP 145.245.45.225 sera répartie comme suit :

Décimal	145	245	45	225
Binaire			001011	01

Pour trouver l'adresse de sous-réseau qui contient la machine 145.245.45.225, nous allons appliquer le masque de sous-réseau à l'adresse IP au travers d'une fonction "ET". Nous aurons :

ET **145.245.001011.01...225**
 255.255.111111.00...0
 = **145.245.001011.00...0**
 soit, en décimal **145.245.44.0**

Cette écriture mixte (décimal/binaire) n'est pas normalisée !

f) Le nombre de machines possibles par sous-réseau est **$2^{10} - 2 = 1022$** .

Réseau de terrain

Un bus de terrain est une ligne numérique, reliant différents types d'équipements d'automatisme au sein d'une zone géographique délimitée (usine, voiture, photocopieur ...). Les équipements de sécurité (frein ABS, capteur de vitesse, airbag...) d'une voiture moderne, communiquent à l'aide d'un bus de terrain.

Parmi les avantages des bus de terrain, on peut citer :

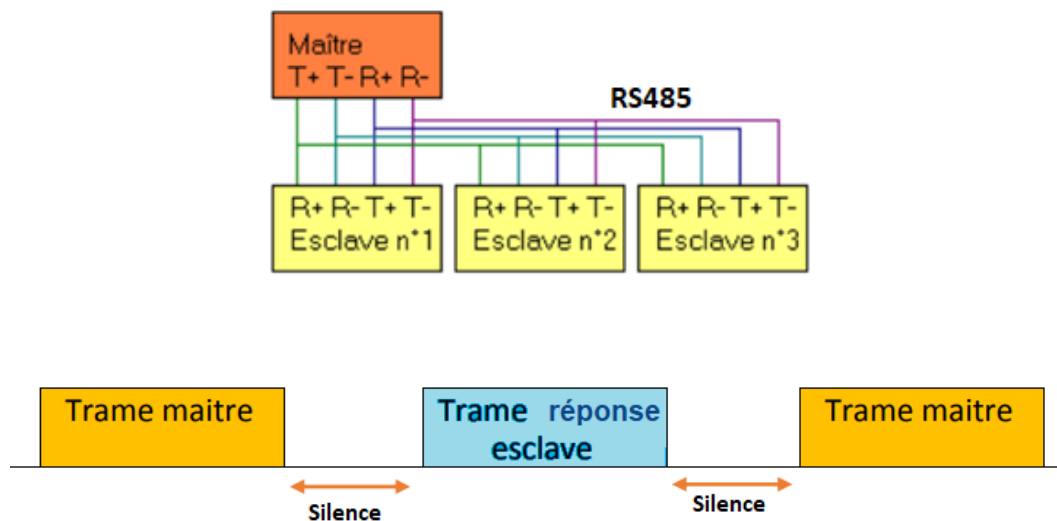
- Réduction massive du câblage, du temps d'installation, du matériel requis et des coûts de maintenance ;
- Plus de précision grâce à la numérisation.

⇒ Bus Modbus

Modbus (marque déposée par Modicon) est un protocole de communication utilisé pour des réseaux d'automates programmables. Il fonctionne selon une structure hiérarchisée entre un maître et plusieurs esclaves.

- Le maître envoie une demande et attend une réponse ;
- Deux esclaves ne peuvent dialoguer ensemble.

Le protocole MODBUS utilise généralement la transmission série asynchrone RS232, RS422 ou RS485.

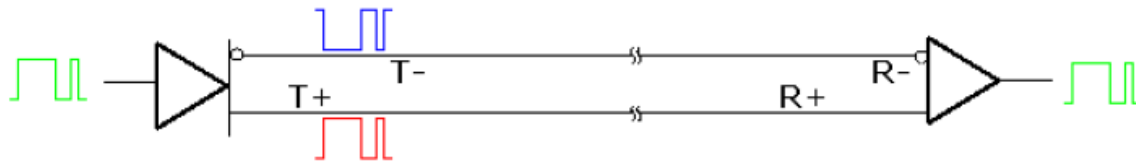


RS-485

C'est une liaison série, de type asynchrone, multipoints et différentielle ; débit élevé (jusqu'à 10 Méga bits/s) sur une distance importante (jusqu'à 1200 m). Elle dispose de 2 bornes d'émission polarisées notées T+, T- et de 2 bornes de réception polarisées notées R+, R-.

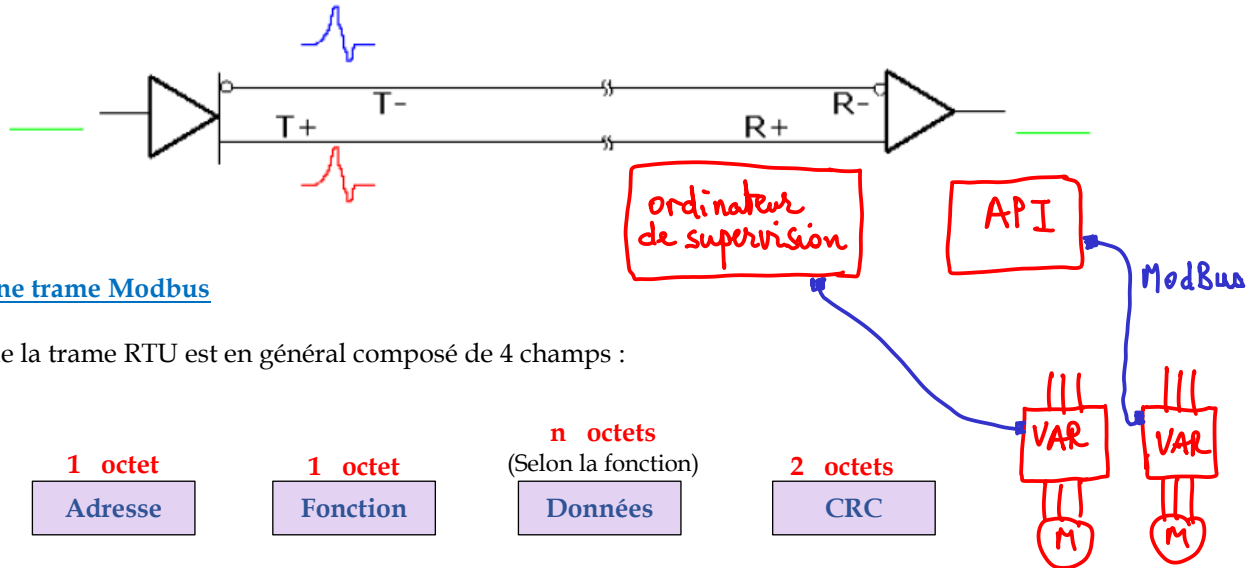
Liaison différentielle

Sur une liaison différentielle (ou symétrique) les signaux (T+ et T-) sont transmis en opposition de phase. Le récepteur réalise la différence de ces deux signaux (R+ et R-) pour obtenir le signal utile.



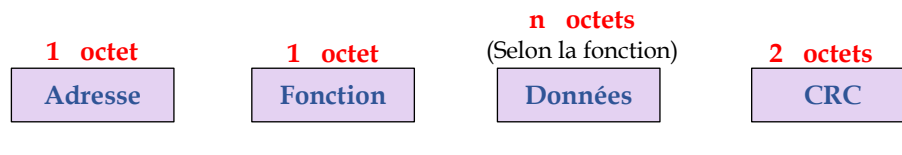
La paire de fils étant dans le même environnement. Donc, Si un parasite se produit, il se présente nécessairement sur les deux fils avec la même polarité.

Le récepteur, réalisant la différence des deux signaux, neutralise le parasite.



Format d'une trame Modbus

Le format de la trame RTU est en général composé de 4 champs :



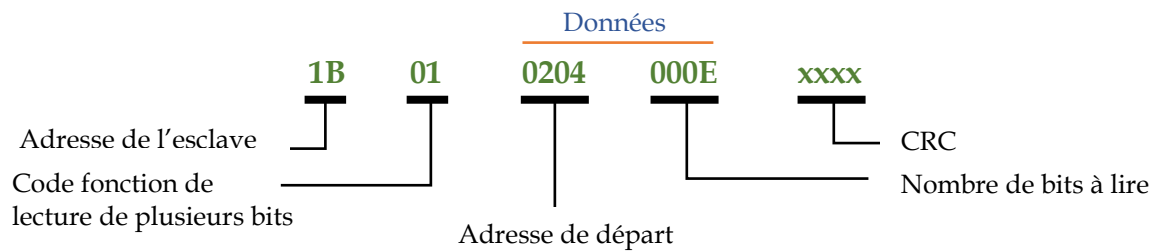
- Adresse : N° de l'esclave concerné par la requête ;
- Fonction : type d'action à réaliser ;
- Données : champ d'informations contenant les paramètres liés à la fonction : adresse mot, valeur de mot, nombre de mots, ...
- CRC (Cyclic Redundancy Check). : mot de contrôle de l'intégrité de la trame :
 - Le maître calcule le CRC codé sur 2 octets ;
 - L'esclave, lorsqu'il reçoit la trame, calcule le CRC et le compare au CRC reçu. En cas d'erreur, l'esclave répond par une trame d'exception.

La liste de quelques fonctions MODBUS est présentée dans le tableau suivant :

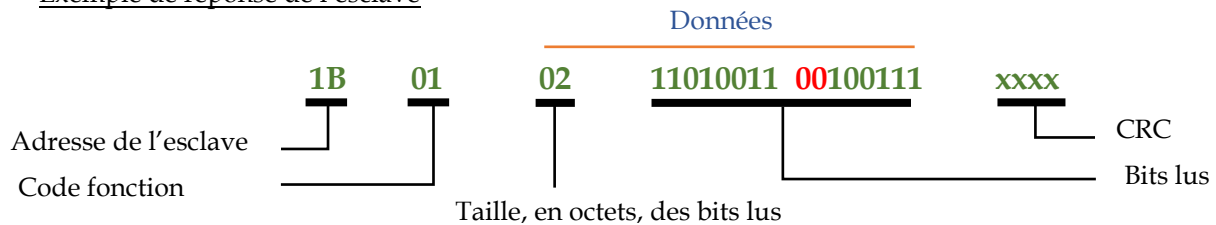
CODE en Hexa	FONCTION
01	Lecture de N bits de sortie
02	Lecture de N bits d'entrée
03	Lecture de N mots de sortie
04	Lecture de N mots d'entrée
05	Ecriture d'un bit de sortie
06	Ecriture d'un mot de sortie
0F	Ecriture de N bits de sortie
10	Ecriture de N mots

Exemple de transaction maitre-esclave Modbus

- Lecture par le maitre des bits 204_h à 211_h (soit 14 bits ou 0E en hexa) sur l'esclave N° 27 (1B en hexa)



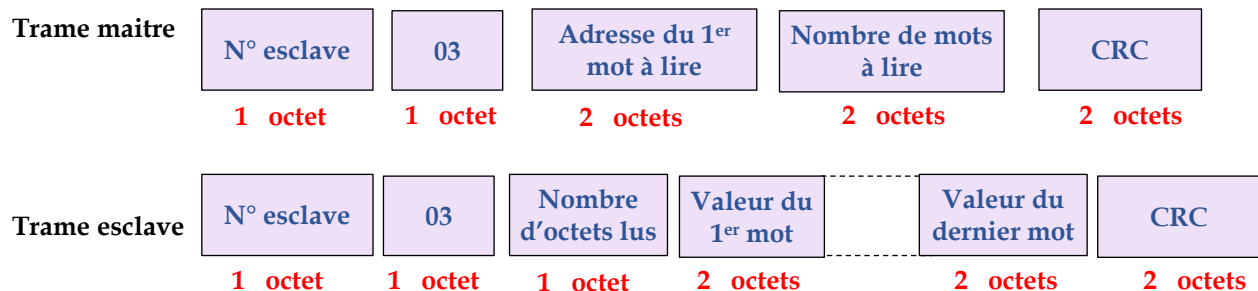
- Exemple de réponse de l'esclave

**Exercice**

On considère les trames Modbus suivantes :

Requête émise par le maitre	04	03	1C	02	00	01	25	9F
Réponse émise par l'esclave	04	03	02	09	D5	74	DE	

Pour la fonction 03 (lecture de plusieurs mots), les trames maitre et esclave sont montées comme suit :



Compléter le décodage de ces messages Modbus.

Trame maitre

- Adresse de l'esclave
- Code fonction
- Nombre et adresse des mots à extraire
- CRC

04
03
Un seul mot à l'adresse 1C02
259F

Trame réponse esclave

- Adresse de l'esclave
- Code fonction
- Valeur du mot envoyé au maitre
- CRC

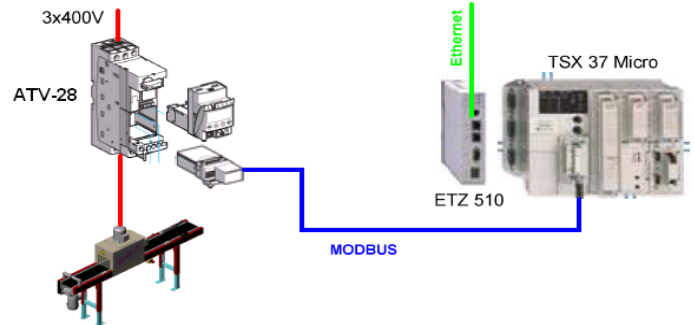
04
03
09D5
74DE

Exercice

Donnez la trame MODBUS de lecture par le maître des mots qui se trouvent sur la plage d'adresse **W450₍₁₀₎** à **W456₍₁₀₎** sur un ATV-28 (ALTIVAR), esclave n°2.
(Le CRC n'est pas demandé)

$$(450)_{10} = (\dots \textcolor{red}{1C2} \dots)_{16}$$

$$\text{Nombre de mots} = \dots \textcolor{red}{7} \dots$$



$\dots \textcolor{red}{02} \dots$	$\dots \textcolor{red}{03} \dots$	$\textcolor{red}{01} \dots \textcolor{red}{C2}$	$\textcolor{red}{00} \dots \textcolor{red}{07}$	XX XX
N° de l'esclave	Instruction de lecture de N mots	Adresse de début	Nombre de mots	Valeur du CRC

Exercice

Donnez la trame MODBUS pour envoyer une question à l'**esclave 4** pour charger la valeur **10₍₁₀₎** dans le registre **W252₍₁₀₎**. La partie "Données", dans le cas de l'écriture de 1 mot, est composée de 4 octets : 2 octets de l'adresse de destination et de 2 autres de la valeur envoyée.

$$(252)_{10} = (\dots \textcolor{red}{FC} \dots)_{16}$$

$$\text{Valeur envoyée} = \dots \textcolor{red}{10} \dots$$

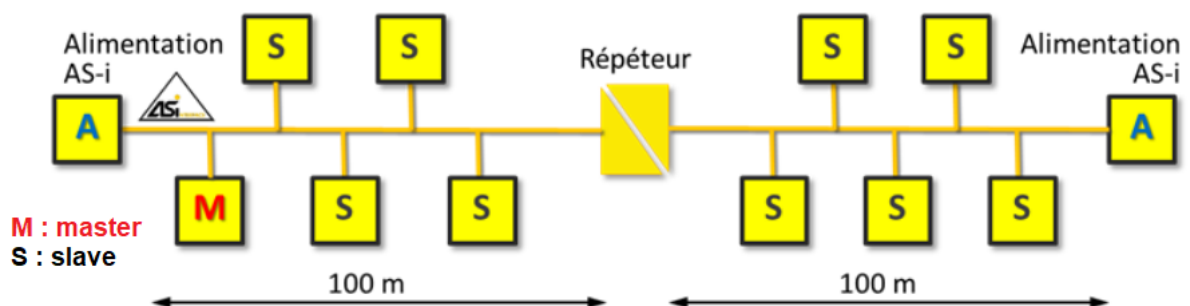
$\dots \textcolor{red}{04} \dots$	$\dots \textcolor{red}{06} \dots$	$\textcolor{red}{00} \dots \textcolor{red}{FC}$	$\textcolor{red}{00} \dots \textcolor{red}{0A}$	XX XX
N° de l'esclave	Instruction d'écriture d'un mot	Adresse de destination	Valeur envoyée	Valeur du CRC

⇒ **Bus As-i**

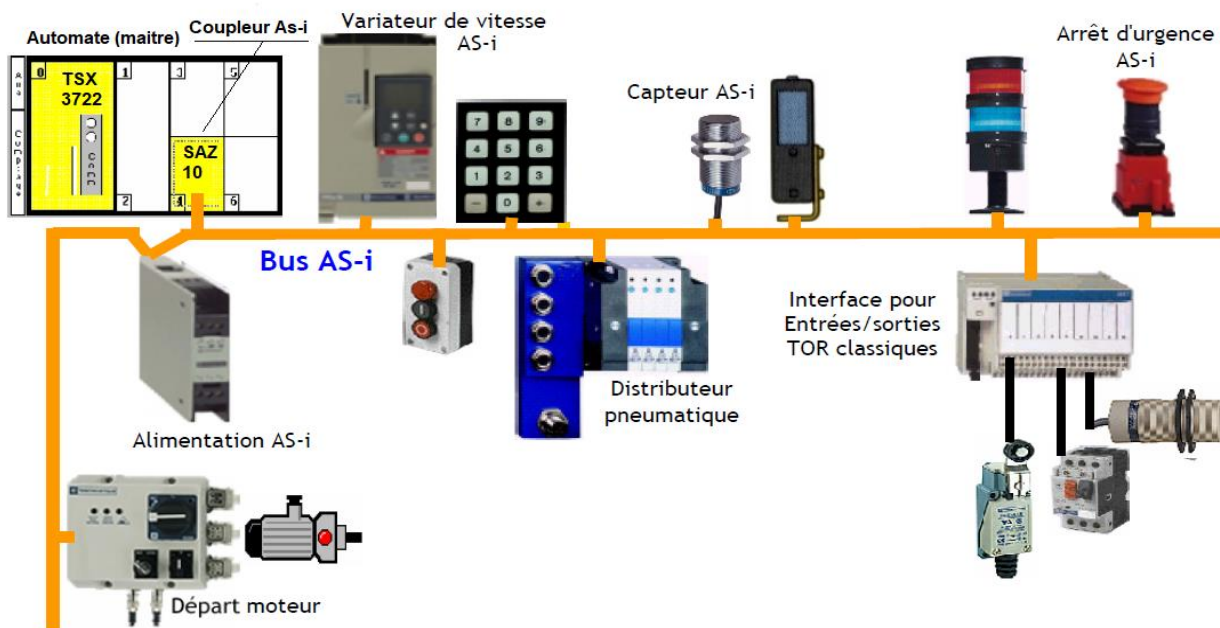
Un bus AS-i (en anglais Actuators Sensors Interface) est un bus de terrain de niveau 0 sur la pyramide CIM.

Le bus AS-i étant un bus série, il permet de diminuer la longueur de câble nécessaire à l'utilisation d'un grand nombre de capteurs ou de pré-actionneurs.

La liaison physique est composée d'une simple paire de fils gainés d'un isolant jaune. Sur ces fils transitent les données ainsi que l'alimentation électrique.

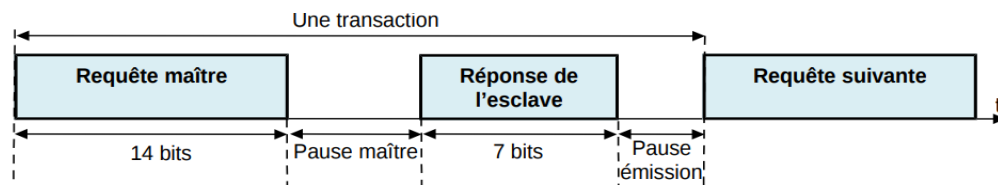
Exemple de topologie

Exemple d'équipements

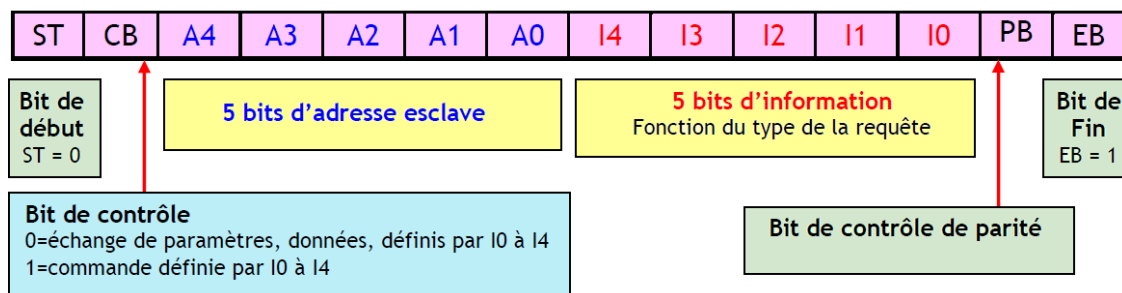


Protocole de communication AS-i

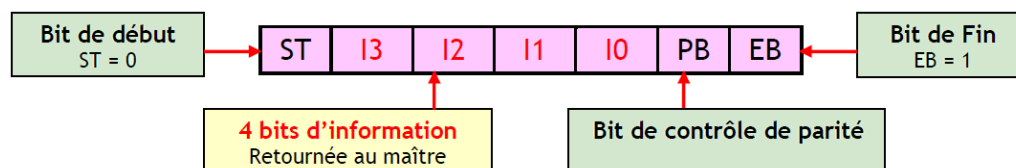
La méthode d'accès du bus AS-i est de type maître-esclave. Le maître interroge chacune des stations esclaves sur le bus, il met à jour les sorties et acquiert l'état des entrées des esclaves.



La trame de requête du **maître** contient toujours **14 bits** organisés de la façon suivante :



La trame de réponse de **l'esclave** contient toujours **7 bits** organisés de la façon suivante :



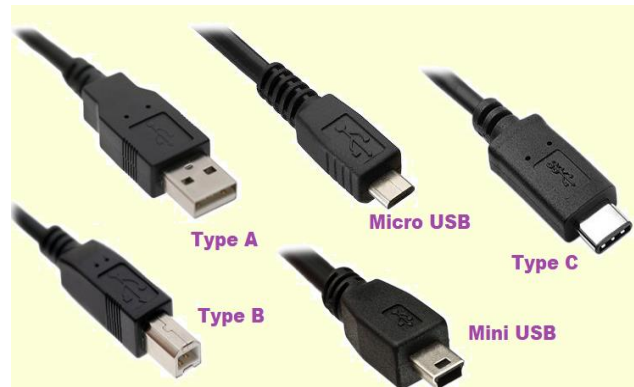
Bus USB

La technologie USB (Universal Serial Bus) est une interface d'entrée-sortie beaucoup plus rapide que les ports série standards. Si l'on veut exploiter plusieurs périphériques, on utilise un hub.

Hub USB



Types de connecteurs USB

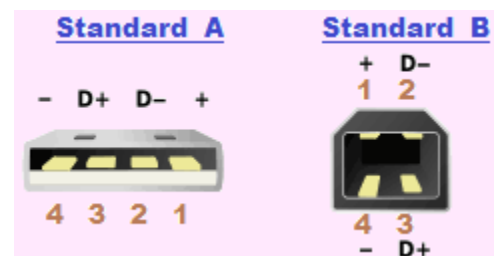


Les avantages de L'USB sont nombreux :

- Faible coût ;
- Indépendance vis à vis des machines hôtes ;
- Hot Plug & Play (c'est à dire branchement et débranchement sans avoir besoin d'arrêter le PC) ;
- Jusqu'à 127 périphériques possibles ;
- Fiabilité et sécurité ...

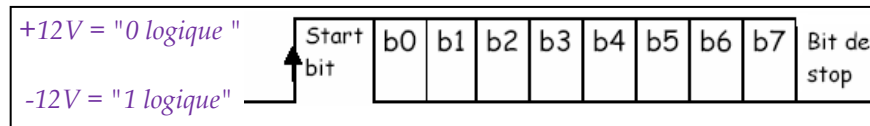
Brochage des connecteurs USB

Broche	Désignation	Couleur du fil
1	Alimentation +5V	Rouge
2	Données (D-)	Blanc
3	Données (D+)	Vert
4	Masse (GND)	Noir



Exercice : Décodage d'une frame RS232

Dans une transmission série type RS232, un caractère est émis comme ceci :



La trame d'envoi d'un caractère est donc composée de 10 bits :

- 1 bit de start ;
- 8 bits du caractère émis b0 à b7 ;
Exemple : si $(b_7b_6b_5b_4b_3b_2b_1b_0) = (01000111) = (71)_{10}$. D'après la table ASCII, le caractère transmis est G
- 1 bit de stop.

Table du code ASCII

Décimal	Octal	hexa	binaire	caractère	Décimal	Octal	hexa	binaire	caractère
033	041	21	00100001	!	059	073	3B	00111011	;
034	042	22	00100010	"	060	074	3C	00111100	<
035	043	23	00100011	#	061	075	3D	00111101	=
036	044	24	00100100	\$	062	076	3E	00111110	>
037	045	25	00100101	%	063	077	3F	00111111	?
038	046	26	00100110	&	064	100	40	01000000	@
039	047	27	00100111	'	065	101	41	01000001	A
040	050	28	00101000	(	066	102	42	01000010	B
041	051	29	00101001	)	067	103	43	01000011	C
042	052	2A	00101010	*	068	104	44	01000100	D
043	053	2B	00101011	+	069	105	45	01000101	E
044	054	2C	00101100	,	070	106	46	01000110	F
045	055	2D	00101101	-	071	107	47	01000111	G
046	056	2E	00101110	.	072	110	48	01001000	H
047	057	2F	00101111	/	073	111	49	01001001	I
048	060	30	00110000	0	074	112	4A	01001010	J
049	061	31	00110001	1	075	113	4B	01001011	K
050	062	32	00110010	2	076	114	4C	01001100	L
051	063	33	00110011	3	077	115	4D	01001101	M
052	064	34	00110100	4	078	116	4E	01001110	N
053	065	35	00110101	5	079	117	4F	01001111	O
054	066	36	00110110	6	080	120	50	01010000	P
055	067	37	00110111	7	081	121	51	01010001	Q
056	070	38	00111000	8	082	122	52	01010010	R
057	071	39	00111001	9	083	123	53	01010011	S
058	072	3A	00111010	:	084	124	54	01010100	T
					085	125	55	01010101	U
					086	126	56	01010110	V
					087	127	57	01010111	W
					088	130	58	01011000	X
					089	131	59	01011001	Y
					090	132	5A	01011010	Z

On considère la trame RS232 donnée ci-dessous.

1. Combien de caractères porte la trame ?

La trame est composée de **20** bits, elle est donc porteuse de **2** caractères (puisque l'émission d'un seul caractère nécessite **10** bits)

2. Calculez la durée d'un bit sachant que le débit de transmission est de 9600 bits/s.

Le débit étant de 9600 bits/s $\Rightarrow$ la durée d'un bit = $\frac{1}{9600} = 104 \mu s$

3. En déduire la durée totale de la trame.

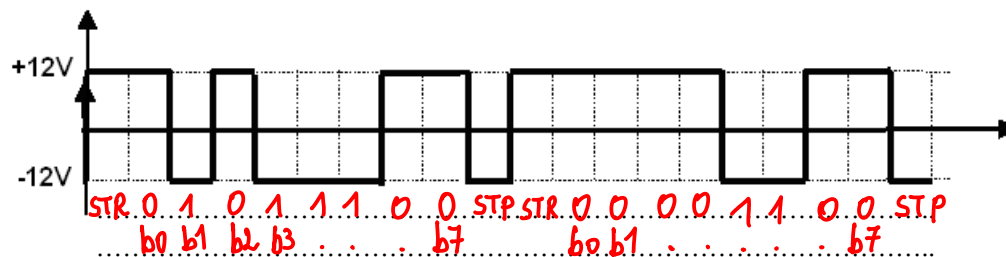
La durée totale de la trame = $20 \times 104 \mu s = 2080 \mu s = 2,08 ms$

4. Relever les bits ($b_7b_6b_5b_4b_3b_2b_1b_0$) pour chaque caractère.

Pour le premier caractère, on relève ($b_7b_6b_5b_4b_3b_2b_1b_0$) = (**0011 1010**) = (**3A**)₁₆

Pour le deuxième caractère, on relève ($b_7b_6b_5b_4b_3b_2b_1b_0$) = (**0011 0000**) = (**30**)₁₆

5. Utiliser la table ASCII pour déduire les caractères transmis.



D'après la table ASCII, le premier caractère est " **␣** " alors que le second est " **0** " .

Exercice : examen national 2018, session normale**Tâche 3 : Communiquer les informations**

Une voiture comporte en général plusieurs capteurs et actionneurs. Pour réduire de manière significative le coût de câblage, il fallait définir des **bus séries** simplifiant énormément l'intégration des fils dans le châssis. La transmission des données s'effectue sur une paire filaire différentielle.

Répondre aux questions 46, 47 et 48 suivantes en choisissant la bonne réponse (a ou b ou c) :

Question : 46. On utilise le bus série dans une voiture pour :

[1 pt]

- a) Simplifier l'intégration de fils dans le châssis ;
- b) Augmenter le nombre de fils dans le châssis ;
- c) Diminuer le nombre de microcontrôleurs dans la voiture.

Question : 47. Identifier la structure (topologie physique) du réseau utilisé dans une voiture :

[1 pt]

- a) Étoile-Bus ;
- b) Anneau ;
- c) Maille.

Question : 48. On utilise une liaison différentielle pour :

[1 pt]

- a) Avoir une meilleure immunité face aux perturbations électromagnétiques ;
- b) Augmenter le débit dans le réseau ;
- c) Diminuer les collisions dans le réseau.

Format d'une Trame de Données :

La trame de données dans ce bus, se décompose en 7 champs différents :

Bus inoccupé

Bus inoccupé

Début de trame 1 bit	Champ d'arbitrage 12 bits	Champ de contrôle 6 bits	Champ de données 0 - 8 octets	Champ de CRC 2 octets	Champ d'acquiescement 2 bits	Champ de fin de trame 7 bits
-------------------------	------------------------------	-----------------------------	----------------------------------	--------------------------	---------------------------------	---------------------------------

- Le début de trame SOF (Start Of Frame), **1 bit** (0 logique) ;
- Le champ d'arbitrage, **12 bits** ;
- Le champ de contrôle, **6 bits** ;
- Le champ de données, **0 à 64 bits** ;
- Le champ de **CRC** (Cyclic Redundancy Code), **16 bits** ;
- Le champ d'acquiescement (Acknowledge), **2 bits** ;
- Le champ de fin de trame EOF (End Of Frame), **7 bits** (1 logique).

Question : 49. Déterminer le nombre de capteurs/actionneurs **TOR** (Tout Ou Rien) qu'un nœud peut gérer dans une seule trame de données ;

[1 pt]

Question : 50. Déterminer alors, la longueur (**nombre de bits**) minimale et la longueur maximale d'une trame de données.

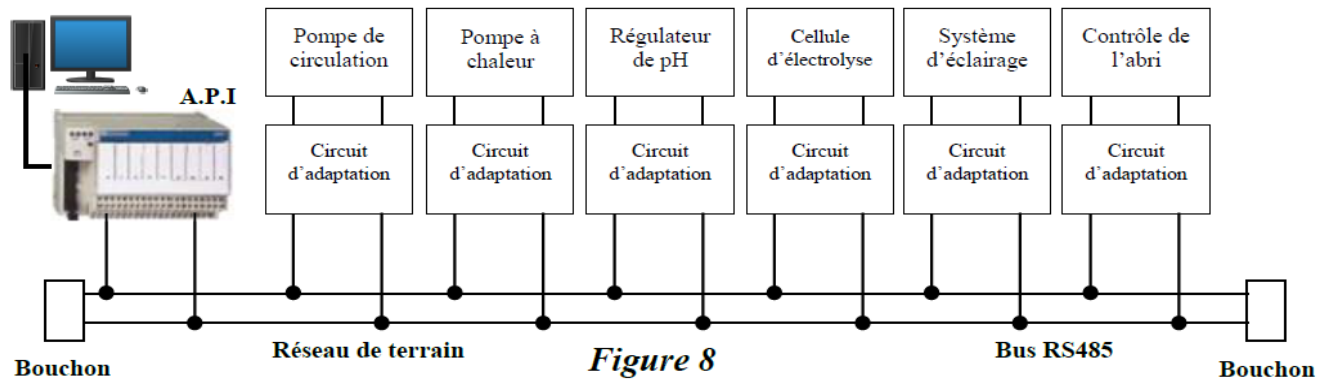
[2 pts]

Voir la correction sur la page
www.abawaba.ma/ste

Exercice : examen national 2019, session de rattrapage

Tâche 3 : Communiquer les informations

Le constructeur propose au propriétaire un système de supervision à distance de la piscine par **automate programmable industriel** et une liaison différentielle de type **RS485** selon la configuration suivante :



Le propriétaire est ainsi renseigné sur l'état général de son installation, comme il peut la contrôler à distance. Répondre aux questions Q45, Q46 et Q47 suivantes en précisant la bonne réponse (*a*, *b* ou *c*).

Q.45- La liaison **RS 485** est un (e) :

[1 pt]

- a) Liaison point à point ;
- b) Liaison multipoints ;
- c) Port pour la communication parallèle.

Q.46- On utilise le **circuit d'adaptation** pour :

[1 pt]

- a) Augmenter la vitesse de transmission ;
- b) Convertir une tension alternative en tension continue ;
- c) Convertir une tension bipolaire en une tension différentielle.

Q.47- Le **bouchon** à l'extrémité du câble de transmission permet de :

[1 pt]

- a) Diminuer le nombre de collisions ;
- b) Amplifier le signal dans le câble de transmission ;
- c) Absorber le signal et l'empêcher de rebondir à l'extrémité du câble.

Sachant que les données transmises sont codées sur un octet (**8 bits**) entouré d'un bit de **START** et d'un bit de **STOP** et que la transmission se fait à une vitesse de **9600 bits/second**.

Q.48- Déterminer le **temps** de transmission d'un **bit**.

[1 pt]

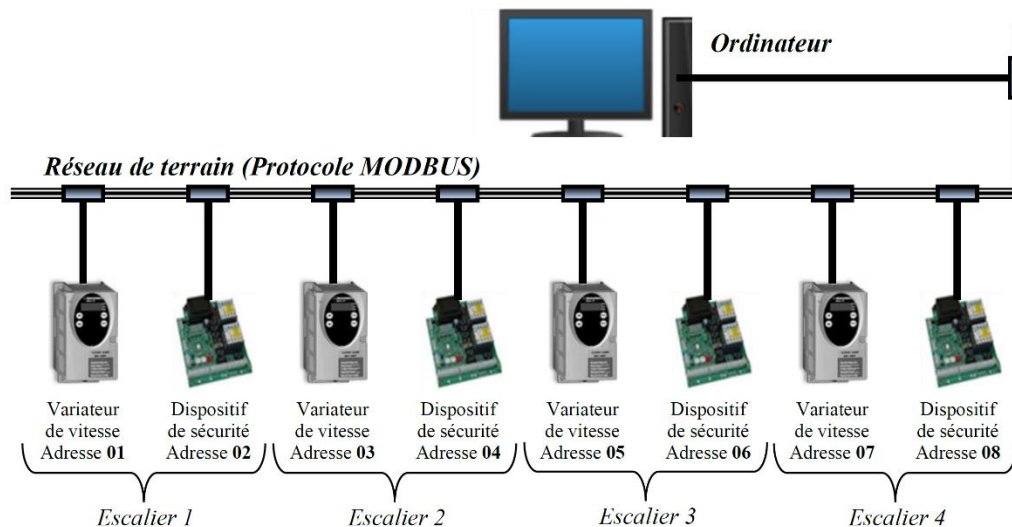
Q.49- En déduire le **temps** de la transmission d'une **trame**.

[1 pt]

Voir la correction sur la page
www.abawaba.ma/2ste

Exercice : examen national 2023, session normale**Tâche 3 : Analyse d'une trame MODBUS**

Un espace commercial utilise quatre escaliers mécaniques supervisés à distance par **ordinateur** et une liaison différentielle de type **RS485**, selon la configuration suivante :



On peut ainsi se renseigner sur l'état général des quatre escaliers, comme on peut les contrôler à distance.

Lire le document ressources **DRES 06** avant de répondre aux questions.

On désire vérifier à l'aide d'un analyseur de trame **MODBUS**, la configuration des variateurs **ALTIVAR** qui pilotent les différents moteurs des 4 escaliers.

Ces variateurs gèrent la vitesse des moteurs (accélération, décélération, grande vitesse, petite vitesse...) d'après les paramètres stockés sous forme de mots (double octet) dans leurs registres de configuration (mémoire interne).

On a relevé sur le bus les trames suivantes codées **en hexadécimal** :

Requête du maître (Ordinateur)

05	03	2C92	0002	CRC
----	----	------	------	-----

Réponse de l'esclave (Variateur)

05	03	04	0064	0096	CRC
----	----	----	------	------	-----

2C92 = 11410 en décimal

0064 = 100 en décimal

0096 = 150 en décimal

Répondre aux questions suivantes en cochant les bonnes réponses.

Q.40- Avec quel esclave le maître entame-t-il un **dialogue** ?

1 pt

Q.41- Quel est le **but** de la requête du maître ?

1 pt

Q.42- Quels sont les **paramètres** lus ou écrits ? donner alors, leurs **valeurs** en Hz ?

2 pts

On souhaite changer le paramètre **SP2** de 100 (10 Hz) à 250 (25 Hz).

Q.43- Elaborer la trame MODBUS (requête du maître et réponse de l'esclave) permettant de configurer à partir du maître le paramètre **SP2** (2^{ème} vitesse) à 250 (25 Hz) du variateur de vitesse de l'**escalier 4**.

2 pts

MODBUS**DRES 06****1. Présentation**

Le tableau suivant indique quelques fonctions du protocole de communication **MODBUS** entre le maître (Ordinateur) et l'esclave (**Altivar 31**).

Code fonction (décimal)	Nom des fonctions	Valeur maxi de N
3	Lecture de N mots de sortie	29 mots maxi
6	Ecriture d'un mot de sortie	
16	Ecriture de N mots de sortie	27 mots maxi

2. Ecriture d'un mot de sortie : fonction 6 (06_H)

Cette fonction permet d'écrire un mot. Les formats des trames dans ce cas sont identiques.

Requête du maître et réponse de l'esclave

Adresse de l'esclave	N° fonction	Adresse du mot		Valeur du mot		CRC	
		PF	Pf	PF	Pf	PF	Pf
1 octet	1 octet	2 octets		2 octets		2 octets	

N.B:

PF = poids fort

Pf = poids faible

1 mot = 2 octets = 2 x 8 bits = 16 bits

CRC (Cyclic Redundancy Code) : 2 octets de contrôle de l'intégrité de la trame (non exploité dans le sujet).

3. Lecture de N mots de sortie : fonction 3 (03_H)

Cette fonction permet de lire un ou plusieurs mots, la lecture s'effectue à partir de l'adresse du premier mot puis par incrémentation de l'adresse.

Requête du maître

Adresse de l'esclave	N° fonction	Adresse du premier mot		Nombre de mots		CRC	
		PF	Pf	PF	Pf	PF	Pf
1 octet	1 octet	2 octets		2 octets		2 octets	

Réponse de l'esclave

Adresse de l'esclave	N° fonction	Nombre d'octets lus	Valeur premier mot		Valeur dernier mot		CRC	
			PF	Pf	PF	Pf	PF	Pf
1 octet	1 octet	1 octet	2 octets		2 octets		2 octets	

4. Liste de quelques mots configurables de l'ALTIVAR 31 par trame MODBUS

Adresse MODBUS	Code	Nom / Description / Valeurs possibles
11410 ₁₀ = 2C92 _{Hexa}	SP2	2^{ème} vitesse présélectionnée - Unité : 0,1 Hz - Réglage usine 100 : (100 × 0,1 = 10 Hz) - Plage de réglage : 0 à 5000
11411 ₁₀ = 2C93 _{Hexa}	SP3	3^{ème} vitesse présélectionnée - Unité : 0,1 Hz - Réglage usine 150 : (150 × 0,1 = 15 Hz) - Plage de réglage : 0 à 5000
11412 ₁₀ = 2C94 _{Hexa}	SP4	4^{ème} vitesse présélectionnée - Unité : 0,1 Hz - Réglage usine 200 : (200 × 0,1 = 20 Hz) - Plage de réglage : 0 à 5000

Q.40 -

- ☐ Esclave d'adresse 01 : Variateur de vitesse du moteur de l'escalier 1
- ☐ Esclave d'adresse 03 : Variateur de vitesse du moteur de l'escalier 2
- ☐ Esclave d'adresse 05 : Variateur de vitesse du moteur de l'escalier 3
- ☐ Esclave d'adresse 07 : Variateur de vitesse du moteur de l'escalier 4

Q.41 -

- ☐ Lecture de 2 mots de sortie (adresses : 2C92_H et 2C93_H)
- ☐ Ecriture de 2 mots de sortie (adresses : 2C92_H et 2C93_H)
- ☐ Ecriture d'un mot de sortie (adresse : 2C92_H)

Q.42 -

Paramètres lus ou écrits :

- ☐ 1^{ère} vitesse présélectionnée (SP1)
- ☐ 2^{ème} vitesse présélectionnée (SP2)
- ☐ 3^{ème} vitesse présélectionnée (SP3)
- ☐ 4^{ème} vitesse présélectionnée (SP4)

Valeurs des paramètres lus ou écrits en Hz :

- ☐ SP1 = 0 Hz
- ☐ SP2 = 10 Hz
- ☐ SP3 = 15 Hz
- ☐ SP4 = 20 Hz
- ☐ SP1 = 25 Hz
- ☐ SP2 = 100 Hz
- ☐ SP3 = 150 Hz
- ☐ SP4 = 200 Hz

Q.43 -

2^{ème} vitesse : 25 Hz $\rightarrow$ SP2 = 25/0,1 $\rightarrow$ SP2 = 250

Requête du maître (Ordinateur) et réponse de l'esclave (Variateur)

				CRC
☐ 01	☐ 03	☐ 2C92	☐ FA00	
☐ 03	☐ 06	☐ 2C93	☐ 0064	
☐ 05	☐ 0A	☐ 2C94	☐ 6400	
☐ 07	☐ 10	☐ 2C95	☐ 00FA	

Voir la correction sur la page
www.albawaba.ma/2ste