

BREVET de TECHNICIEN SUPÉRIEUR**CONTRÔLE INDUSTRIEL ET  
RÉGULATION AUTOMATIQUE**E3 Sciences Physiques**U-32 PHYSIQUE APPLIQUÉE***Durée : 2 heures**Coefficient : 2,5***Matériel autorisé :**

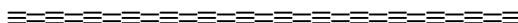
- Toutes les calculatrices de poche y compris les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante (Cirulaire n° 99-186, 16/11/1999).

**Tout autre matériel est interdit.**

**Aucun document autorisé.**

**Documents à rendre avec la copie :**

LES **DOCUMENTS RÉPONSES** (pages 10 à 13) sont fournis en double exemplaire, un exemplaire étant à remettre avec la copie, l'autre servant de brouillon éventuel.



Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.  
Le sujet se compose de 13 pages, numérotées de 1/13 à 13/13.

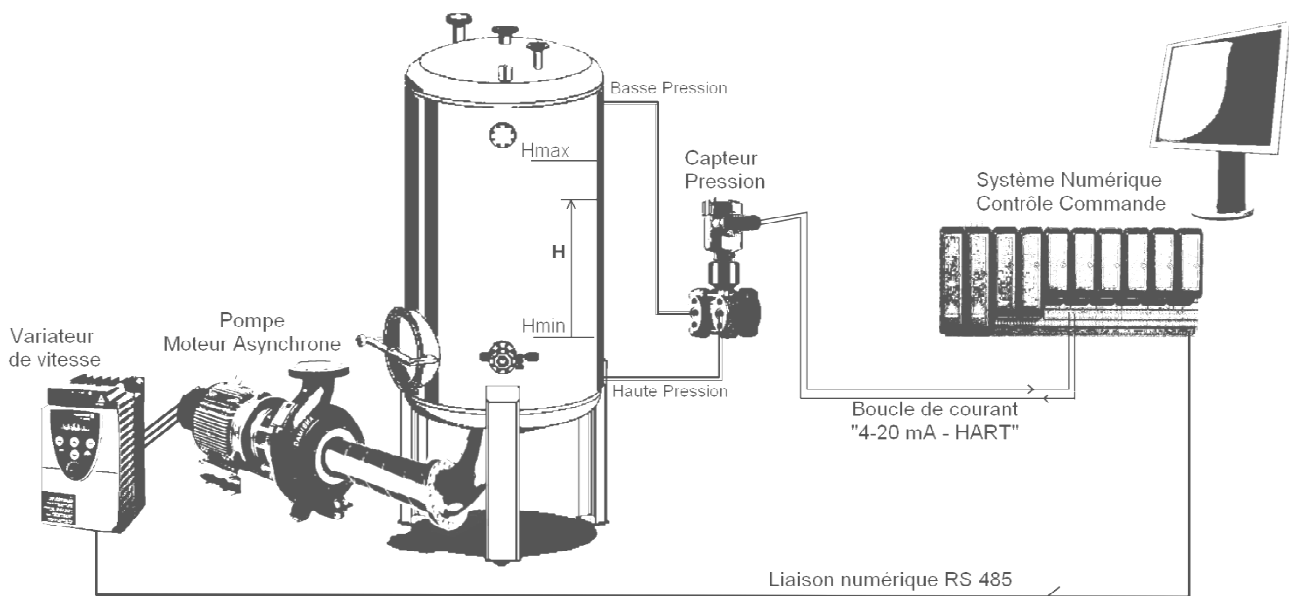
BTS CONTRÔLE INDUSTRIEL ET RÉGULATION AUTOMATIQUE		Session 2013
PHYSIQUE APPLIQUÉE	Code : CAE3PA	Page 1/13

## ÉTUDE D'UN ASSERVISSEMENT DE NIVEAU

**Ce sujet comporte 4 parties pouvant être traitées indépendamment les unes des autres.**

- 1<sup>ère</sup> partie : **structure et fonctionnement du transmetteur de pression différentielle**
- 2<sup>e</sup> partie : **étude du bloc de transmission distante du capteur**
- 3<sup>e</sup> partie : **traitement et liaison numérique**
- 4<sup>e</sup> partie : **étude du moteur asynchrone et de sa commande**

Le système étudié est un système d'asservissement de niveau. Il est décrit par le schéma suivant.



Le niveau dans la cuve est régulé par un « Système Numérique de Contrôle-Commande » situé dans une salle de supervision. Il est mesuré par un capteur de pression différentielle avec une entrée « Haute pression » située en bas de la cuve et une entrée « Basse pression » située en haut.

Le fonctionnement du capteur peut être simplifié par les deux blocs suivants :

- Cellule de mesure piézorésistive avec mise en forme d'un signal électrique.
- Transmission distante d'un signal au standard « 4-20 mA – HART ».

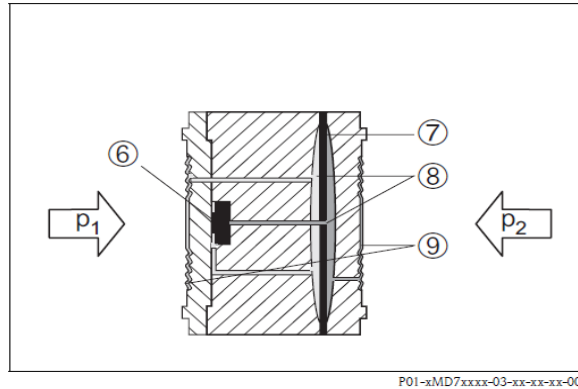
Dans le système de commande, la régulation est assurée par un bloc de calcul numérique.

Pour agir sur le niveau, une pompe entraînée par un moteur asynchrone triphasé à vitesse variable est installée sur la canalisation de vidange de la cuve.

La consigne de vitesse du groupe « moto-pompe » est envoyée par le système de commande sur une liaison série numérique au standard RS485.

## 1. Structure et fonctionnement du transmetteur de pression différentielle

La différence de pression exercée sur l'entrée « Haute pression » et « Basse pression » provoque une déformation des membranes de mesure. L'huile de remplissage dans le capteur transmet cette pression au pont de mesure piézorésistif.



Cellule métallique à partir de 100 mbar

- 6 Elément de mesure
- 7 Membrane de protection contre les surtensions
- 8 Huile de remplissage
- 9 Membrane séparatrice

Source : Endress-Hauser

Le pont de mesure piézorésistif est constitué de résistances appelées jauges de contrainte qui sont soumises à la même déformation que la membrane qui les supporte.

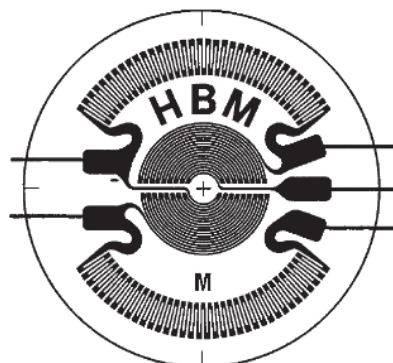
La déformation de la jauge se traduit par une variation de sa résistance. Elles sont par quatre dans un pont de Wheatstone. **En absence de déformation, elles ont la même valeur de résistance,  $R = 350 \Omega$ .**

Elles sont placées symétriquement de sorte que deux subissent des allongements et les deux autres des compressions.

**La variation maximale de résistance est  $\Delta R = 5 \Omega$ .**

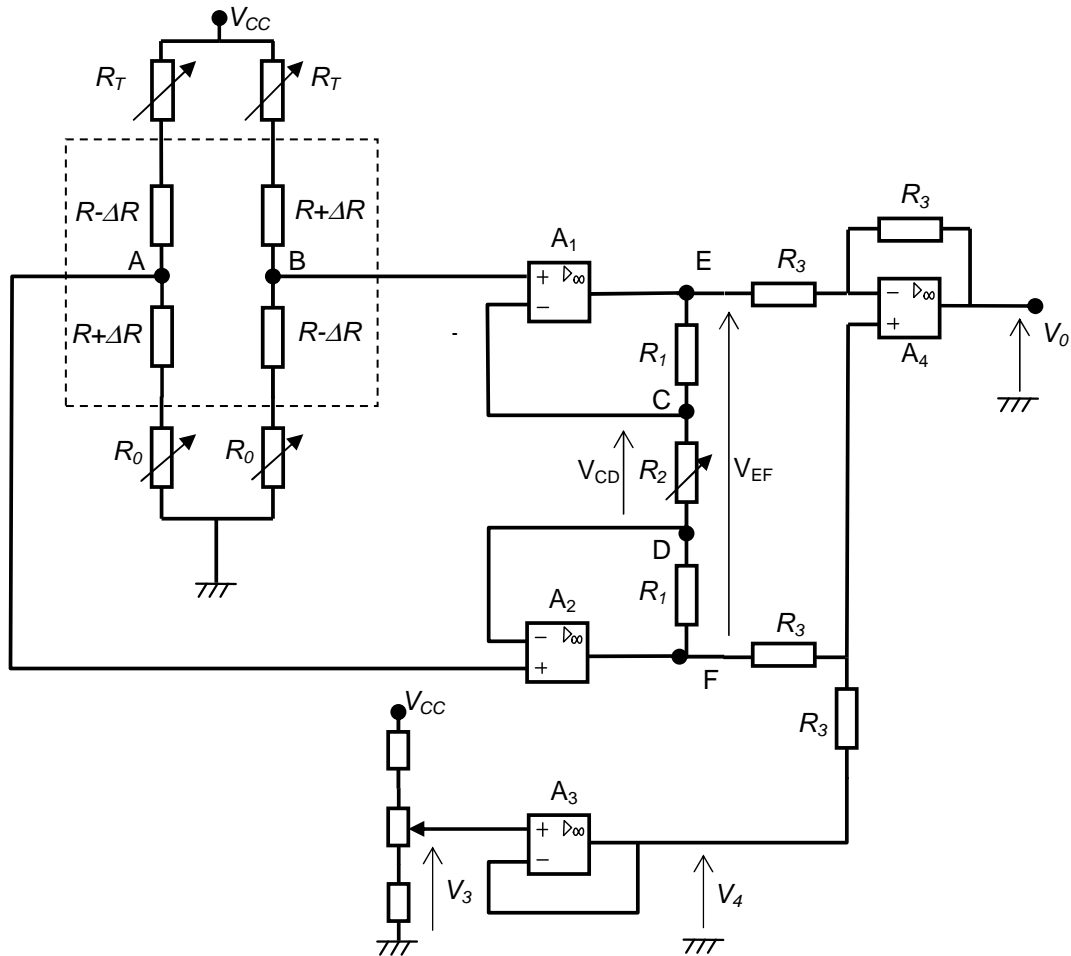
La modification de la tension différentielle du pont, proportionnelle à la pression, est mesurée et exploitée.

En pratique, le pont n'est pas parfait. Une compensation de dérive de température et un réglage du zéro sont ajoutés.



Jauges en diaphragme série SG, ref 1-MK11-10/350.

Le schéma électrique complet est donné ci-dessous.



Dans cette partie, on cherche à démontrer la linéarité de la tension de sortie du capteur \$V\_0\$ en fonction de \$\Delta R\$.

**1.1 Pont de Wheatstone**

Tous les A.O.P. sont considérés comme parfaits. Leurs courants d'entrée sont nuls.

1.1.1 Exprimer \$V\_A\$, le potentiel électrique du point A en fonction de la tension d'alimentation \$V\_{CC}\$ et des résistances \$R\_0\$, \$R\_T\$, \$R\$ et \$\Delta R\$.

1.1.2 De la même manière, exprimer \$V\_B\$, le potentiel du point B.

1.1.3 Démontrer que \$V\_{AB}\$, la différence de potentiels entre A et B peut s'exprimer :

$$V_{AB} = \frac{2 \Delta R}{R_0 + 2 R + R_T} V_{CC}$$

**1.2 Amplificateur d'instrumentation**

1.2.1 Quel est le régime de fonctionnement des amplificateurs opérationnels \$A\_1\$ et \$A\_2\$ ?

1.2.2 Exprimer \$V\_{CD}\$ en fonction de \$V\_{AB}\$.

1.2.3 Montrer que :

$$V_{EF} = - \frac{(R_2 + 2 R_1)}{R_2} V_{AB}$$

1.2.4 Quel est le nom et la fonction réalisée par l'amplificateur \$A\_3\$ ? Que vaut \$V\_4\$ en fonction de \$V\_3\$ ?

L'amplificateur opérationnel  $A_4$  fonctionne en régime linéaire.

1.2.5 Exprimer le potentiel de l'entrée inverseuse  $V_{A4}^-$ , en fonction de  $V_E$ ,  $V_0$ .

1.2.6 Exprimer le potentiel de l'entrée non-inverseuse  $V_{A4}^+$ , en fonction de  $V_F$ ,  $V_4$ .

1.2.7 Montrer que :  $V_0 = (V_F - V_E) + V_4$

1.2.8 En déduire que  $V_0$  peut s'exprimer par la relation suivante :

$$V_0 = \frac{(R_2 + 2 R_1)}{R_2} \frac{2 \Delta R}{R_0 + 2 R + R_T} V_{CC} + V_4$$

Application numérique :

$V_{CC} = 8 \text{ V}$ ,  $V_4 = 0$ ,  $R_0 = R_T = 50 \text{ } \Omega$ ,  $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ , et  $R_2$  est ajustée à  $202 \text{ } \Omega$ .

1.2.9 Calculer la variation de la tension  $V_0$  du montage compte tenu des variations possibles de  $\Delta R$ .

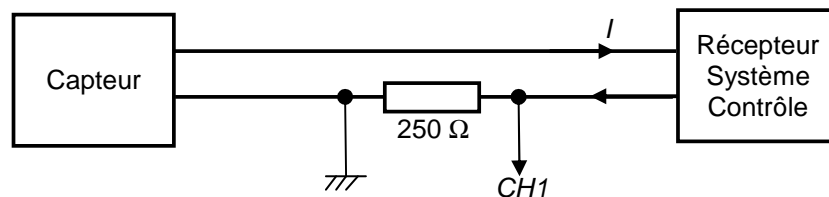
## 2. Étude du bloc de transmission distante du capteur

La mesure du capteur est transmise au système de contrôle-commande situé en salle de supervision.

La liaison est une boucle de courant analogique « 4-20mA – HART ».

La composante continue du courant  $I$  est proportionnelle à la mesure de niveau H (4 mA correspondant à  $H_{min}$  et 20 mA à  $H_{max}$ ).

Une composante alternative est ajoutée utilisant le protocole HART (Highway Addressable Remote Transducer). Cela permet la transmission de données numériques. Un signal sinusoïdal d'amplitude 0,5 mA est modulé en fréquence (modulation FSK). Le « 0 » logique est codé par un signal de fréquence 1 200 Hz et le « 1 » logique par une fréquence de 2 200 Hz. La vitesse de transmission est de 1 200 bauds.



Une résistance de  $250 \text{ } \Omega$  est insérée en série dans la boucle de courant afin de visualiser le courant.

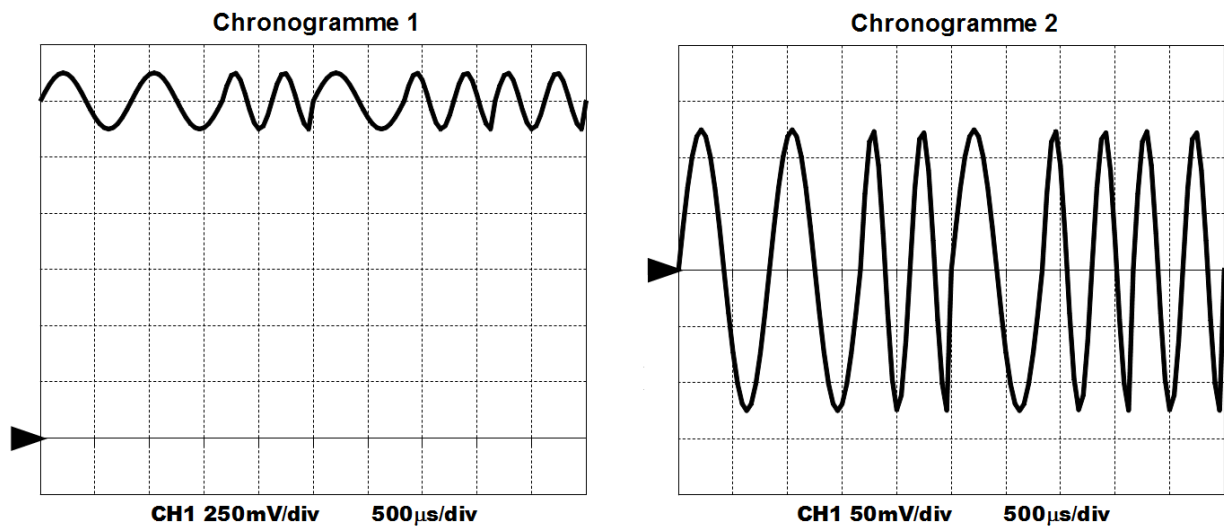
### 2.1 Transmission du signal

2.1.1 Quelle est la durée  $T_{bit}$  de transmission d'un bit de donnée ?

2.1.2 Quelle est la période du signal correspondant à un « 0 » et celle correspondant à un « 1 » ?

2.1.3 Quelle est la plage de variation de la tension moyenne  $U_R$  pour  $I$  variant de 4 à 20 mA ?

La voie CH1 d'un oscilloscope a permis de relever deux chronogrammes de la tension  $u_R(t)$  aux bornes de cette résistance.



- 2.1.4 Le chronogramme 1 correspond au relevé du signal  $u_R(t)$  complet ? Quel est le couplage utilisé sur l'oscilloscope (AC, DC, Gnd, XY) ?
- 2.1.5 Pour le chronogramme 1 :
- Quelle est la valeur de la tension moyenne  $U_r$  ?
  - A quel courant cela correspond-il ?
- 2.1.6 Le chronogramme 2 correspond au relevé de la composante alternative seule du signal  $u_R(t)$ . Quel est le couplage utilisé sur l'oscilloscope (AC, DC, Gnd, XY) ?
- 2.1.7 Relever la séquence binaire transmise.

## 2.2 Filtrage de la composante continue

Une partie du spectre en amplitude du courant  $I$  est donné sur le **Document Réponse 1**. La composante continue du signal est déjà représentée.

Pour extraire la valeur moyenne du courant, on souhaite utiliser un filtre du 2<sup>ème</sup> ordre, de gain dans la bande passante égal à 40 dB. Les signaux rejetés doivent être atténués d'au moins 40 dB.

- 2.2.1 Représenter sur le **Document Réponse 1** les deux composantes sinusoïdales du signal HART.
- 2.2.2 Quel type de filtre doit-on réaliser (Passe-bas, Passe-haut, Passe-bande, Coupe-bande) ?
- 2.2.3 Parmi les fréquences de coupure suivantes, laquelle doit-on choisir ? 100 Hz, 1 000 Hz ou 3 000 Hz (justifiez votre réponse).
- 2.2.4 Représenter le diagramme asymptotique de Bode (en gain) du filtre sur le **Document Réponse 2**.

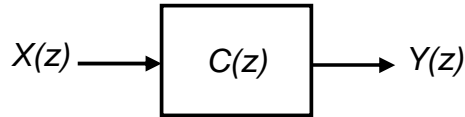
### 3. Traitement et liaison numérique

#### 3.1 Régulation numérique

La régulation du niveau est réalisée par le « Système Numérique de Contrôle Commande ». Un bloc correcteur traite les informations échantillonnées à la période  $T_e$ .

On appelle  $x_n$  les échantillons en entrée et  $y_n$  ceux en sortie du bloc.

$X(z)$  et  $Y(z)$  sont les transformées en  $z$  des séquences d'échantillons précédents.



La transmittance en  $z$  du correcteur est donnée par la fonction :

$$C(z) = K \left( 1 + \frac{T_e}{T_i} \frac{z^{-1}}{1 - z^{-1}} \right)$$

avec  $K = 2$ ,  $T_i = 3$  s,  $T_e = 0,6$  s

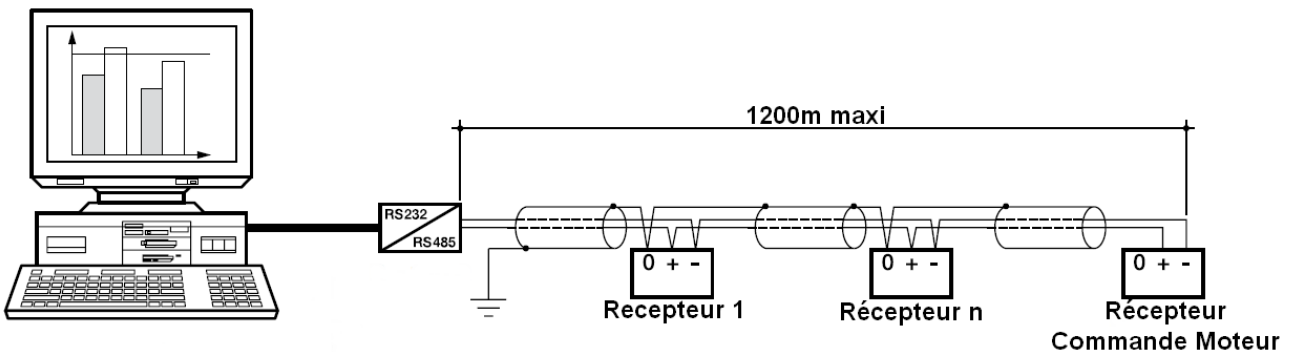
3.1.1 Quelle est la fréquence d'échantillonnage  $f_e$  ?

3.1.2 Quelle est la fréquence maximale du signal que le correcteur peut traiter ?

3.1.3 Montrer que l'équation de récurrence de ce correcteur peut se mettre sous la forme :

$$y_n = y_{n-1} + K x_n - K \left( 1 - \frac{T_e}{T_i} \right) x_{n-1}$$

3.1.4 Compléter la séquence d'échantillons dans le tableau sur le **Document Réponse 3**.



Le signal de consigne de vitesse du groupe « moto-pompe » est envoyé par le système de contrôle sur un bus numérique vers un module de réception. Le câble de liaison est constitué d'une paire de fils torsadés et d'un blindage. L'impédance caractéristique de la ligne est de  $120 \Omega$ .

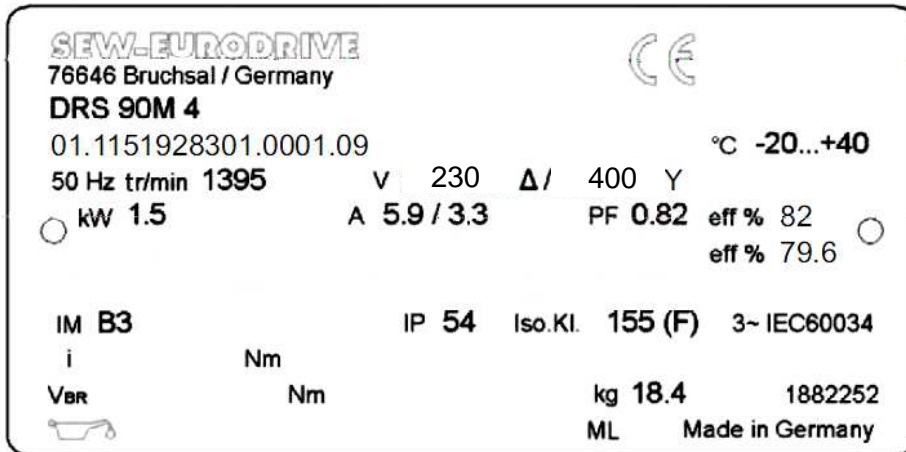
3.1.5 Que faut-il mettre en fin de ligne pour assurer une bonne transmission des données ?

### 4. Étude du moteur asynchrone et de sa commande

#### 4.1 Moteur triphasé DRS90M4

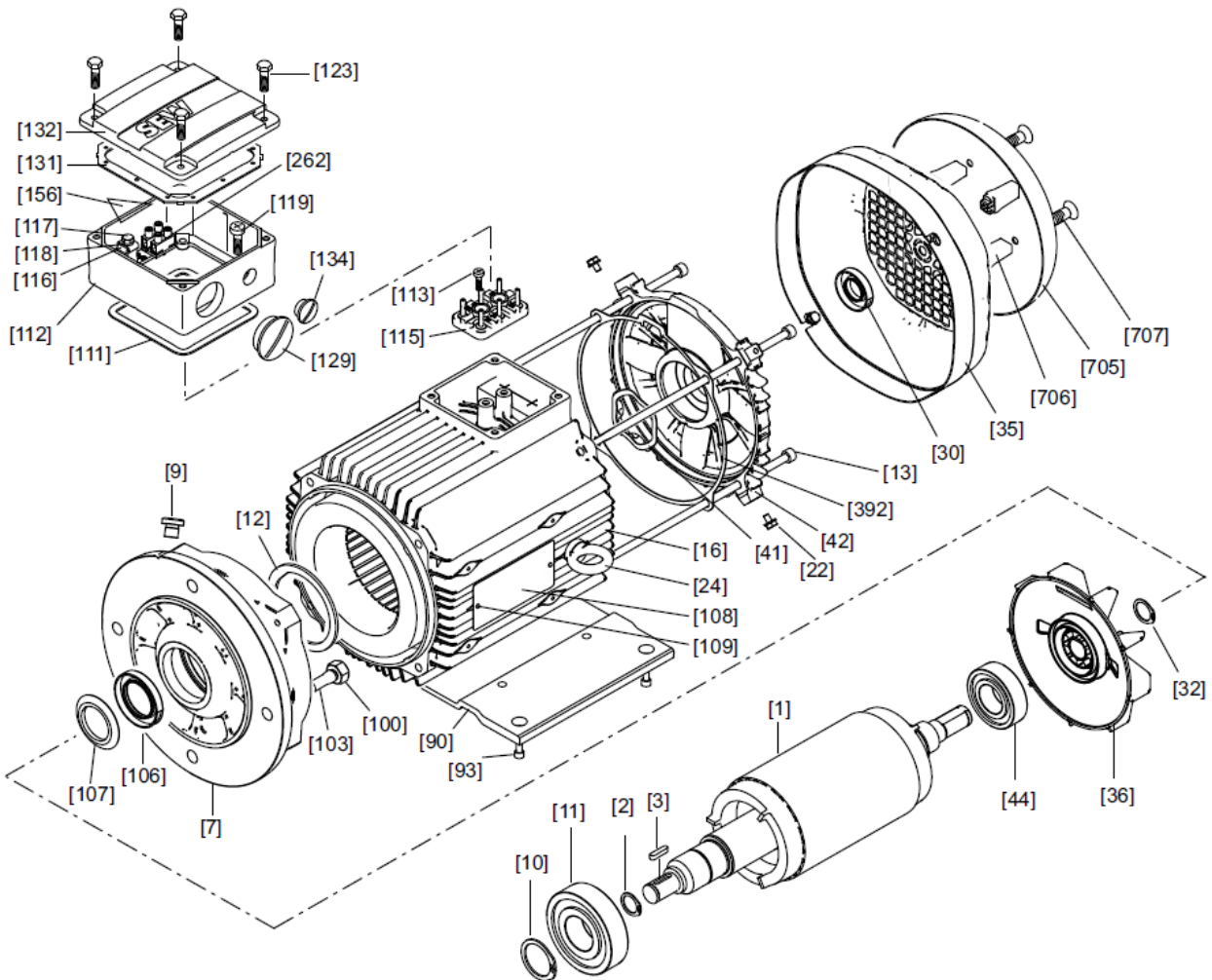
Le moteur asynchrone triphasé utilisé pour entraîner la pompe est un modèle DRS90M4 de la marque SEW.

Il est alimenté par un réseau triphasé, de tension composée nominale  $U = 400\text{ V} - 50\text{ Hz}$ .  
 La plaque signalétique du moteur est la suivante :



« PF » : facteur de puissance

La vue éclatée du moteur est extraite de la notice d'exploitation :



- 4.1.1 Donner les numéros des repères correspondant aux éléments suivants : rotor, stator, ventilateur, plaque signalétique, plaque à bornes, couvercle de plaque à bornes.
- 4.1.2 Quel doit être le couplage du moteur ?



- 4.1.3 Sur le **Document Réponse 4** sont données deux possibilités de couplage extraits de la notice. Indiquer pour chaque schéma le type de couplage sur ce **Document Réponse**.
- 4.1.4 D'après la plaque, quelles sont les valeurs nominales de la puissance mécanique et de la vitesse de rotation du moteur ?
- 4.1.5 En déduire la valeur du couple nominal  $T_u$ .
- 4.1.6 Quel est le nombre de pôles de ce moteur et sa vitesse de synchronisme  $n_s$  ?
- 4.1.7 Quelle est la puissance électrique absorbée ?
- 4.1.8 Calculer le rendement nominal du moteur.

#### 4.2 *Commande du moteur par un convertisseur statique*

On souhaite faire varier la vitesse du groupe « moteur/pompe » pour agir sur le débit de soutirage de la cuve. Un convertisseur statique est utilisé pour faire varier la fréquence  $f$  et la tension efficace  $U$  de l'alimentation du moteur triphasé avec le rapport  $\frac{U}{f}$  constant.

Les caractéristiques mécaniques du couple utile  $T_u$  du moteur et du couple résistant  $T_r$  de la pompe, pour une fréquence de 50 Hz, sont données sur le **Document Réponse 5**.

- 4.2.1 Quel est le type de convertisseur utilisé parmi la liste suivante : transformateur, onduleur, redresseur commandé, hacheur, alternostat ?
- 4.2.2 Sur la caractéristique mécanique, relever le couple et la vitesse de rotation du point de fonctionnement.

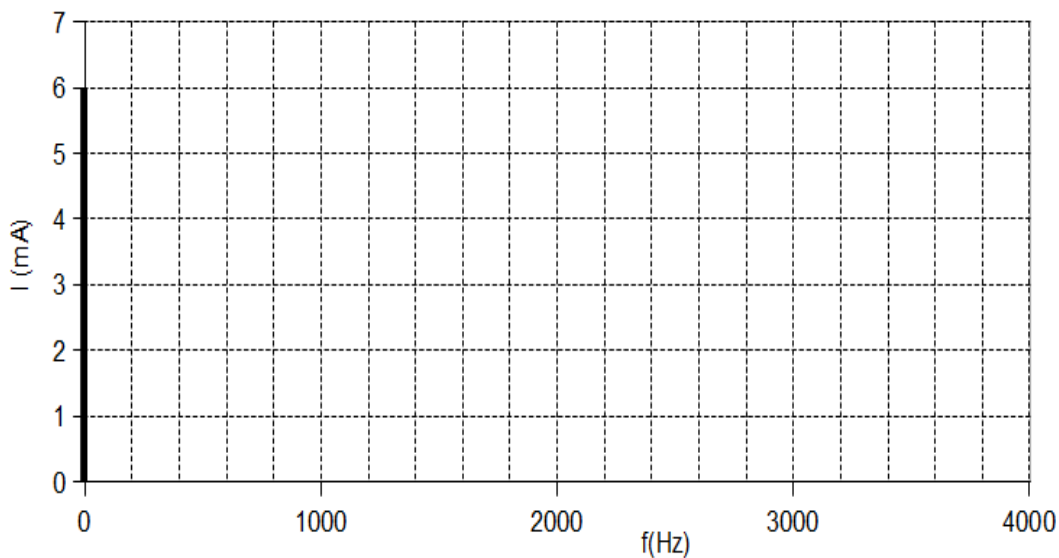
Le convertisseur est maintenant réglé de manière à générer une tension d'alimentation de fréquence 33,3 Hz.

Dans ces conditions, la caractéristique mécanique du moteur se déplace parallèlement à elle-même.

- 4.2.3 Quelle est la nouvelle fréquence de synchronisme du moteur ?
- 4.2.4 Sur le **Document Réponse 5**, déplacer la caractéristique moteur et donner les nouvelles caractéristiques (couple, vitesse) du point de fonctionnement.

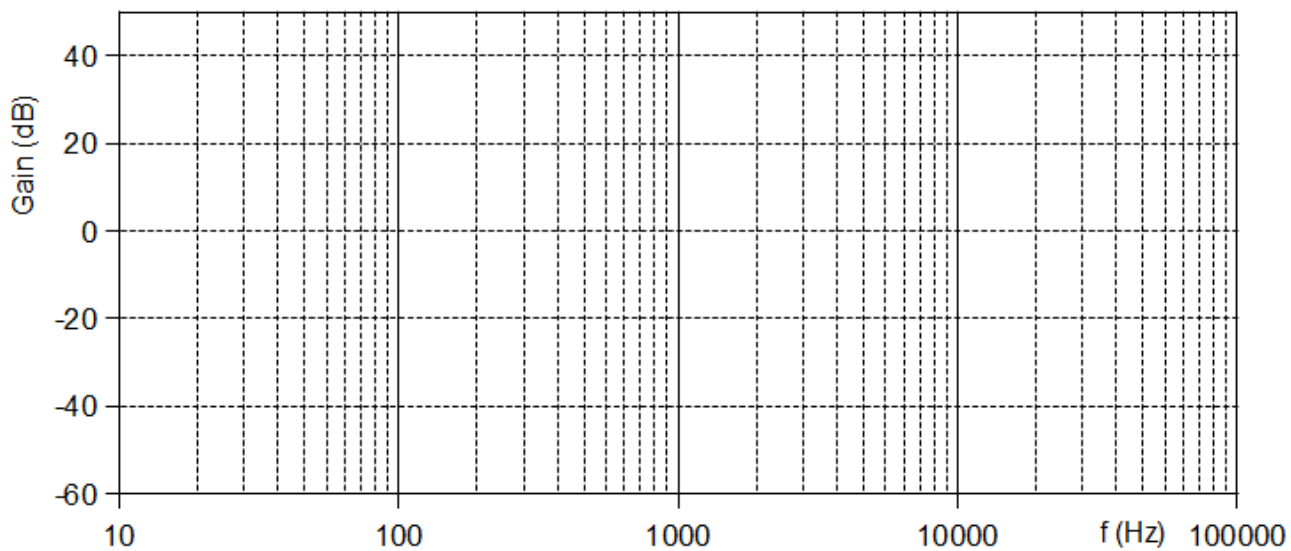
**DOCUMENT RÉPONSE 1**

Spectre en amplitude de I



**DOCUMENT RÉPONSE 2**

Diagramme de Bode du filtre

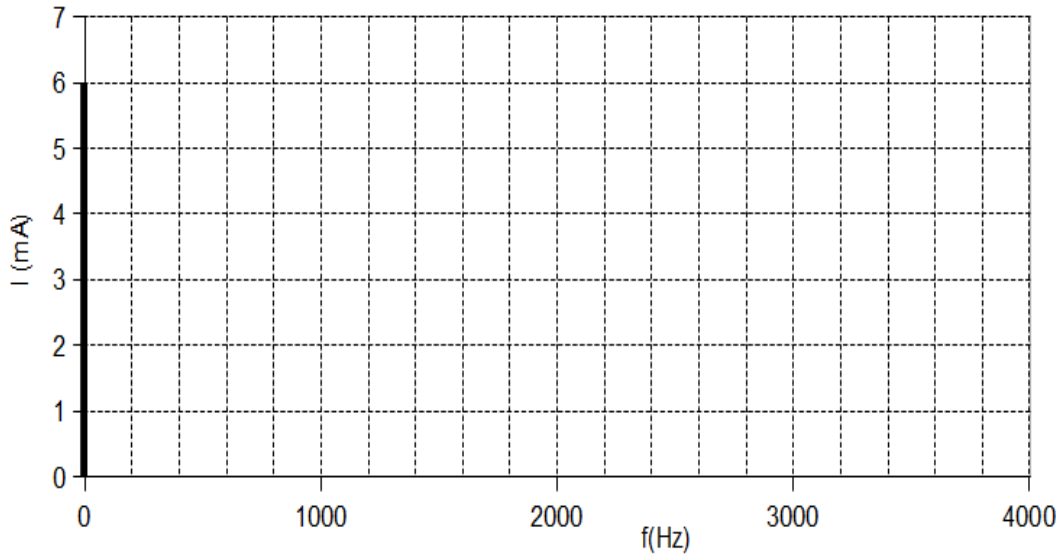


**DOCUMENT RÉPONSE 3**

$n$	0	1	2	3	5	6
$x_n$	10	15	20	25	25	25
$y_n$	20					

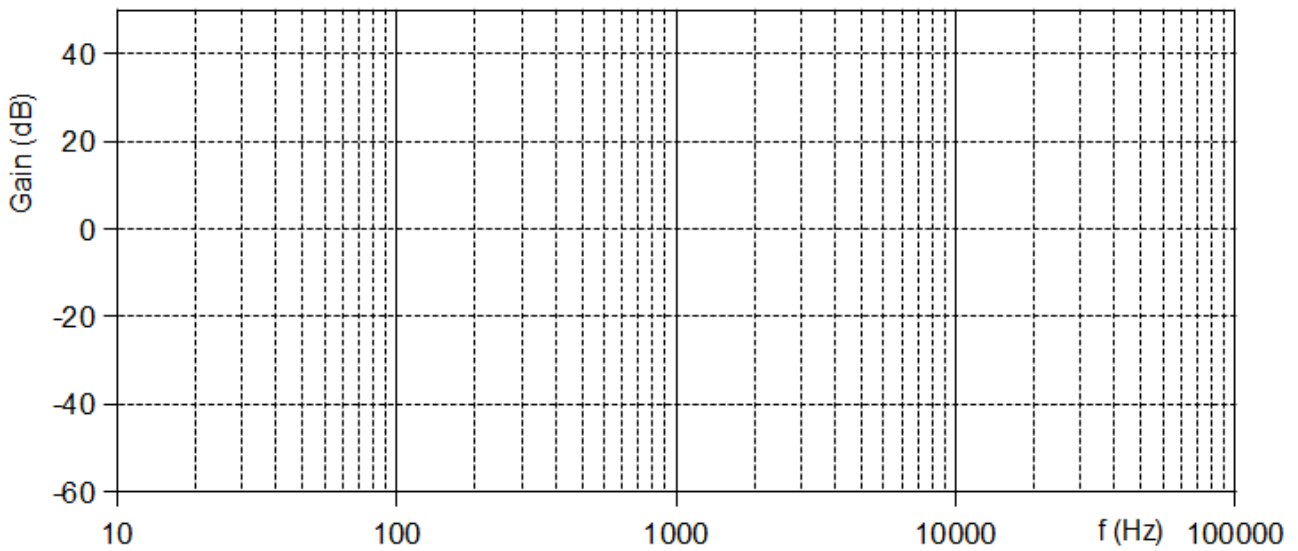
**DOCUMENT RÉPONSE 1**

Spectre en amplitude de I



**DOCUMENT RÉPONSE 2**

Diagramme de Bode du filtre

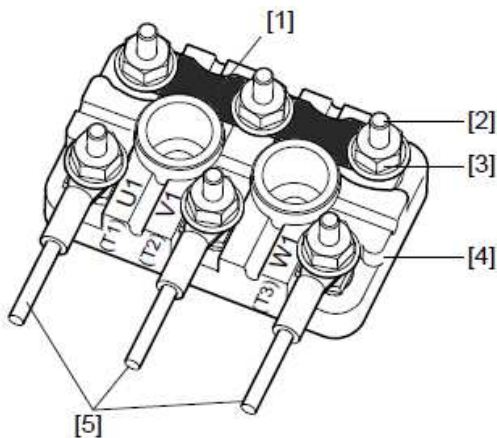


**DOCUMENT RÉPONSE 3**

$n$	0	1	2	3	5	6
$x_n$	10	15	20	25	25	25
$y_n$	20					

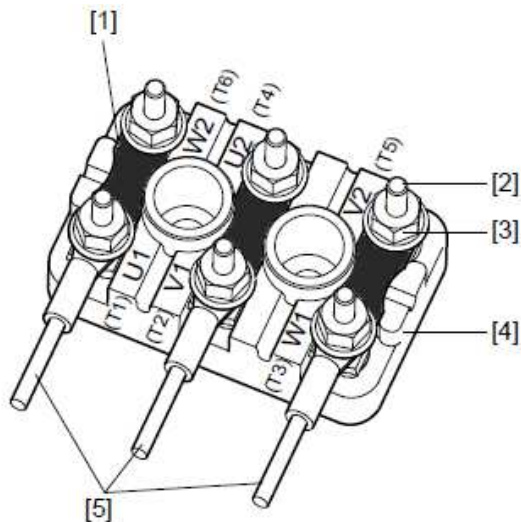
**DOCUMENT RÉPONSE 4**

Schéma N° 1



Couplage : .....

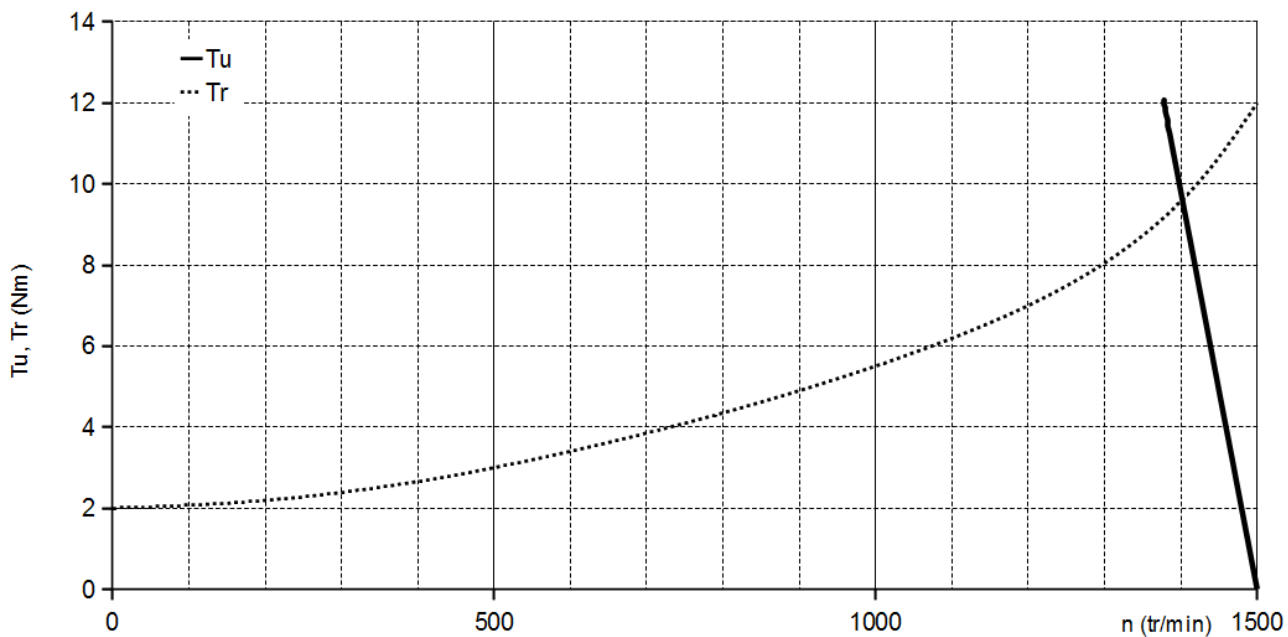
Schéma N° 2



Couplage : .....

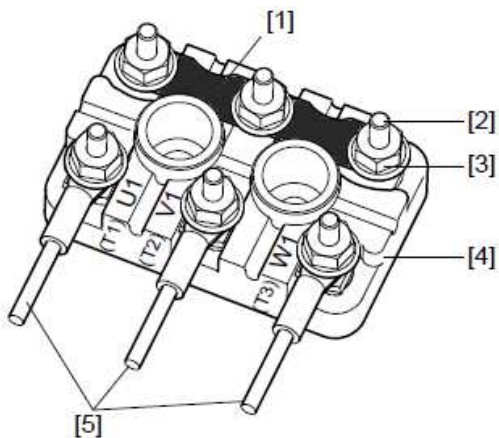
**DOCUMENT RÉPONSE 5**

Caractéristique mécanique du couple Moteur-Pompe



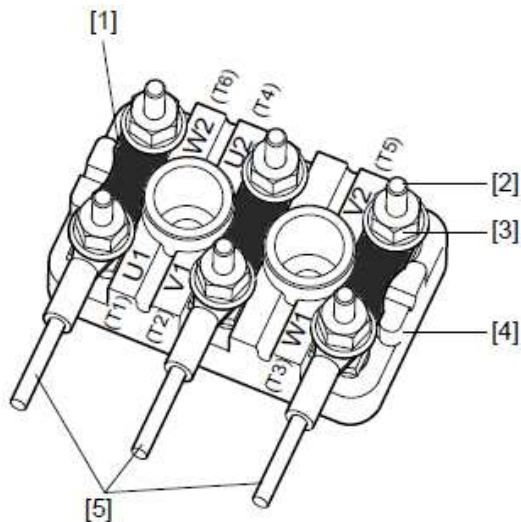
**DOCUMENT RÉPONSE 4**

Schéma N° 1



Couplage : .....

Schéma N° 2



Couplage : .....

**DOCUMENT RÉPONSE 5**

Caractéristique mécanique du couple Moteur-Pompe

