

# BREVET de TECHNICIEN SUPÉRIEUR

## CONTRÔLE INDUSTRIEL ET RÉGULATION AUTOMATIQUE

### U51 – Analyse physico-chimique d'un procédé et de son environnement

SESSION 2021

*Durée : 3 heures*

*Coefficient : 4*

#### Matériel autorisé :

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collègue » est autorisé.

**Aucun document autorisé.**

**Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.**

**Le sujet se compose de 18 pages, numérotées de 1/18 à 18/18.**

#### Documents à rendre avec la copie :

documents réponses 1, 2 et 3

pages 16/18, 17/18 et 18/18.

**La qualité de la rédaction, la structuration de l'argumentation et la rigueur des calculs seront valorisés.**

**S'il apparaît au candidat qu'une donnée est manquante ou erronée, il pourra formuler toutes les hypothèses qu'il jugera nécessaires pour résoudre les questions posées. Il justifiera, alors, clairement et précisément ces hypothèses.**

BTS CONTRÔLE INDUSTRIEL ET RÉGULATION AUTOMATIQUE		Session 2021
Analyse physico-chimique d'un procédé et de son environnement	Code : CA51PHC	Page 1/18

## Fabrication de la gomme de Xanthane

Souche de Xanthomonas campestris
Culture
Fermentation
Stérilisation
Précipitation à l'alcool
Essorage
Lavage à l'alcool
Pressage
Séchage
Broyage
Produit fini

Dans le domaine agroalimentaire, le recours à des additifs alimentaires est fréquent, notamment pour obtenir des propriétés épaississantes et stabilisantes.

La gomme xanthane ( $C_{35}H_{49}O_{29}$  de masse molaire  $934 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ) fait partie de ces catégories de produits. Elle est obtenue par l'action fermentative d'une bactérie, la *Xanthomonas campestris*.

Le sujet d'étude porte sur la phase de fermentation du processus de fabrication (voir ci-contre).

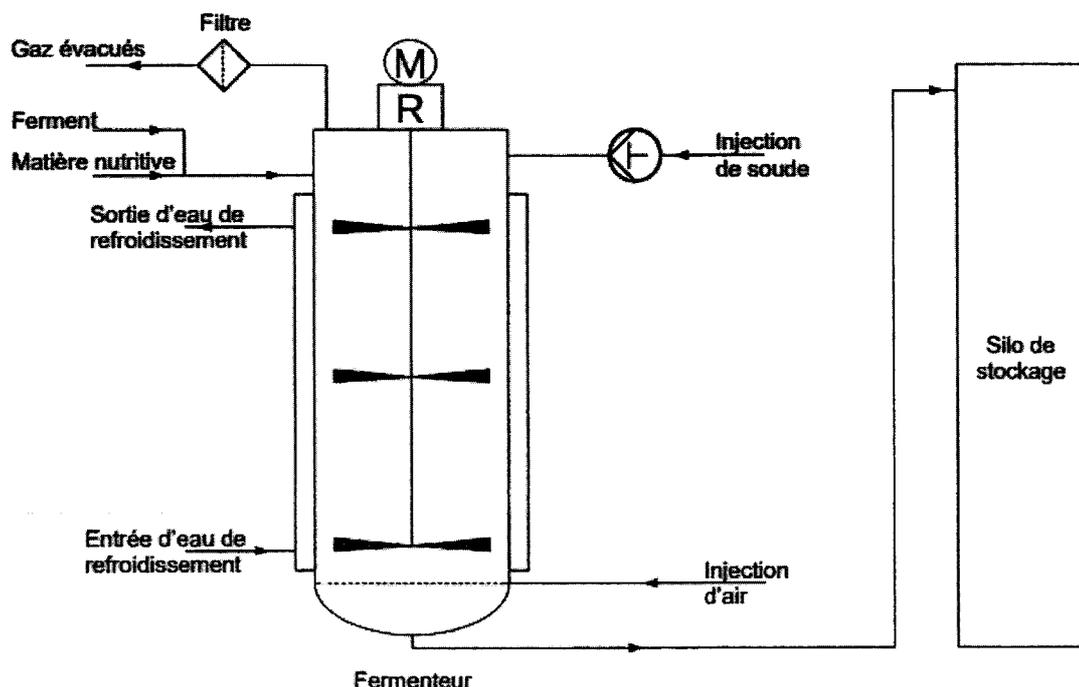
Dans l'étape de fermentation, on produit  $100 \text{ m}^3$  de produit à partir de  $10 \text{ m}^3$  de ferment, issu de la culture et de  $80 \text{ m}^3$  de matière nutritive. A l'épuisement des substances nutritives, la fermentation est achevée.

Un cycle de production dure 35 h.

La phase de fermentation nécessite :

- un apport d'air dont le débit est contrôlé, afin de maintenir le développement de la bactérie ;
- un refroidissement, la réaction étant exothermique ;
- un maintien de pression en tête de fermenteur afin que la pression partielle exercée facilite le transfert d'oxygène à la bactérie, et que la surpression protège du risque de contamination de l'extérieur vers l'intérieur du fermenteur ;
- une correction du pH, la fermentation créant une acidification du produit ;
- une agitation permanente, permettant de diviser les bulles de dioxygène, d'améliorer le contact avec les bactéries et de faire varier la viscosité.

Schéma de principe de l'installation :



BTS CONTRÔLE INDUSTRIEL ET RÉGULATION AUTOMATIQUE		Session 2021
Analyse physico-chimique d'un procédé et de son environnement	Code : CA51PHC	Page 2/18

## Partie A - Étude de la motorisation de l'agitateur

Un moteur asynchrone triphasé est relié à un agitateur à pales plongées dans la cuve de fermentation par l'intermédiaire d'un réducteur de vitesse de rapport  $r$ . L'ensemble moteur-réducteur est appelé motoréducteur.

Ce motoréducteur est relié à un variateur de vitesse qui communique avec un automate industriel.

Les questions suivantes ont pour objectif de montrer que vous vous êtes bien approprié le fonctionnement du procédé régissant la motorisation de l'agitateur en exploitant les **documents A1 à A5**.

L'agitateur est entraîné par le motoréducteur de rapport de réduction  $r$ . A une fréquence d'alimentation  $f_1 = 50$  Hz, le moteur tourne à la fréquence de rotation nominale  $n_1 = 1489$  tr·min<sup>-1</sup> et la vitesse de l'agitateur est de 60 tr·min<sup>-1</sup>.

- Q1.** En déduire la valeur du rapport de réduction  $r$ .
- Q2.** Déterminer le couplage du moteur asynchrone à réaliser en justifiant votre choix, puis compléter le schéma du **document réponse 1**.

Le variateur de vitesse alimente le moteur asynchrone triphasé. Il délivre un système de tensions triphasées dont les valeurs efficaces de la tension composée  $U$  et la fréquence  $f$  sont réglables telles que le rapport  $\frac{U}{f}$  reste constant.

- Q3.** Le variateur de vitesse schématisé sur le **document A3** est modélisé par 3 blocs. Les blocs 1 et 3 sont des convertisseurs statiques. Indiquer le nom de ces convertisseurs et préciser la conversion qu'ils réalisent. Quel est l'intérêt d'associer ces deux convertisseurs ? Indiquer la fonction du bloc 2.
- Q4.** Le choix du variateur de vitesse se fait de façon à ce que la puissance utile nominale du moteur corresponde à celle du variateur lorsque l'installation fonctionne sans surcharge. En vous appuyant sur le **document A4**, donner le code-type du variateur adapté à l'agitateur en justifiant votre réponse. Quel est alors le courant disponible en permanence pour un fonctionnement sans surcharge ? Est-ce suffisant pour un fonctionnement normal du moteur sans surcharge ?

BTS CONTRÔLE INDUSTRIEL ET RÉGULATION AUTOMATIQUE		Session 2021
Analyse physico-chimique d'un procédé et de son environnement	Code : CA51PHC	Page 3/18

Pour une vitesse de l'agitateur de  $60 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$ , la fréquence  $f_1$  est de 50 Hz. Le tracé de la caractéristique à  $f_1 = 50 \text{ Hz}$ , assimilé à une droite, est donné sur le **document réponse 2**.

- Q5.** On désire diminuer la vitesse d'agitation. Le moteur est alors alimenté à une fréquence  $f_2 = 33,3 \text{ Hz}$ . Déterminer la nouvelle valeur efficace  $U_2$  de la tension composée. Calculer la fréquence de synchronisme  $n_{s2}$  correspondant à la fréquence  $f_2$ . Tracer la nouvelle caractéristique correspondant à cette fréquence  $f_2$  sur le **document réponse 2** en détaillant la méthode employée. En déduire la nouvelle fréquence de rotation du moteur.

Les variateurs de vitesse peuvent générer des courants harmoniques qui, sans dispositif de protection spécifique, entraînent un vieillissement prématuré du moteur.

L'allure du courant absorbé par le variateur et son spectre harmonique sont représentés sur le **document A5**.

- Q6.** À partir de la représentation fréquentielle, préciser ce qui montre que le courant absorbé par le réseau n'est pas purement sinusoïdal.

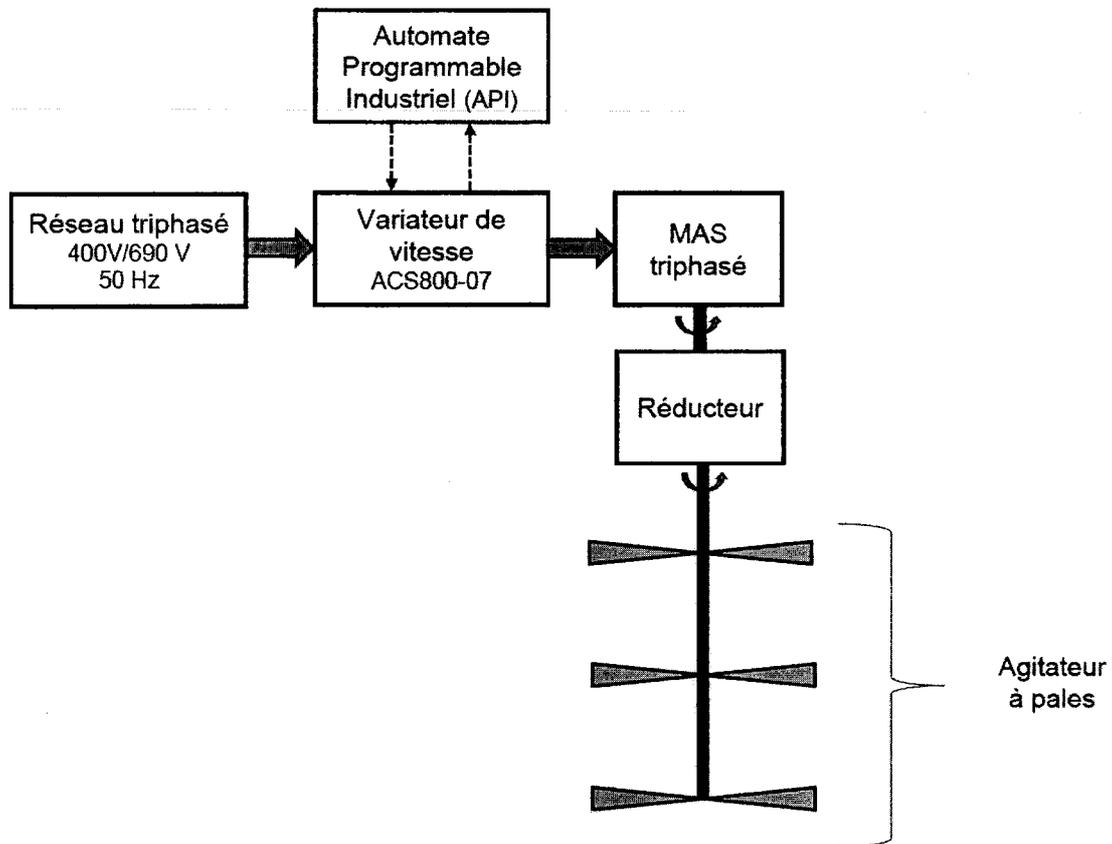
Compléter le tableau du **document réponse 3** en indiquant les fréquences et les amplitudes des trois premières raies d'amplitude non nulle du spectre.

Le taux de distorsion harmonique  $THD$  du signal est de 40 %. Expliquer ce que signifie un  $THD = 0$ . Quelle information fournit le  $THD$  sur la nature du signal ?

On rappelle que  $THD = \frac{\sqrt{A_2^2 + A_3^2 + A_4^2 + \dots}}{A_1}$  avec  $A_1, A_2, A_3, A_4 \dots$  étant les amplitudes des harmoniques d'ordre 1, 2, 3, 4 ...

BTS CONTRÔLE INDUSTRIEL ET RÉGULATION AUTOMATIQUE		Session 2021
Analyse physico-chimique d'un procédé et de son environnement	Code : CA51PHC	Page 4/18

**Document A1 :**

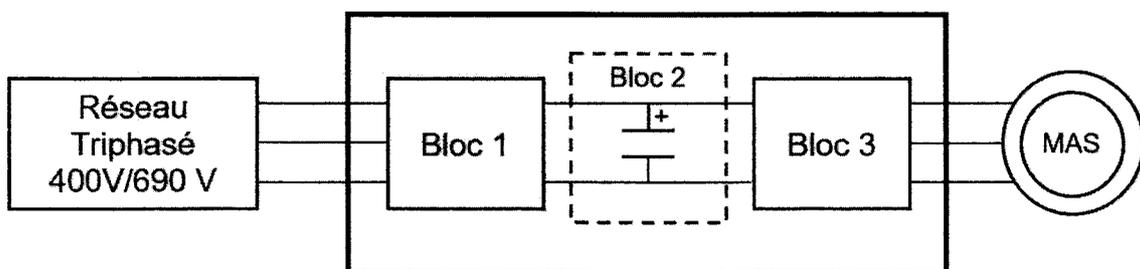


**Document A2 :**

L'usine est alimentée par un réseau triphasé 400 V / 690 V – 50 Hz.

Caractéristiques nominales du moteur	
Moteur asynchrone tétrapolaire triphasé	
560 kW	1489 tr·min <sup>-1</sup>
400 / 690 V	50 Hz
930 / 535 A	Cos φ = 0,94

**Document A3 : Schéma simplifié du variateur de vitesse**



**Document A4 :**

**Extrait du catalogue ABB sur les variateurs de fréquence basse tension ACS800**

Valeurs nominales		Utilisation sans surch.	Utilisation faible surcharge		Utilisation intensive		Niveau sonore	Dissipation thermique	Débit d'air	Code type
$I_{cont,maxi}$ A	$I_{maxi}$ A		$P_{cont,maxi}$ kW	$I_N$ A	$P_N$ kW	$I_{int}$ A				
<b><math>U_N = 400\text{ V}</math> (Plage 380-415 V). Valeurs nominales de puissance valables sous tension nominale 400 V</b>										
145	170	75	141	75	100	45	65	1,44	405	ACS800-07-0075-3
166	202	90	155	75	115	55	63	1,94	405	ACS800-07-0100-3
202	282	110	184	90	141	75	63	2,31	405	ACS800-07-0120-3
225	326	110	220	110	163	90	65	2,81	405	ACS800-07-0135-3
260	326	132	254	132	215	110	65	3,26	405	ACS800-07-0165-3
290	351	160	285	160	234	132	65	4,20	405	ACS800-07-0205-3
445	588	200	440	200	340	160	72	6,60	1220	ACS800-07-0260-3
521	588	250	516	250	370	200	72	7,15	1220	ACS800-07-0320-3
602	840	315	590	315	477	250	72	8,10	1220	ACS800-07-0400-3
693	1017	355	679	355	590 <sup>1)</sup>	315	72	8,65	1220	ACS800-07-0440-3
720	1017	400	704	400	635 <sup>2)</sup>	355	72	9,00	1220	ACS800-07-0490-3
879	1315	500	844	500	657	400	73	13,0	3120	ACS800-07-0610-3
1111	1521	630	1067	630	831	450	74	17,2	3840	ACS800-07-0770-3
1255	1877	710	1205	710	939	500	74	18,5	3840	ACS800-07-0870-3
1452	1988	800	1394	800	1086	630	74	23,9	3840	ACS800-07-1030-3
1770	2648	1000	1699	1000	1324	710	75	27,5	5040	ACS800-07-1230-3
2156	2951	1200	2070	1200	1613	900	76	35,4	5760	ACS800-07-1540-3
2663	3894	1450	2556	1450	1992	1120	76	42,7	6960	ACS800-07-1850-3

Valeurs nominales		Utilisation sans surch.	Utilisation faible surcharge		Utilisation intensive		Niveau sonore	Dissipation thermique	Débit d'air	Code type
$I_{cont,maxi}$ A	$I_{maxi}$ A		$P_{cont,maxi}$ kW	$I_N$ A	$P_N$ kW	$I_{int}$ A				
<b><math>U_N = 690\text{ V}</math> (Plage 525-690 V). Valeurs nominales de puissance valables sous tension nominale 690 V</b>										
79	104	75	73	55	54	45	63	1,22	405	ACS800-07-0070-7
93	124	90	86	75	62	55	63	1,65	405	ACS800-07-0100-7
113	172	110	108	90	86	75	65	1,96	405	ACS800-07-0120-7
134	190	132	125	110	95	90	65	2,66	405	ACS800-07-0145-7
166	245	160	155	132	131	110	65	3,47	405	ACS800-07-0175-7
190	245	160	180	160	147	132	65	4,18	405	ACS800-07-0205-7
175/230 <sup>3)</sup>	326	160/200 <sup>3)</sup>	175/212 <sup>3)</sup>	160/200 <sup>3)</sup>	163	160	71	4,80	540	ACS800-07-0260-7
315	433	315	290	250	216	200	72	6,15	1220	ACS800-07-0320-7
353	548	355	344	315	274	250	72	6,65	1220	ACS800-07-0400-7
396	656	400	387	355	328	315	72	7,40	1220	ACS800-07-0440-7
445	775	450	426	400	387	355	72	8,45	1220	ACS800-07-0490-7
488	853	500	482	450	426	400	72	8,30	1220	ACS800-07-0550-7
560	964	560	537	500	482	450	72	9,75	1220	ACS800-07-0610-7
628	939	630	603	630	470	500	73	13,9	3120	ACS800-07-0750-7
729	1091	710	700	710	545	560	73	17,1	3120	ACS800-07-0870-7
885	1324	800	850	800	662	630	73	18,4	3120	ACS800-07-1060-7
953	1426	900	915	900	713	710	74	20,8	3840	ACS800-07-1160-7
1258	1882	1200	1208	1200	941	900	75	27,0	5040	ACS800-07-1500-7
1414	2115	1400	1357	1400	1058	1000	75	32,5	5040	ACS800-07-1740-7
1774	2654	1700	1703	1700	1327	1250	76	40,1	6240	ACS800-07-2120-7
1866	2792	1900	1791	1800	1396	1400	76	43,3	6960	ACS800-07-2320-7
2321	3472	2300	2228	2200	1736	1600	77	51,5	8160	ACS800-07-2900-7
2665	3987	2600	2558	2500	1993	1900	78	58,0	9360	ACS800-07-3190-7
2770	4144	2800	2659	2700	2072	2100	78	63,6	10080	ACS800-07-3490-7

**Valeurs nominales :**

$I_{cont,maxi}$  : courant disponible en permanence à 40 °C sans capacité de surcharge  
 $I_{maxi}$  : courant de sortie maxi disponible pendant 10 s au démarrage ou aussi longtemps que la température du variateur le permet.  
 N.B. : la puissance maxi à l'arbre moteur est 150 %  $P_{int}$ .

**Valeurs types :**

Utilisation sans surcharge  
 $P_{cont,maxi}$  : puissance moteur typique en utilisation sans surcharge

**Utilisation faible surcharge**

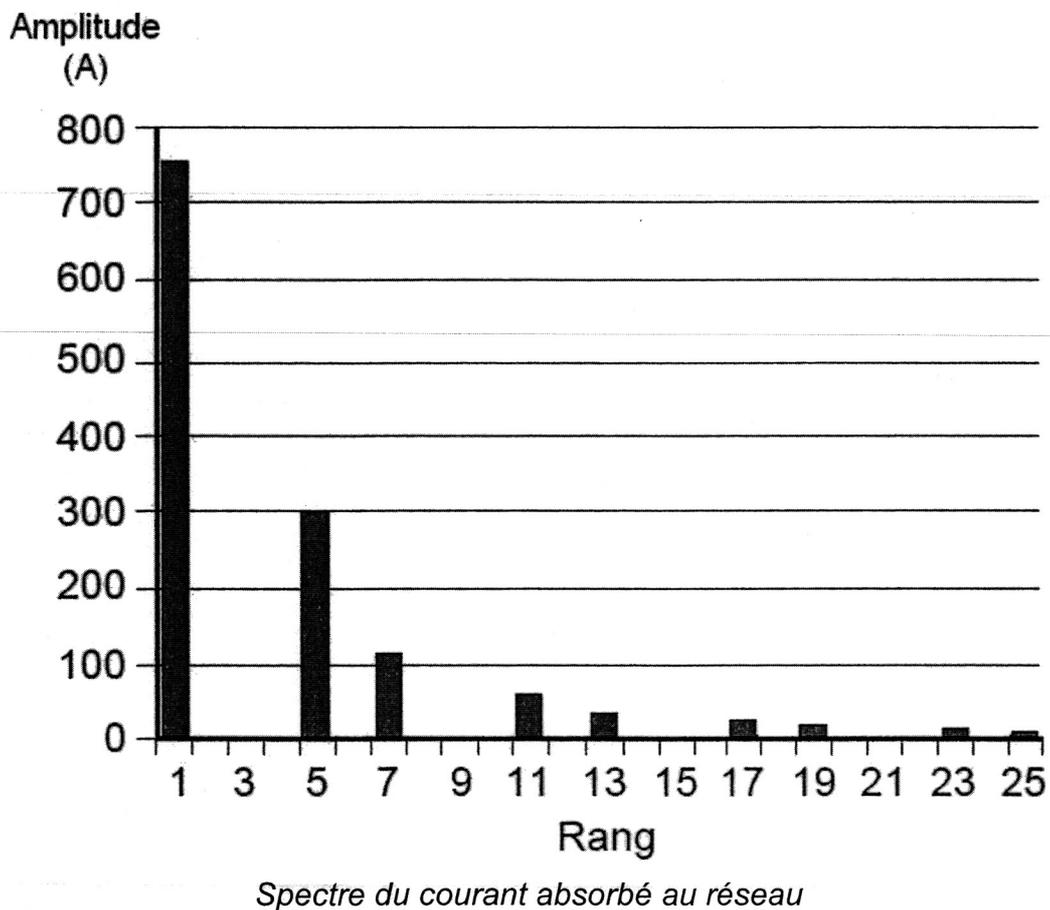
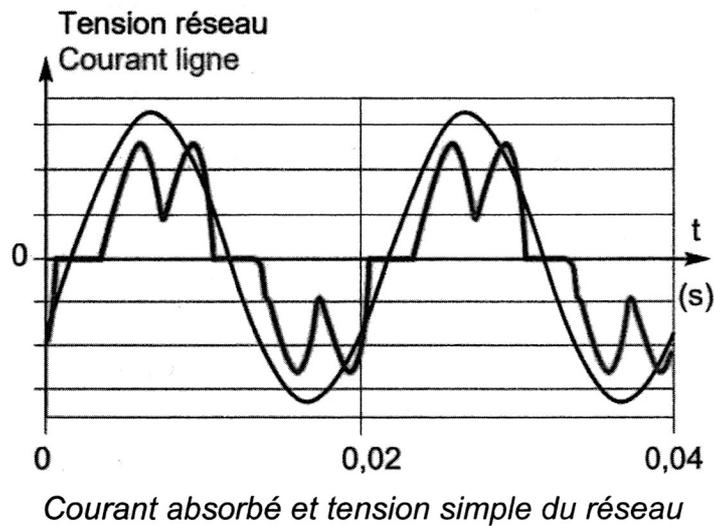
$I_N$  : courant permanent autorisant une surcharge de 110 %  $I_N$  pendant 1 min toutes les 5 min à 40 °C.  
 $P_N$  : puissance moteur typique avec faible surcharge

**Utilisation intensive**

$I_{int}$  : courant permanent autorisant une surcharge de 150 %  $I_{int}$  pendant 1 min toutes les 5 min à 40 °C.  
 $P_{int}$  : puissance moteur typique en utilisation intensive

**Document A5 :**

**Extrait du Cahier technique n° 204 - Protections BT et variateurs de vitesse (convertisseurs de fréquence) - Schneider Electric**

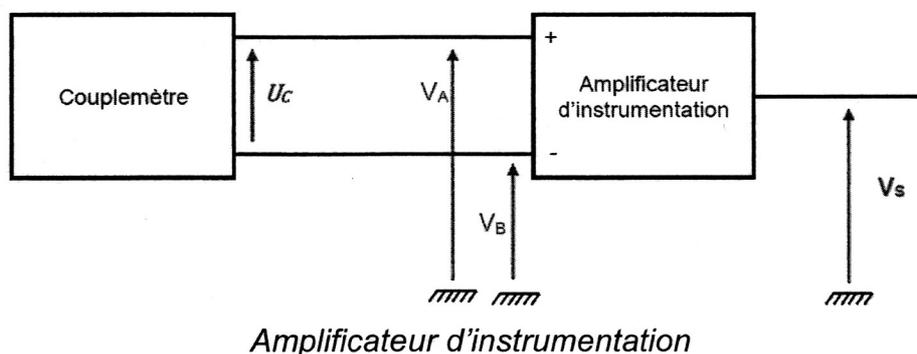


## Partie B - Mesure du couple

La production du Xanthane nécessite une agitation permanente car la viscosité augmente au cours du processus de fermentation. Afin d'obtenir une image de cette viscosité, on mesure le couple utile fourni par le moteur dont l'arbre est relié à l'agitateur plongé dans le fermenteur par l'intermédiaire du réducteur. On obtient ainsi une tension  $U_C$  proportionnelle au couple et donc proportionnelle à la viscosité dynamique telle que  $U_C = 5,71 \times 10^{-7} \times \eta$ , avec  $\eta$  viscosité en centipoise (cPo) et  $U_C$  tension en sortie du couplemètre en volts.

(1 cPo =  $1 \times 10^{-3}$  Pa·s)

Un amplificateur d'instrumentation amplifie le signal  $U_C$  délivré par un capteur de force pour lui donner un niveau compatible avec l'automate qui va prendre en charge la mesure.



- Q7.** On sait que pour l'amplificateur d'instrumentation utilisé, la valeur de l'amplification différentielle  $A_D = 500$  et que le  $TRMC = 120$  dB. En déduire que la valeur de l'amplification en mode commun  $A_{MC}$  vaut  $A_{MC} = 5 \times 10^{-4}$  en vous appuyant sur le **document B1**.

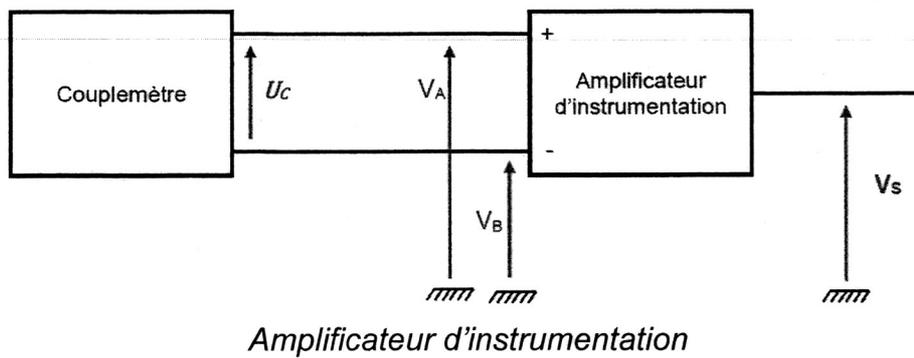
Calculer la valeur de la tension de sortie pour des valeurs :  $V_A = 5,002$  V et  $V_B = 4,998$  V. Si on suppose que dans le cas idéal  $V_S$  ne dépend que de la tension différentielle  $U_D$ , quelle est alors l'erreur introduite par la tension de mode commun ?

Préciser si la valeur de l'amplification en mode commun  $A_{MC}$  augmente, diminue ou reste constante lorsque le  $TRMC$  augmente.  
En déduire s'il est préférable d'avoir un  $TRMC$  élevé ou faible. Justifier la réponse.

- Q8.** Pour une viscosité de 7000 centipoise, on obtient une tension  $U_C = 4 \times 10^{-3}$  V. Quelle serait la valeur de la tension de sortie  $V_S$  d'un amplificateur d'instrumentation parfait ?

BTS CONTRÔLE INDUSTRIEL ET RÉGULATION AUTOMATIQUE		Session 2021
Analyse physico-chimique d'un procédé et de son environnement	Code : CA51PHC	Page 8/18

## Document B1 :



On rappelle que la tension de sortie d'un amplificateur d'instrumentation s'exprime par la relation suivante :

$$V_S = A_D U_D + A_{MC} U_{MC} = A_D (V_A - V_B) + A_{MC} \left( \frac{V_A + V_B}{2} \right)$$

où :

- $A_D$  est l'amplification différentielle,
- $A_{MC}$  est l'amplification de mode commun,
- $U_D = V_A - V_B$  est la tension différentielle,
- $U_{MC} = \left( \frac{V_A + V_B}{2} \right)$  est la tension de mode commun.

Le taux de réjection de mode commun (TRMC) de l'amplificateur d'instrumentation est donné par la relation  $TRMC = 20 \times \log \left( \frac{A_D}{A_{MC}} \right)$

## Partie C - Importance de l'agitation dans la phase de vidange du fermenteur

A l'issue de la fermentation, les 100 m<sup>3</sup> de mélange sont transférés vers le silo de stockage en 40 min par une canalisation DN150. Ce transfert est obtenu par augmentation de pression en tête de fermenteur, le silo de stockage étant à pression atmosphérique.

La canalisation permettant cette vidange relie le pied du fermenteur à la tête du silo de stockage située 15 m plus haut.

En terme de pertes de charge singulières et régulières, la canalisation de vidange et ses accessoires (vannes, coudes, etc.) correspond à une longueur totale  $L_{totale} = 100$  m.

**Q9.** Montrer que la vitesse d'écoulement du mélange dans la canalisation est de l'ordre de 2 m·s<sup>-1</sup>.

**Q10.** A l'aide des documents C1 et C3, justifier alors que le régime d'écoulement est laminaire.

***Il incombe au candidat de passer le temps nécessaire à l'élaboration de la réponse à la question suivante. La qualité de rédaction, la structuration de l'argumentation et la rigueur des calculs seront valorisées ainsi que les prises d'initiatives même si elles n'aboutissent pas. Il convient donc que celles-ci apparaissent sur la copie.***

**Q11.** A l'aide des documents C1, C2 et C3, montrer que, en début de vidange, la surpression nécessaire à exercer dans le fermenteur pour permettre l'écoulement vers le silo de stockage devrait être supérieure à 20 bars de surpression. On prendra comme nombre de Reynolds  $R_e = 42$  et on négligera les termes de vitesse dans la relation de Bernoulli.

**Q12.** A l'aide des documents C1 et C4, expliquer sans calcul pourquoi une agitation contrôlée pendant la phase de vidange permet de faire baisser largement la surpression nécessaire pour réaliser l'écoulement vers le silo de stockage.

BTS CONTRÔLE INDUSTRIEL ET RÉGULATION AUTOMATIQUE		Session 2021
Analyse physico-chimique d'un procédé et de son environnement	Code : CA51PHC	Page 10/18

### Document C1 : caractéristiques du mélange dans le fermenteur

- Masse volumique :  $\rho = 1,0 \times 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
- Viscosité dynamique :  $\eta = 7000 \text{ cPo}$  (centipoise) ; ( $1 \text{ cPo} = 1 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ )  
On rappelle que la viscosité de l'eau est d'environ 1 cPo
- Fluide rhéofluidifiant (voir **Document C4**)

### Document C2 : caractéristiques du procédé

- Diamètre de la canalisation DN150 : 150 mm
- Section d'une canalisation DN150 : environ 0,02 m<sup>2</sup>
- Niveau du liquide dans le fermenteur en début de vidange : 14 m
- Hauteur d'entrée de la canalisation de vidange dans le silo de stockage : 15 m au-dessus du pied du fermenteur
- Pression dans le fermenteur contrôlée par le débit d'air injecté
- Pression atmosphérique dans le silo de stockage

On prendra l'accélération de la pesanteur :  $g = 10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$

### Document C3 : rappels théoriques de mécanique des fluides

Nombre adimensionnel de Reynolds : $R_e = \frac{\rho v D}{\eta}$
Le régime est qualifié de laminaire si $R_e < 2000$ et de turbulent si $R_e > 2000$
Coefficient de pertes de charge en régime laminaire – formule de Hagen-Poiseuille : $\lambda = \frac{64}{R_e}$
Pertes de charges dans un écoulement – formule de Darcy-Weisbach : $\Delta p_{\text{pertes totales}} = \lambda \times \left(\frac{1}{2} \rho v^2\right) \times \left(\frac{L_{\text{totale}}}{D}\right)$
Théorème de Bernoulli généralisé : $p_A + \frac{1}{2} \rho v_A^2 + \rho g z_A + \Delta p_{\text{pompe}} = p_B + \frac{1}{2} \rho v_B^2 + \rho g z_B + \Delta p_{\text{pertes totales}}$

### Document C4 : fluides non-newtoniens

Un fluide est dit newtonien lorsque le lien entre vitesse de cisaillement et contrainte est linéaire ; le coefficient de proportionnalité entre les deux appelé viscosité est alors une constante.

Pour certains fluides appelés non-newtoniens, la viscosité n'est pas constante ; elle peut dépendre de la vitesse de cisaillement ou du temps.

On distingue plusieurs types de fluides non-newtoniens :

- les fluides rhéo-fluidifiants (ou pseudoplastiques) : leur viscosité diminue avec la vitesse de cisaillement ; c'est le cas du ketchup qui s'écoule d'autant plus facilement qu'on l'agite vite ;
- les fluides rhéo-épaississants : leur viscosité augmente avec la vitesse de cisaillement ; c'est le cas des sables mouvants dont la viscosité augmente d'autant plus qu'on les agite vite.

BTS CONTRÔLE INDUSTRIEL ET RÉGULATION AUTOMATIQUE		Session 2021
Analyse physico-chimique d'un procédé et de son environnement	Code : CA51PHC	Page 11/18

## Partie D - Dimensionnement de la pompe doseuse de soude

Au cours de la phase de fermentation, le dégagement de  $\text{CO}_2(\text{g})$  acidifie le milieu. Une injection de soude à 30 % massique par le biais d'une pompe doseuse à piston permet de maintenir le pH à une consigne de 6,5. La réaction étant exothermique, la température du mélange est contrôlée et maintenue à 31 °C.

La consommation de soude à 30 % est de 700 L au cours des 35 h de fermentation.

On cherche, dans cette partie, à déterminer le débit moyen de  $\text{CO}_2$  neutralisé par cet ajout de soude. Enfin, on cherche à comprendre l'un des effets de la neutralisation.

***Il incombe au candidat de passer le temps nécessaire à l'élaboration de la réponse à la question suivante. La qualité de rédaction, la structuration de l'argumentation et la rigueur des calculs seront valorisées ainsi que les prises d'initiatives même si elles n'aboutissent pas. Il convient donc que celles-ci apparaissent sur la copie.***

- Q13.** Montrer que le débit volumique moyen de soude est de l'ordre de  $20 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ . A l'aide du **document D1**, calculer alors le débit molaire moyen d'hydroxyde de sodium injecté.
- Q14.** A l'aide du **document D2**, écrire l'équation de la réaction de neutralisation du dioxyde de carbone par l'hydroxyde de sodium. Déduire de cette équation et du résultat de la question précédente le débit molaire moyen du dioxyde de carbone neutralisé.
- Q15.** A l'aide du **document D2**, tracer le diagramme de prédominance du couple  $\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O} / \text{HCO}_3^-$ . Lorsque la valeur du pH est égale à la valeur de consigne, commenter l'efficacité de la réaction de neutralisation pour diminuer le débit de  $\text{CO}_2$  gazeux sortant.

BTS CONTRÔLE INDUSTRIEL ET RÉGULATION AUTOMATIQUE		Session 2021
Analyse physico-chimique d'un procédé et de son environnement	Code : CA51PHC	Page 12/18

## Document D1 : caractéristiques de la solution de soude

- La soude ( $\text{Na}^+ + \text{HO}^-$ )<sub>(aq)</sub> est une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium  $\text{NaOH}_{(s)}$ .
- La solution de soude utilisée est à 30 % massique, c'est-à-dire que dans 100 g de solution de soude se trouve 30 g d'hydroxyde de sodium dissous.
- Masse volumique de solutions de soude à 20 °C suivant leur pourcentage massique.  
(Source : Caustic Soda Handbook - OXYCHEM)

Pourcentage massique en %	0	10	20	30	40	50
Masse volumique en $\text{kg}\cdot\text{L}^{-1}$	1,00	1,11	1,22	1,33	1,43	1,53

On considérera que ces valeurs restent valables à 31 °C.

- Masse molaire de l'hydroxyde de sodium  $\text{NaOH}$  :  $M = 40,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

## Document D2 : réaction de neutralisation

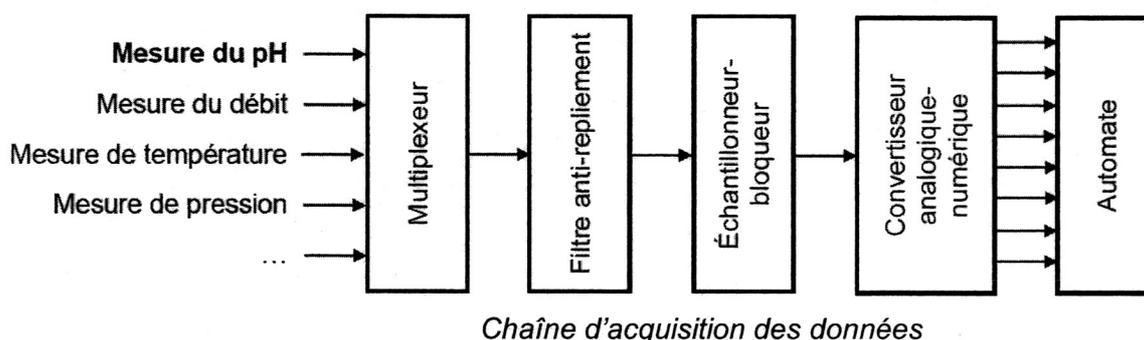
- Couple acide/base du dioxyde de carbone en solution :  
 $\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O} / \text{HCO}_3^-$  :  $pK_a = 6,32$  à 31 °C
- Couples acide/base de l'eau :  $\text{H}_3\text{O}^+ / \text{H}_2\text{O}$  et  $\text{H}_2\text{O} / \text{HO}^-$

## Partie E - Étude du module d'entrée analogique

Le module d'entrée analogique de l'automate servant à la mesure de pH possède plusieurs entrées multiplexées sur un convertisseur analogique numérique (CAN).

Il prend en charge :

- 1 capteur de pH :  
Type de signal : 4 - 20 mA – Précision de la mesure : 0,01 mA
- 1 capteur de débit  
Type de signal : 4 - 20 mA
- 2 capteurs de température :  
Type de signal : 4 - 20 mA
- 4 capteurs de pression :  
Type de signal 0 / 10 V



**Q16.** Quels sont les rôles du multiplexeur et de l'échantillonneur bloqueur composant la chaîne d'acquisition de donnée ?

Le **document E1** représente la courbe de gain en fonction de la fréquence du filtre anti-repliement.

**Q17.** En s'appuyant sur l'étude du **document E1**, déterminer en le justifiant le type de filtre, son ordre ainsi que sa fréquence de coupure à  $-3$  dB .

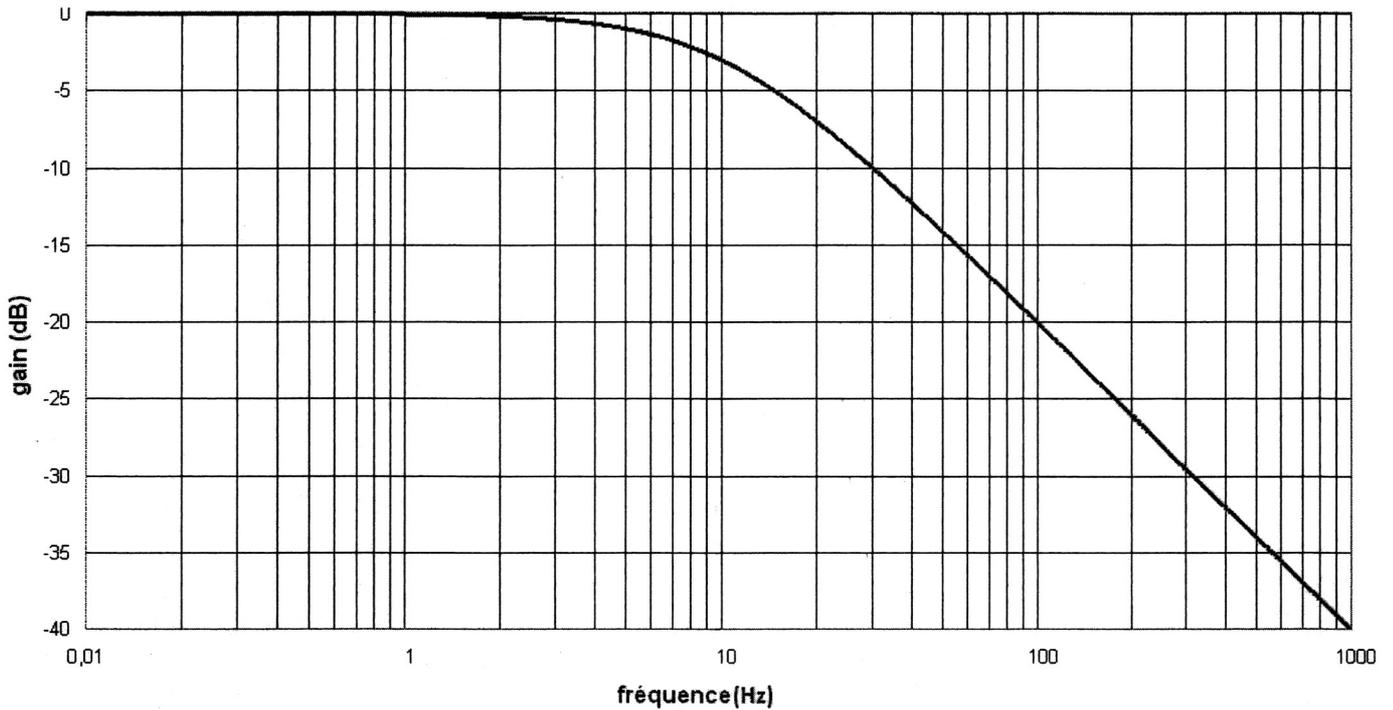
**Il incombe au candidat de passer le temps nécessaire à l'élaboration de la réponse à la question suivante. La qualité de rédaction, la structuration de l'argumentation et la rigueur des calculs seront valorisées ainsi que les prises d'initiative même si elles n'aboutissent pas. Il convient donc que celles-ci apparaissent sur la copie.**

**Q18.** Les caractéristiques de différents modules d'entrée analogiques pour l'automate sont données dans le **document E2**. Choisir le module d'entrée pouvant convenir et justifier ce choix. On pourra dans un premier temps déterminer le nombre de bits que doit posséder le convertisseur analogique-numérique pour que la précision associée à ce capteur soit respectée. Vérifier que la fréquence d'échantillonnage de la carte choisie respecte le théorème de Shannon.

BTS CONTRÔLE INDUSTRIEL ET RÉGULATION AUTOMATIQUE		Session 2021
Analyse physico-chimique d'un procédé et de son environnement	Code : CA51PHC	Page 14/18

**Document E1 :**

**Courbe de gain en fonction de la fréquence du filtre anti-repliement**



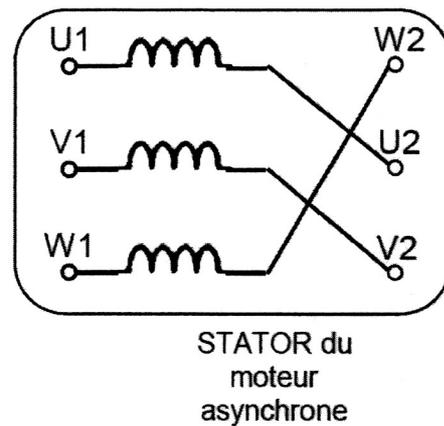
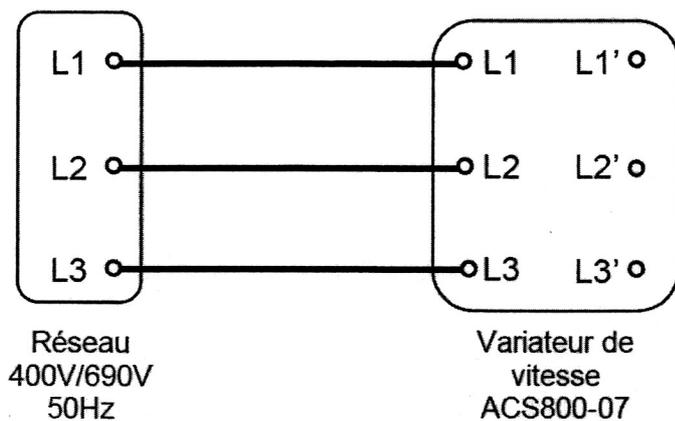
**Document E2 :**

**Caractéristiques de modules d'entrée analogique**

	<b>Module n°1</b>	<b>Module n°2</b>	<b>Module n°3</b>	<b>Module n°4</b>
Entrées analogiques	8	16	8	4
Type d'entrée analogique	0...20 mA 4...20 mA 0...10 V 0...5 V 1...5 V	0...20 mA 4...20 mA 0...10 V 0...5 V 1...5 V	0...20 mA 4...20 mA +/- 5 V +/- 10 V	0...20 mA 4...20 mA +/- 5 V +/- 10 V
Résolution du convertisseur analogique / numérique	10 bits	12 bits	12 bits	16 bits
Fréquence d'échantillonnage	10 kHz	1 kHz	20 kHz	20 kHz

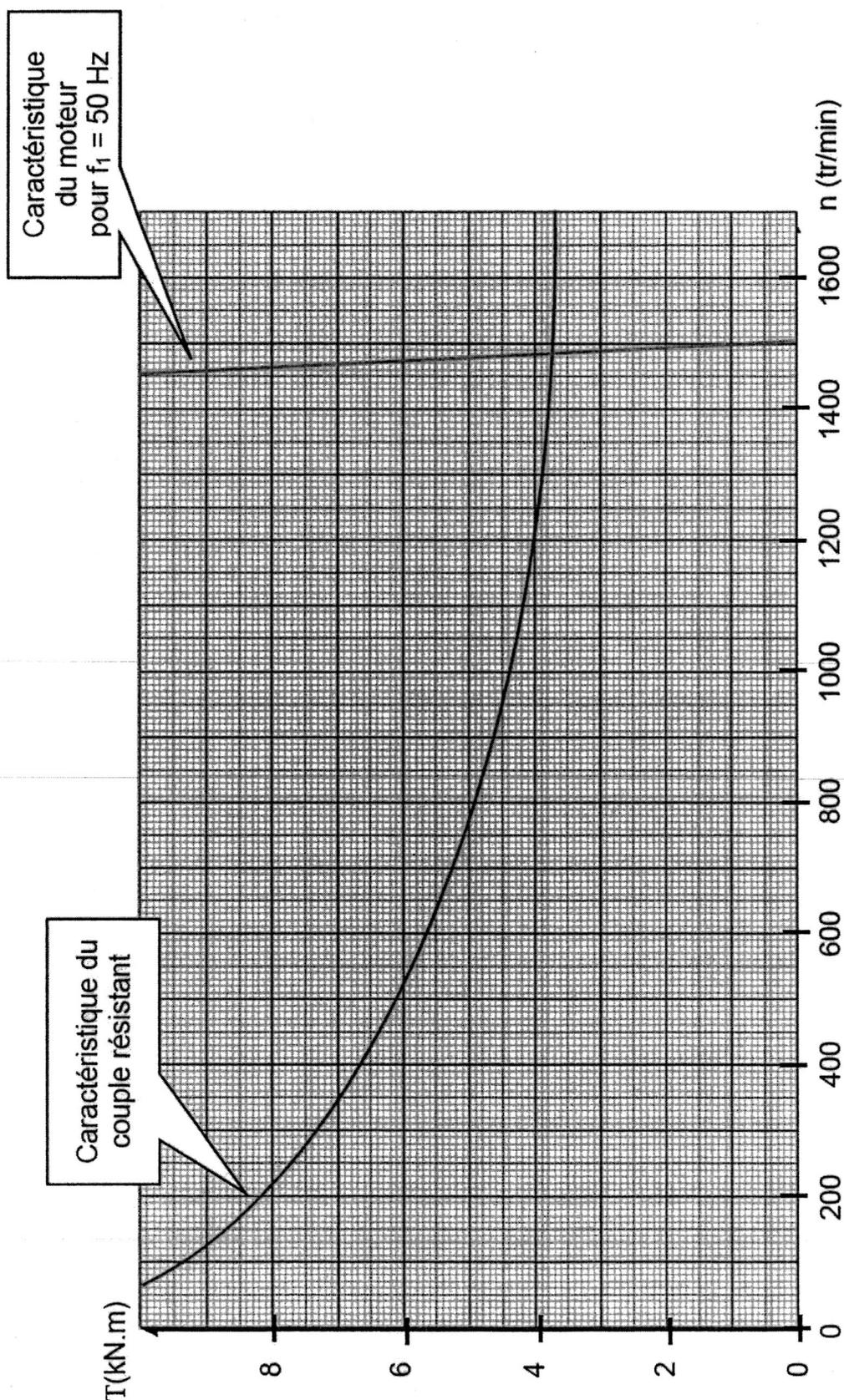
**Document réponse 1** (à rendre avec la copie)

**Couplage du moteur asynchrone**



**Document réponse 2 (à rendre avec la copie)**

**Caractéristiques mécaniques du moteur et du couple résistant**



**Document réponse 3 (à rendre avec la copie)**

<b>Rang de l'harmonique</b>	<b>Fréquence (Hz)</b>	<b>Amplitude (A)</b>