

BREVET de TECHNICIEN SUPÉRIEUR

**CONTRÔLE INDUSTRIEL et
RÉGULATION AUTOMATIQUE**

E3 Sciences Physiques

U-32 PHYSIQUE APPLIQUÉE

Durée : 2 heures

Coefficient : 2,5

=====

Avant de composer, assurez-vous que l'exemplaire qui vous a été remis est bien complet. Ce sujet comporte 10 pages numérotées de 1/10 à 10/10.

ATTENTION :

LE DOCUMENT RÉPONSE (pages 9 et 10) est fourni en double exemplaire, un exemplaire étant à remettre avec la copie ; l'autre servant de brouillon éventuel.

=====

***Aucun document autorisé.
Calculatrice réglementaire autorisée.
Tout autre matériel est interdit.***

SURVEILLANCE INCENDIE DU TUNNEL SOUS LA MANCHE

Le système **Eurotunnel** comporte deux tunnels ferroviaires encadrant un tunnel de service. Ces tunnels, longs de 50 km environ, dont 37 km sous la Manche, relient les terminaux de Coquelles dans le Pas de Calais et de Cheriton dans le Kent.

Le tunnel de service remplit trois fonctions de sécurité principales :

- assurer la ventilation normale des tunnels ;
- constituer un refuge sûr pour les voyageurs et les membres d'équipage, en toute circonstance ;
- permettre l'arrivée rapide des secours.

Le système de ventilation normale (**figure n° 1, page 7**) comprend deux centrales, l'une en France, l'autre en Angleterre. Chaque centrale comprend deux ventilateurs motorisés à pales à pas réglable, chacun étant capable de fournir la totalité du flux d'air.

Le système de détection incendie comporte 33 stations de détection par tunnel ferroviaire. Toutes les informations collectées sur ces stations sont transmises au centre de contrôle ferroviaire pour être supervisées. Chaque station de détection comporte :

- une détection de flamme au moyen de capteurs ultra violet et infra rouge ;
- une détection de fumée au moyen de capteurs optique et ionique ;
- un système de contrôle du monoxyde de carbone (CO) au moyen d'un détecteur de CO ;
- des buses d'aspiration situées en circonférence du tunnel permettant de diriger les gaz sur les cellules d'analyse des stations de détection.

Le sujet propose l'étude de quelques éléments faisant partie de l'installation.

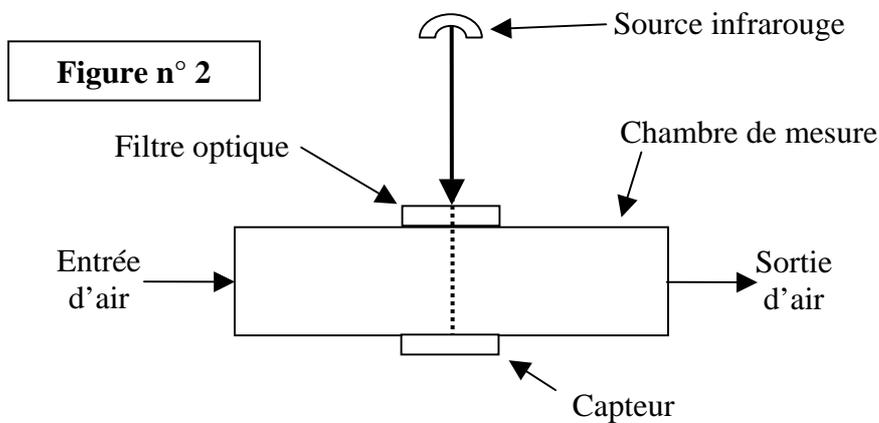
Les quatre parties du sujet sont indépendantes

PARTIE A : ÉTUDE DU DÉTECTEUR DE CO

Gaz inodore, incolore et inflammable, le monoxyde de carbone (CO) se forme lors de la combustion incomplète de matières organiques (gaz, charbon, fioul ou bois, carburants).

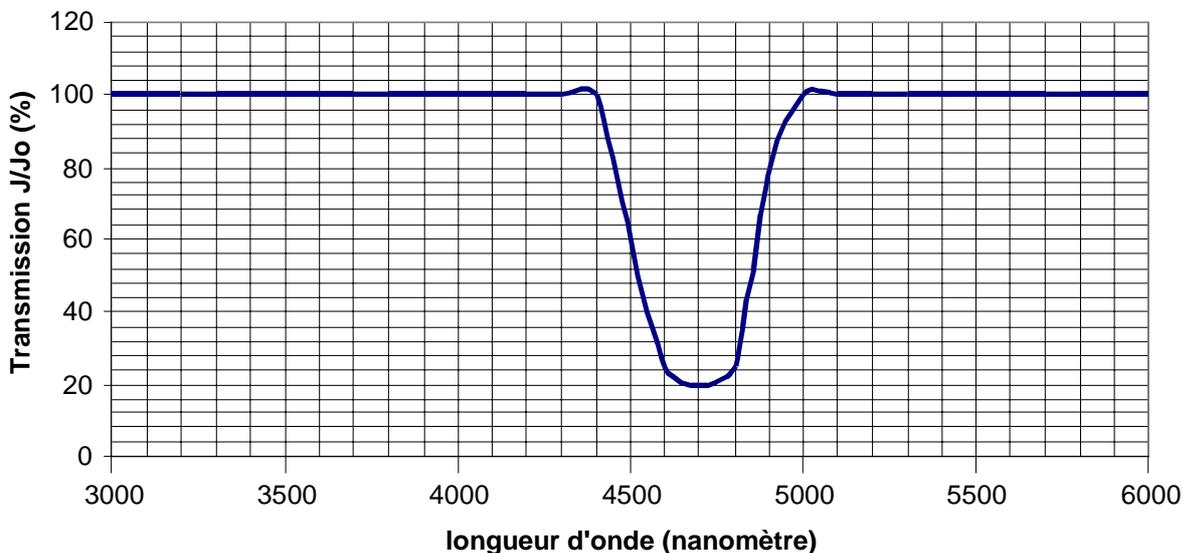
La source principale est le trafic automobile.

Le monoxyde de carbone contenu dans l'air absorbe le rayonnement infrarouge. La méthode de détection européenne de référence repose sur la mesure de son absorption, ainsi que sur le principe de la corrélation par filtre gazeux. Un rayonnement infrarouge d'intensité lumineuse J_0 , émis par un filament chauffé (source infrarouge), traverse un filtre optique monochromatique, une chambre de mesure puis est détecté par un capteur pyro électrique (**figure n° 2**).



On appelle J l'intensité lumineuse du rayon infrarouge détecté par le capteur. Le spectre du monoxyde de carbone est la représentation du rapport $\frac{J}{J_0}$, exprimé en %, en fonction de la longueur d'onde λ du rayonnement. Il est donné **figure n° 3**.

Figure n° 3



CAE3PA

Afin d'éviter toute confusion, nous appellerons I l'intensité du courant électrique continu délivré par le capteur.

On admettra que I est proportionnelle à l'intensité lumineuse J . L'intensité I dépend de la concentration C en monoxyde de carbone dans l'air. Dans les conditions normales de température et de pression, la concentration C est donnée par le relation (1) suivante :

$$C = 6,21 \cdot 10^2 \ln \left[\frac{I_0}{I} \right] \rightarrow \text{Relation (1)}$$

On désigne par :

- C : concentration de monoxyde de carbone exprimée en ppm (parties par million) ;
- I : Intensité, exprimée en mA, du courant de sortie (proportionnelle à l'intensité lumineuse J mesurée) ;
- I_0 : Intensité, exprimée en mA, de ce courant quand la concentration est nulle ;
- \ln : logarithme népérien.

QUESTIONS

- A.1.** En vous appuyant sur le spectre du monoxyde de carbone (**figure n°3 page 2**), quelle longueur d'onde λ doit-on utiliser pour détecter de manière optimale la présence de monoxyde de carbone ?
- A.2.** En déduire la fréquence f (en Hz) de l'onde lumineuse. On rappelle que $\lambda = cT$, avec :
- $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$;
 - T : période de l'onde lumineuse exprimée en seconde.
- A.3.** À partir de la relation (1), montrer que l'intensité du courant I s'écrit sous la forme suivante : $I = I_0 e^{-kC}$.
- A.4.** Donner la valeur du coefficient k , préciser son unité.
- A.5.** On donne $I_0 = 1 \text{ mA}$. En utilisant la relation établie précédemment, calculer l'intensité I du courant correspondant à une concentration en monoxyde de carbone de 200 ppm. On exprimera le résultat à 10^{-2} près.

CAE3PA

PARTIE B : TRAITEMENT DU SIGNAL

On supposera pour cette deuxième partie que l'intensité I du courant issu du détecteur de CO varie de 1,00 mA à 0,72 mA quand la concentration de CO varie de 0 ppm à 200 ppm.

B.1. Mise à l'échelle du signal

On considère le montage donné **figure 4 page 8** où la source de courant représentée correspond au détecteur étudié précédemment.

Les amplificateurs opérationnels, supposés parfaits, sont alimentés en +15V, -15V. Ces alimentations ne sont pas représentées sur le schéma.

On suppose que le courant circulant dans la résistance R a une intensité négligeable devant celle du courant circulant dans les résistances R_1 et R_2 .

QUESTIONS

- B.1.1.** Quel est le régime de fonctionnement des amplificateurs opérationnels ? Justifier votre réponse.
- B.1.2.** Exprimer la tension V_2 en fonction de V_1 , R_1 et R_2 .
- B.1.3.** Exprimer la tension V_2 en fonction de R et I .
- B.1.4.** En déduire l'expression de la tension V_1 en fonction de l'intensité I .
- B.1.5.** On donne $R_1 = R_2$ et $R = 5 \text{ k}\Omega$. Déterminer les valeurs extrêmes de la tension V_1 .
- B.1.6.** Exprimer $V_{E_2}^+$ en fonction de $V_{\text{réf}}$, R_3 et R_4 .
- B.1.7.** Exprimer $V_{E_2}^-$ en fonction de V , V_1 , R_3 et R_4 .
- B.1.8.** On pose $A = \frac{R_4}{R_3}$. Déduire des deux résultats précédents que la tension V peut se mettre sous la forme suivante : $V = A(V_{\text{réf}} - V_1)$
- B.1.9.** On souhaite obtenir $V = 0\text{V}$ pour $V_1 = 10\text{V}$ et $V = 10\text{V}$ pour $V_1 = 7,2\text{V}$. Déterminer les valeurs de l'amplification A ainsi que celle de la tension $V_{\text{réf}}$.

B.2. Mise en œuvre des alarmes

Le seuil des alarmes est fixé selon les valeurs de concentration en CO mesurées :

$0 < C < 50 \text{ ppm}$	→	Pas d'alarme
$50 \text{ ppm} < C < 100 \text{ ppm}$	→	Émettre 1 bip toutes les 2 secondes
$100 \text{ ppm} < C < 150 \text{ ppm}$	→	Émettre 1 bip toutes les secondes
$C > 150 \text{ ppm}$	→	Émettre 1 bip toutes les 1/2 secondes

QUESTIONS

- B.2.1.** Complétez la troisième et la quatrième ligne du **tableau n° 1** du **document-réponse page 10 (à rendre avec la copie)** en calculant les valeurs des tensions V_1 et V correspondant aux différents seuils d'alarme fixés. On prendra $V_{\text{réf}} = 10 \text{ V}$.
- B.2.2.** Quelle est la fréquence du signal sonore émis si la concentration en monoxyde de carbone est de 180 ppm.

PARTIE C : ÉTUDE DU SYSTÈME DE VENTILATION

Chaque ventilateur du tunnel de service est entraîné par un moteur asynchrone triphasé dont les caractéristiques nominales sont les suivantes :

$$1\ 900\text{V} / 3\ 300\text{V} ; 50\ \text{Hz} ; 390\ \text{kW} ; 147\text{A} / 85\text{A} ; 1\ 488\ \text{tr.min}^{-1} ; \cos \varphi = 0,85$$

Le moteur est alimenté par un réseau triphasé dont la tension entre phases vaut $U = 3\ 300\text{V}$.

QUESTIONS

- C.1. Déterminer le couplage des enroulements statoriques. Justifier votre réponse.
- C.2. Déterminer la fréquence de synchronisme n_s (en tr.min^{-1}) du moteur. Justifier votre réponse.
- C.3. Exprimer et calculer le nombre de pôles du stator.
- C.4. Exprimer et calculer le glissement g au régime nominal.
- C.5. Exprimer et calculer le moment du couple utile C_u au régime nominal.
- C.6. Exprimer et calculer la puissance électrique absorbée P_a au régime nominal.
- C.7. Exprimer et calculer le rendement η au régime nominal.
- C.8. Quand le moteur tourne à vide, quelles sont les valeurs du moment du couple utile et de la fréquence de rotation du rotor ?
- C.9. On considère que la caractéristique mécanique $C_u = f(n)$ du moteur asynchrone est rectiligne dans sa partie utile. La caractéristique mécanique $C_r = f(n)$ du ventilateur est tracée sur la **figure n° 5** du **document-réponse page 10**.
 - C.9.1. En vous appuyant sur les résultats précédents, tracer sur la **figure n° 5** du **document-réponse page 10** (*à rendre avec la copie*) la caractéristique mécanique du moteur dans sa partie utile.
 - C.9.2. Donner les caractéristiques du point de fonctionnement de l'association moteur-ventilateur.

PARTIE D : ÉTUDE DU SYSTÈME D'ACQUISITION DE DONNÉES

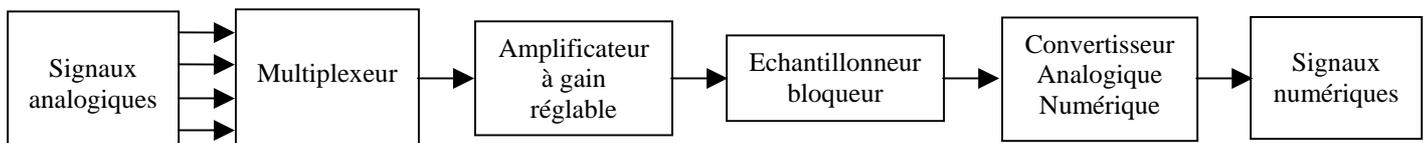
Le centre de contrôle ferroviaire récupère toutes les informations concernant l'état de fonctionnement du système de ventilation (mesures, alarmes, commandes,...). Les entrées/sorties caractéristiques d'une installation de base sont les suivantes :

- 3 actionneurs **tout ou rien** avec un temps de réponse de 300 ms ;
- 1 actionneur à commande analogique 0-5V ;
- 2 capteurs **tout ou rien** définis par :
 - fréquence maximale du signal : 10 Hz ;
 - signal issu du capteur : tension 0/+5V.
- 1 capteur transmetteur de débit d'air défini par :
 - signal issu du capteur transmetteur : courant continu dont l'intensité varie entre 4 et 20 mA ;
 - précision de mesure : 0,1 mA.
- 1 capteur de vitesse défini par :
 - Fréquence maximale du signal : 10 kHz ;
 - Signal issu du capteur : tension alternative dont l'amplitude est comprise entre -5V et +5V.

QUESTIONS

Les questions portent sur la carte d'acquisition/restitution de données.

D.1. L'architecture des entrées analogiques d'une carte d'acquisition est la suivante :



- D.1.1.** Pourquoi utilise-t-on un multiplexeur ?
- D.1.2.** Pourquoi est-il nécessaire de placer un échantillonneur bloqueur avant le convertisseur analogique numérique ?
- D.2.** Le capteur transmetteur de débit d'air délivre un courant continu dont l'intensité I_c varie entre 4 et 20 mA. On cherche à calculer le nombre de bits que doit posséder le convertisseur analogique numérique pour que la précision de mesure associée à ce capteur transmetteur soit respectée.
- D.2.1.** Définir l'étendue de mesure du courant ΔI_c du signal de sortie du capteur.
- D.2.2.** La résolution du convertisseur analogique numérique doit être aussi proche que possible de la précision de mesure du capteur. Calculer le nombre de combinaisons binaires minimales que doit avoir le convertisseur.
- D.2.3.** En déduire le nombre de bits qu'il serait bon de préconiser pour le CAN.
- D.3.** À partir des caractéristiques fréquentielles des entrées/sorties de l'installation, expliquer pourquoi la fréquence d'échantillonnage de la carte d'acquisition doit être supérieure ou égale à 20 kHz.
- D.4.** Le **tableau n° 2 page 8** regroupe les principales caractéristiques de trois cartes d'acquisition/restitution, nommées A, B et C. On vous demande de choisir la carte la mieux adaptée pour répondre à l'installation de base étudiée. Vous justifierez clairement votre choix en indiquant pourquoi les autres cartes ne conviennent pas.

Figure n° 1

Système de ventilation normal

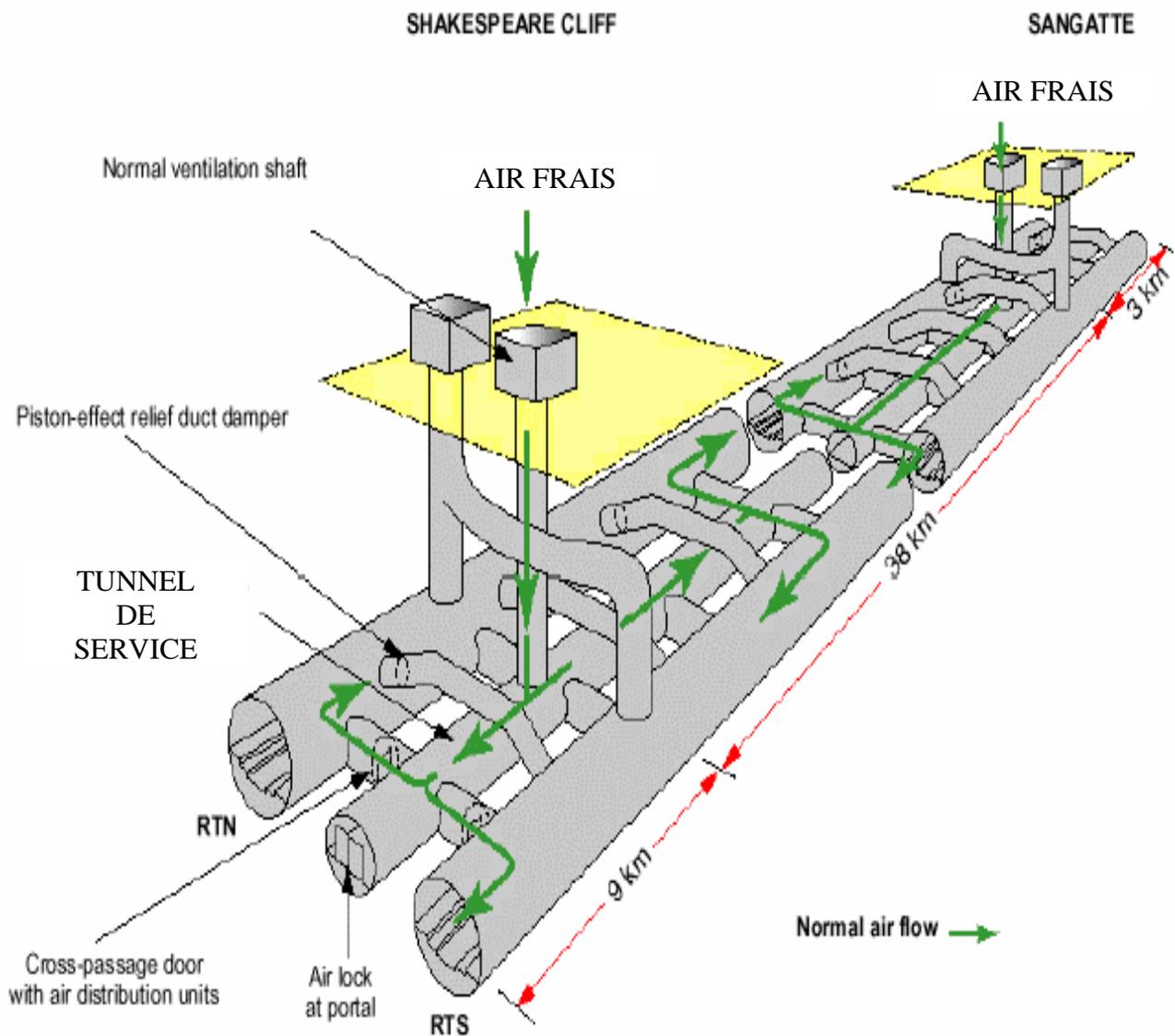


Figure n° 4

Mise à l'échelle du signal

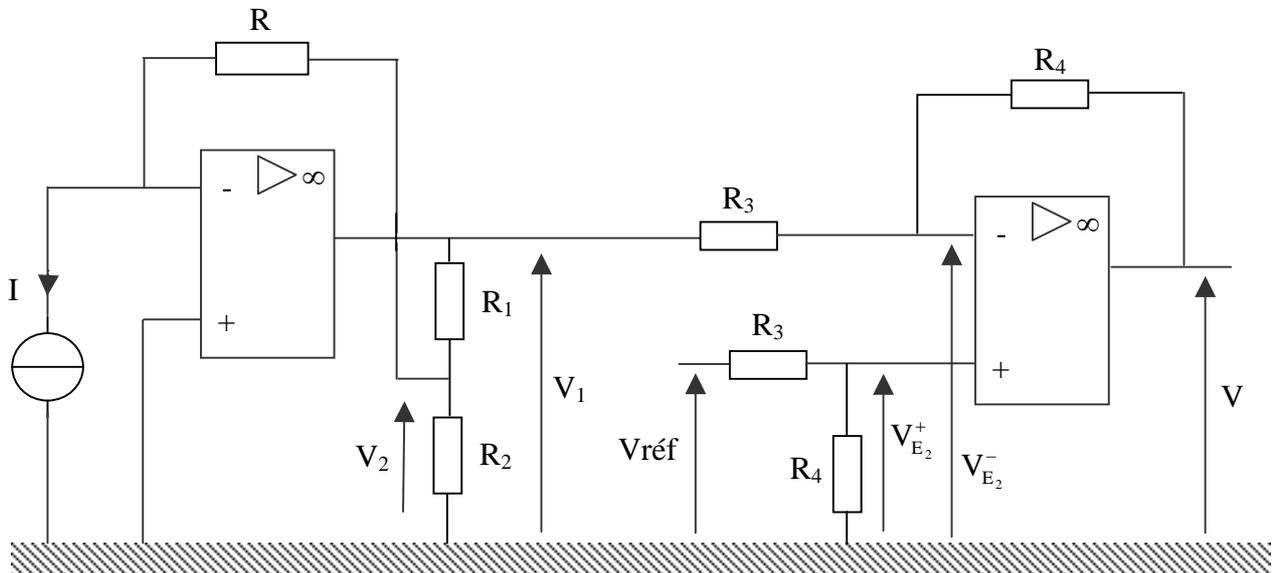


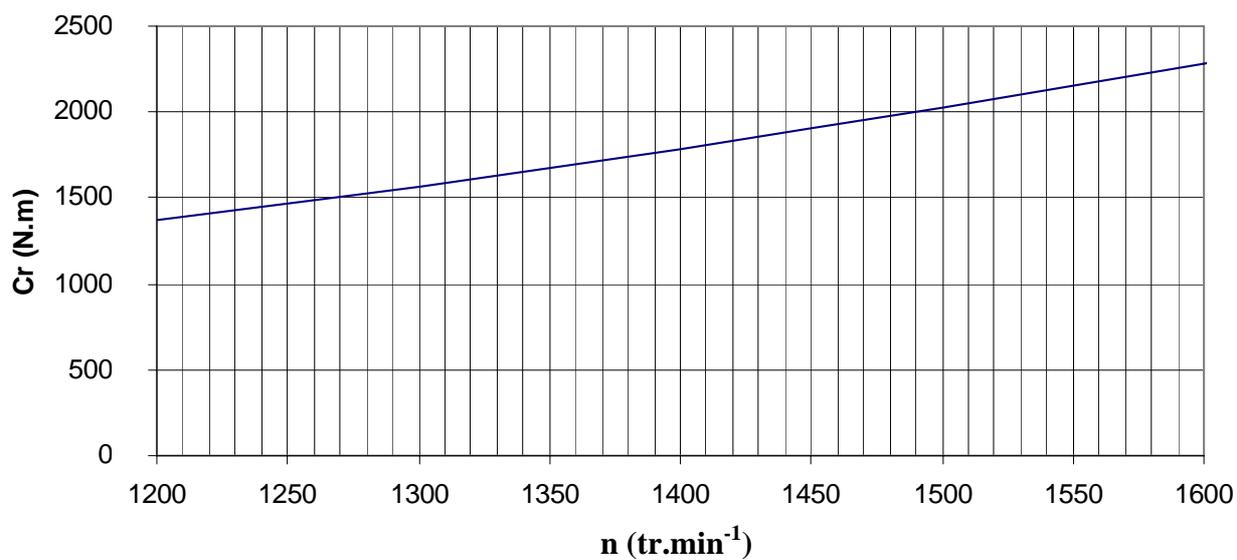
Tableau n° 2

Caractéristiques des cartes d'acquisition/restitution de données

	A	B	C
Entrées analogiques simples	8	16	8
Entrées analogiques différentielles	4	8	4
Fréquence d'échantillonnage	10 kHz	250 kHz	10 MHz
CAN	8 bits	8 bits	8 bits
Calibres d'entrées	$\pm 10V/\pm 5V/4-20mA$	$\pm 10V/\pm 5V/4-20mA$	$\pm 10V/\pm 5V/\pm 1V$
Entrées numériques	4	4	4
Sorties analogiques	2	2	1
Sorties numériques	8	8	4

EXEMPLAIRE POUVANT SERVIR DE BROUILLON**DOCUMENT RÉPONSE****Tableau n° 1****Mise en œuvre des alarmes**

Concentration (ppm)	0	50	100	150
Intensité I (mA)	1	0,92	0,85	0,79
Tension V_1 (V)				
Tension V (V)				

Figure n° 5**Caractéristique mécanique du ventilateur**

EXEMPLAIRE À RENDRE AVEC LA COPIE**DOCUMENT RÉPONSE****Tableau n° 1****Mise en œuvre des alarmes**

Concentration (ppm)	0	50	100	150
Intensité I (mA)	1	0,92	0,85	0,79
Tension V_1 (V)				
Tension V (V)				

Figure n° 5**Caractéristique mécanique du ventilateur**