

Les calculatrices sont autorisées.

Calculatrice électronique de poche - y compris programmable, alphanumérique ou à écran graphique - à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n°99-186 du 16 novembre 1999.

Tout document et tout autre matériel électronique sont interdits.

Toute documentation autre que celle fournie est interdite.

## **RECOMMANDATIONS GENERALES**

L'épreuve se compose de 4 parties indépendantes. Dans chaque partie, certaines sous-parties sont elles-mêmes indépendantes. Les candidats sont donc invités, d'une part, à lire attentivement l'énoncé avant de commencer à composer et d'autre part, à bien répartir leur temps de composition entre les différentes parties. Pour chaque partie, il est demandé aux candidats de rédiger dans l'ordre proposé par le sujet.

Il est rappelé aux candidats qu'ils doivent impérativement utiliser les notations indiquées dans le texte ou sur les figures, et qu'ils doivent présenter les calculs clairement, dégager et encadrer les résultats relatifs à chaque question référencée dans le sujet. Tout résultat incorrectement exprimé ne sera pas pris en compte. Les candidats traceront tous les schémas ou chronogrammes qui leur permettront d'étayer leurs raisonnements.

En outre, les correcteurs recommandent d'écrire lisiblement, de numéroter chaque copie en y faisant apparaître clairement la question traitée.

Si un candidat est amené à repérer ce qui peut lui sembler être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et devra poursuivre sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

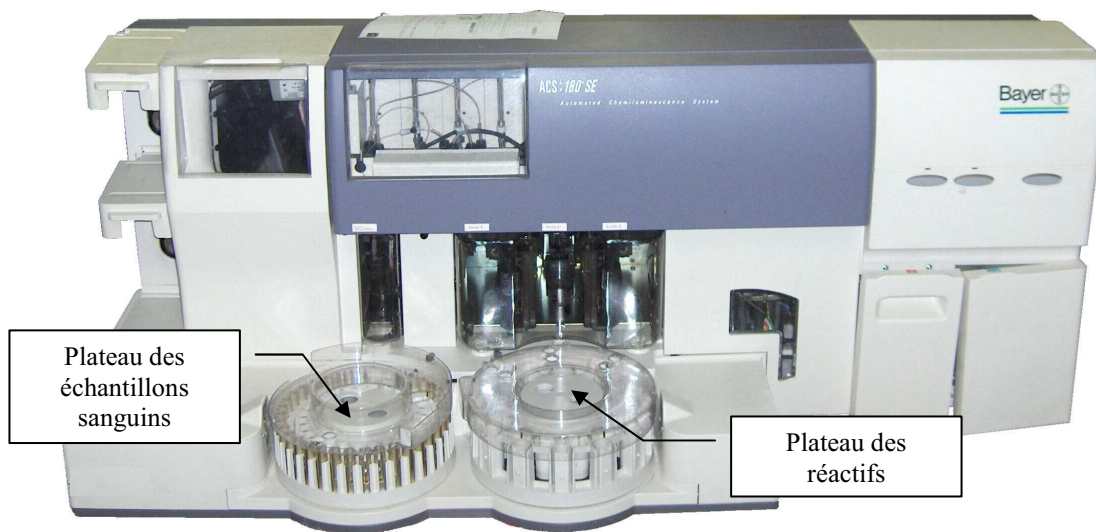


Image 1

---

## *ACS180 SE - Automated Chemiluminescence System*

<b>I.</b>	<b>CYCLE D'UNE CUVETTE.....</b>	<b>5</b>
	A. Présentation .....	5
	B. Analyse du système .....	6
	C. Etude dynamique de l'entraînement de l'ascenseur .....	6
	D. Choix de conception.....	7
<b>II.</b>	<b>CAPTAGE DES TEMPERATURES .....</b>	<b>9</b>
	A. Préliminaires .....	9
	B. Obtention de la tension de référence et sélection de la mesure à traiter .....	10
	C. Equation de $V_{BOFS}$ .....	10
	D. Choix de la C.T.N .....	10
	E. Obtention de la courbe $V_{BOFS} = f(\Delta T)$ .....	11
<b>III.</b>	<b>CHOIX D'UN TYPE DE MOTORISATION .....</b>	<b>11</b>
	A. Contexte .....	11
	B. Problématique.....	11
	C. Cas du moteur à courant continu .....	13
	D. Cas du moteur pas à pas* .....	15
	E. Conclusion .....	15
	F. Conception .....	15
<b>IV.</b>	<b>ALIMENTATION .....</b>	<b>16</b>
	A. Préliminaires .....	16
	B. Obtention de la tension négative .....	16
	C. Détermination de la valeur de la bobine.....	18

\* Remarque : *Aucun pré-requis sur le moteur pas à pas n'est nécessaire pour répondre à la problématique posée.*

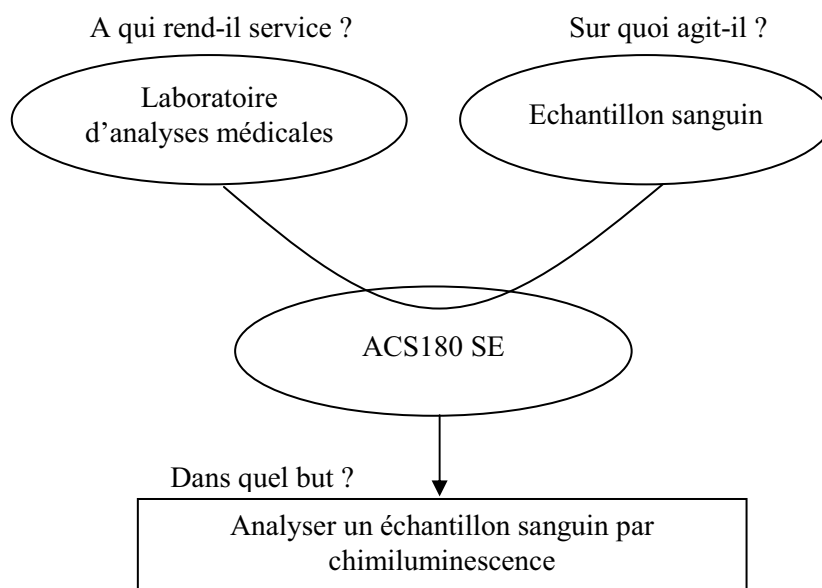


Figure 1

La société BAYER fabrique et commercialise un ensemble de machines destinées à l'analyse sanguine. Une des gammes, comprenant l'analyseur ACS180 SE (p.2), utilise le principe de la chimiluminescence (Annexe 1 p.19, à titre d'information).

Ces machines sont utilisées dans des laboratoires d'analyses médicales ou des centres hospitaliers. Le parc installé en Europe est important.

## Fonctionnement général

*Remarque : les numéros font référence à la Figure 2 p.4.*

Les échantillons sanguins et les réactifs sont déposés, respectivement, dans le plateau échantillons (7) et dans le plateau réactifs (6).

Un des échantillons est prélevé et introduit dans une cuvette en (8). En fonction de l'analyse à effectuer, un système de trois seringues permet alors d'ajouter de 2 à 3 réactifs différents dans la cuvette en (15).

Puis, deux solutions acide et base (Réactifs 1 et 2 contenus en (3)) seront placées dans la cuvette pour déclencher la réaction lumineuse à quantifier.

La solution acide est placée dans la cuvette avant son introduction dans le luminomètre de précision en (17).

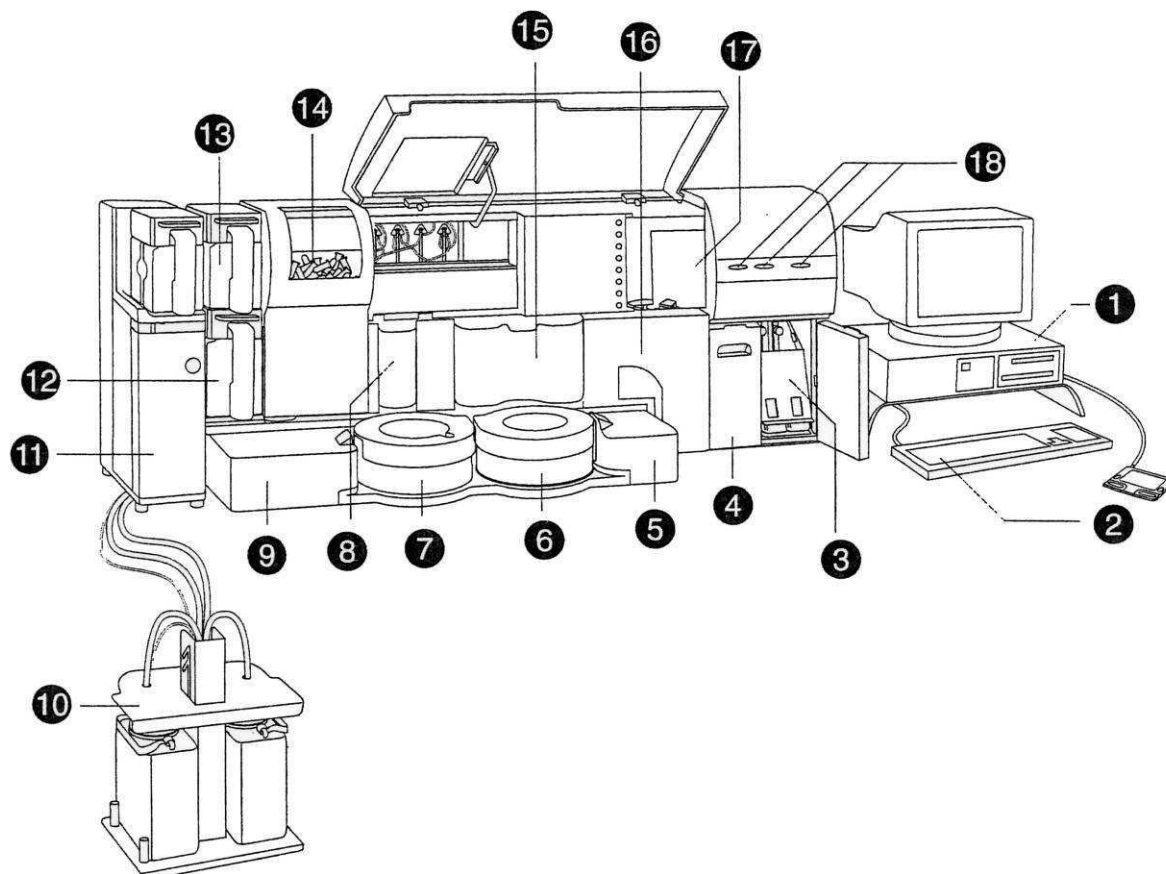
Une fois transférée dans ce dernier, l'adjonction de la solution basique va déclencher la réaction chimique de retour à l'équilibre. Ce retour à l'équilibre se traduit par une émission lumineuse.

Son intensité dépend de la composition sanguine initiale et des réactifs utilisés.

Une analyse complète dure 15 minutes.

Exemple d'analyse sanguine : Dosage de la vitamine B12

## Vue frontale de l'analyseur ACS:180 SE



- 1 Ordinateur et moniteur
- 2 Clavier
- 3 Capot des Réactifs 1 et 2
- 4 Poubelle des cuvettes
- 5 Capot du lecteur de codes à barres du plateau Réactifs
- 6 Plateau Réactifs
- 7 Plateau Echantillons
- 8 Capot de protection de la Sonde Echantillons
- 9 Capot du lecteur de codes à barres du plateau Echantillons
- 10 Support de l'EOM
- 11 Cabine EOM
- 12 Flacon des déchets liquides de l'ACS:180 SE
- 13 Flacon d'eau de l'ACS:180 SE
- 14 Réserve de chargement des cuvettes
- 15 Capot de protection des Sondes Réactifs
- 16 Sous-système d'aspiration et de lavage
- 17 Panneau d'accès au luminomètre et à la Sonde Déchets
- 18 Touches du Système

Figure 2

# I. CYCLE D'UNE CUVETTE

## A. Présentation

Pour effectuer les tests sur les échantillons sanguins, il va être nécessaire d'introduire une partie des échantillons dans des cuvettes et d'y ajouter les réactifs et l'acide avant de placer l'ensemble dans le luminomètre où l'on ajoutera la base.

Les cuvettes (voir Image 2 ci-dessous), de masse 5 g, en PVC grade médical légèrement opaque, parcourent pour cela un chemin précis présenté sur la Figure 3 ci-dessous.

Introduites en vrac dans un godet, elles sont acheminées via un ascenseur dans une goulotte inclinée fendue (largeur de fente 5 mm). Elles sont alors guidées dans une colonne verticale hélicoïdale de pas 280 mm de section carrée pour arriver 210 mm plus bas. Un capteur détecte le remplissage complet de la colonne en cuvettes, indiquant qu'il faut arrêter l'ascenseur.

La cuvette arrivant en bas de la colonne se retrouve dans un rail de guidage. Elles y seront entraînées dans un premier temps par poussée (zone 1), puis grâce à une courroie crantée (zone 2). Elles sont poussées de manière synchrone avec l'entraînement réalisé par une courroie crantée. Celle-ci avance d'un pas à chaque poussée si le capteur p détecte la présence d'une cuvette. Cet événement arrive toutes les 20 secondes. Ce rail constitue un milieu adiabatique (sans échange thermique avec l'extérieur) à 37 °C. Cette température identique à la température corporelle devra être maintenue pendant toutes les phases de l'analyse, garantissant une bonne vitesse de réaction chimique. Le transfert n'a lieu que si cette température est atteinte.

Dans la zone 2 du rail, les cuvettes sont entraînées à l'aide d'une courroie crantée menante et d'une autre menée, prenant la cuvette en sandwich. Chaque cuvette peut être placée successivement sous les zones de prélèvement. A la sortie du rail, après introduction de l'acide, un autre ascenseur permet d'introduire les cuvettes dans le luminomètre. Dans celui-ci, la base est ajoutée et le niveau d'émission lumineuse évalué. Les cuvettes sont finalement vidées de leur contenu puis évacuées par une trappe vers une poubelle.

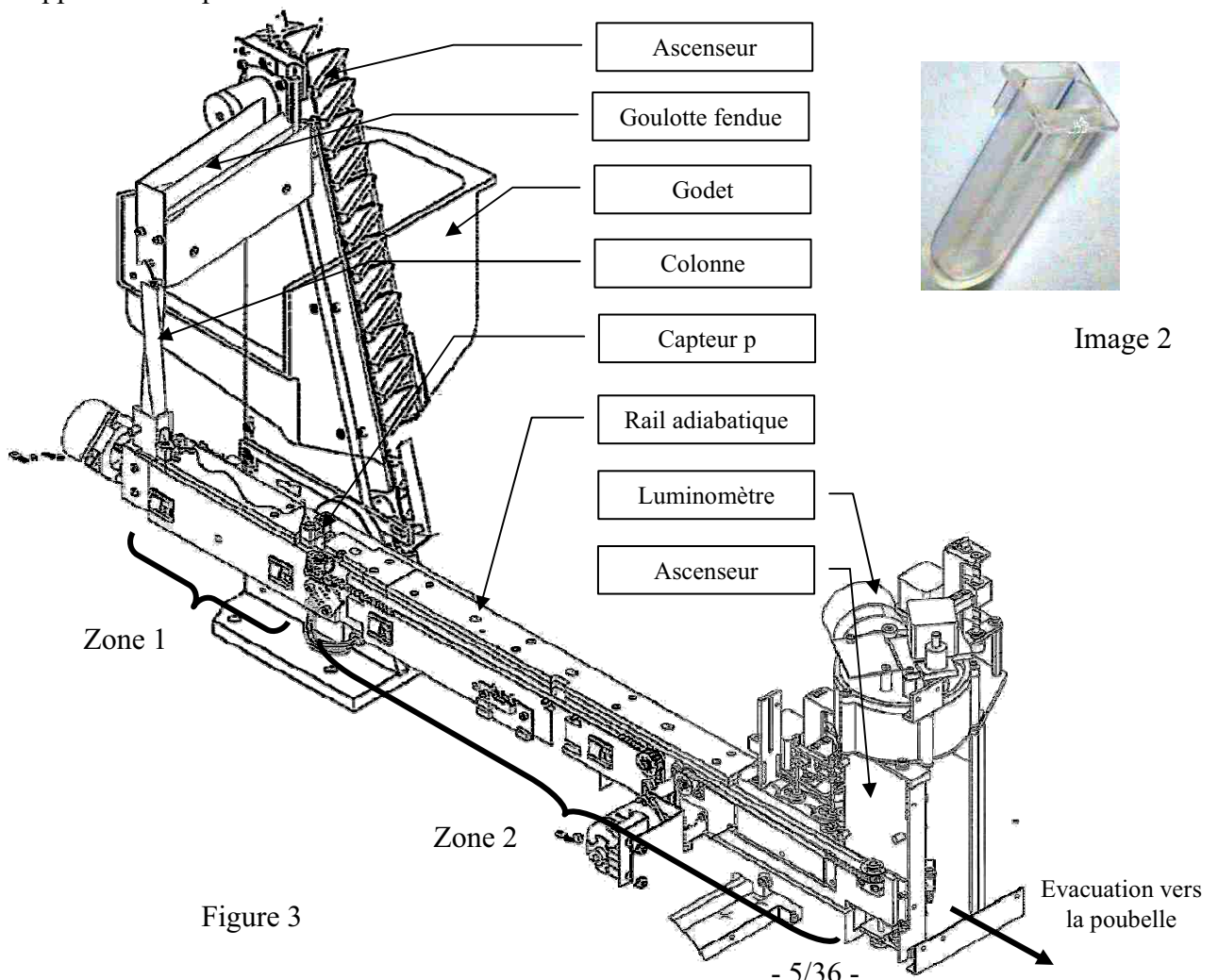


Image 2

L'objectif de ces 3 sous-parties est d'étudier le système d'un point de vue fonctionnel et séquentiel, de justifier l'utilisation de l'excentrique dans l'ascenseur et d'analyser des choix de conception de cet ascenseur, de la goulotte et de la colonne.

## B. Analyse du système

- Q1.** Etablir l'actigramme (SADT A-0) du système (Document réponse 2 p.31). Les données de contrôle seront précisées.
- Q2.** Après initialisation de la machine, au bout de combien de temps obtient-on le résultat de la première analyse ?
- Q3.** A flux tendu, calculer le nombre d'analyses réalisées par heure et indiquer l'origine du nom de la machine ?
- Q4.** Compléter les grafjets traduisant le fonctionnement global du système sur le Document réponse 1 p.30.
- Q5.** A quoi servent les étapes 32, 34 et 36 dans ces grafjets ? Que se passerait-il si elles n'existaient pas ?

## C. Etude dynamique de l'entraînement de l'ascenseur

Ce choix d'ascenseur (voir éclaté Annexe 2 p.20) a été effectué pour orienter les cuvettes dans une position particulière. Les cuvettes sont placées sans direction privilégiée dans le godet. La structure réalisée permet de les transférer jusqu'à la dernière.

Un moteur entraîne une chaîne par l'intermédiaire de deux pignons. La liaison pivot est assurée par des paliers lisses. Cette chaîne supporte des réceptacles orientant les cuvettes.

Les inerties de l'arbre moteur et de la chaîne réceptrice seront négligées. La transmission par chaîne ne sera pas prise en compte dans l'étude. Le moteur sera considéré en prise directe sur l'arbre de l'excentrique (Image 3 ci-contre).

Les frottements seront négligés.

Notations :

Les torseurs seront écrits sous la forme :

$$\{T_{\bar{E}/\bar{E}}\} = \begin{Bmatrix} \overrightarrow{R_{\bar{E}/\bar{E}}} \\ \overrightarrow{M_{\bar{E}/\bar{E}}} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} X_{\bar{E}/\bar{E}} & L_{\bar{E}/\bar{E}} \\ Y_{\bar{E}/\bar{E}} & M_{\bar{E}/\bar{E}} \\ Z_{\bar{E}/\bar{E}} & N_{\bar{E}/\bar{E}} \end{Bmatrix}_{\vec{x}, \vec{y}, \vec{z}}$$

Le repère fixe  $R0(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$  est associé au bâti.

La liaison pivot du palier est d'axe  $(O, \vec{z}_0)$ , horizontal.

G est le centre de gravité de l'excentrique.

Le repère  $R(A, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}_0)$  est associé à l'excentrique.

$$\overrightarrow{AG} = e.\vec{x}$$

$$\overrightarrow{OG} = e.\vec{x} + d.\vec{z}_0$$

$$\alpha = (\vec{x}_0, \vec{x})$$

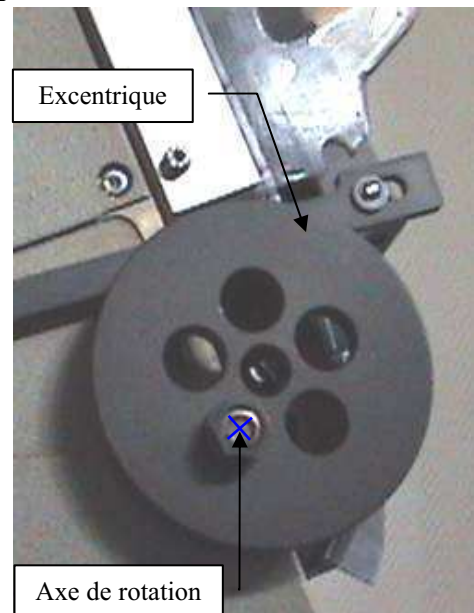


Image 3

La masse de l'excentrique est  $m$ .

Le champ de gravité  $\vec{g}$  est défini par  $\vec{g} = -g.\vec{y}_0$  avec  $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$ .

On considère que la matrice d'inertie de l'excentrique est de la forme  $I_A = \begin{bmatrix} A & -F & -E \\ -F & B & -D \\ -E & -D & C \end{bmatrix}_{(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z}_0)}$

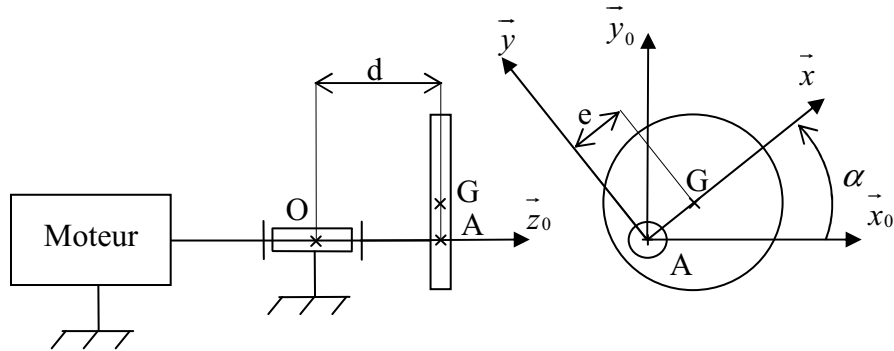


Figure 4

*NB : L'ensemble des calculs sera fait par rapport à R0 exprimé dans la base d'expression la plus simple.*

- Q6.** Effectuer le bilan des actions mécaniques agissant sur l'excentrique.
- Q7.** Ecrire le principe fondamental de la dynamique (PFD) appliqué au système arbre moteur + excentrique.
- Q8.** Calculer la vitesse et l'accélération du point G.
- Q9.** Calculer le moment cinétique.
- Q10.** Calculer le moment dynamique.
- Q11.** Exprimer le torseur d'action mécanique du palier sur l'arbre moteur en fonction des résultats précédents.
- Q12.** Lorsque le moteur tourne avec une vitesse angulaire constante, le palier est-il aussi soumis à des efforts et moments constants ?
- Q13.** Sachant que le bâti supporte le godet recevant les cuvettes, que peut-on déduire de la question précédente du rôle de l'excentrique dans le système ?

#### D. Choix de conception

- Q14.** Les cuvettes peuvent arriver dans la goulotte dans les deux sens. En prenant en compte les spécifications de la cuvette (Figure 6 p.8) et de la goulotte (Figure 3 p.5), justifier que la cuvette se retrouve toujours dans la position verticale adéquate avant de tomber dans la colonne hélicoïdale (Figure 5 p.8 et Image 4 p.8).
- Q15.** Calculer l'angle de rotation généré par la colonne hélicoïdale et en justifier le choix.
- Q16.** Préciser à quelle extrémité de la colonne, le capteur de saturation doit être placé.
- Q17.** Quel type de capteur peut-on utiliser pour détecter la saturation de la colonne ?

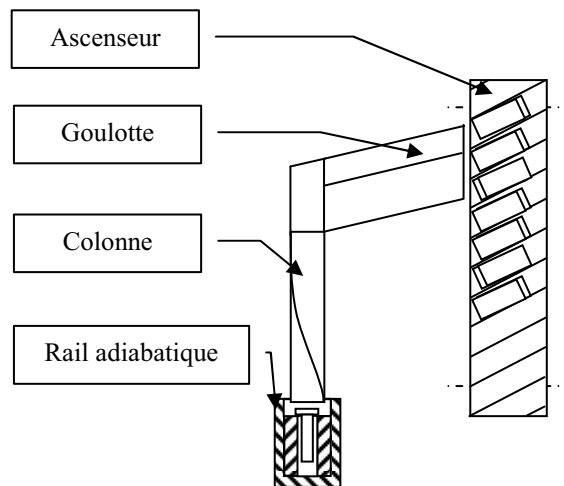


Figure 5



Image 4

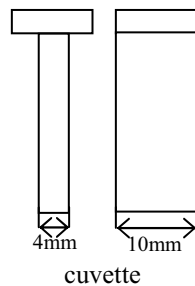


Figure 6

L'ensemble ascenseur, goulotte et colonne est supporté par une équerre appelée Hopper feeder support (to hop : sautiller, to feed : nourrir ; Annexe 2 p.20). Ce sous-système équipe non seulement la gamme ACS mais aussi une majorité des systèmes d'approvisionnement en cuvette des autres gammes BAYER. Ce support en EN AC- $AlSi12Cu$  est moulé en coquille par gravité.

- Q18.** Proposer un plan de joint permettant l'obtention de cette pièce. (Document réponse 2 p.31)
- Q19.** Colorier les formes non obtenues par moulage (Document réponse 2 p.31).
- Q20.** Que signifie la désignation EN AC- $AlSi12Cu$  ? Décrire la composition de ce matériau.
- Q21.** Valider le choix d'un moulage en coquille.



## II. CAPTAGE DES TEMPERATURES

Afin de garantir des résultats fiables sur les analyses sanguines, l'ensemble de la chaîne de traitement doit se situer à une température très proche de 37 °C. La mise en température du rail adiabatique et son maintien sont obtenus en plaçant d'une part des éléments chauffants appelés T.E.D (Thermal Electrical Device – résistances chauffantes) et d'autre part, des capteurs (C.T.N, résistance à Coefficient de Température Négatif - Thermistor) en différents lieux de ce dernier.

*On se propose dans cette partie, d'une part, de localiser les différents éléments physiques participant à la régulation de température, puis de procéder au choix technologique de la C.T.N et d'autre part de vérifier que la plage de variation de la tension, image de la température, est bien compatible avec l'entrée du convertisseur analogique-numérique bipolaire se situant en amont d'une des cartes à microprocesseur qui participe à la gestion du processus.*

### A. Préliminaires

**Q22.** A partir du schéma partiel de la notice de montage de la machine sur le Document réponse 3 p.32, identifier en les entourant en trait plein les éléments permettant le chauffage du rail et identifier en les entourant en trait pointillé les éléments permettant le captage des températures.

**Q23.** Justifier pour quelle raison une note présente (voir Figure 7 ci-dessous) dans la documentation technique préconise d'appliquer une couche de graisse thermique sur les C.T.N et sur les T.E.D.

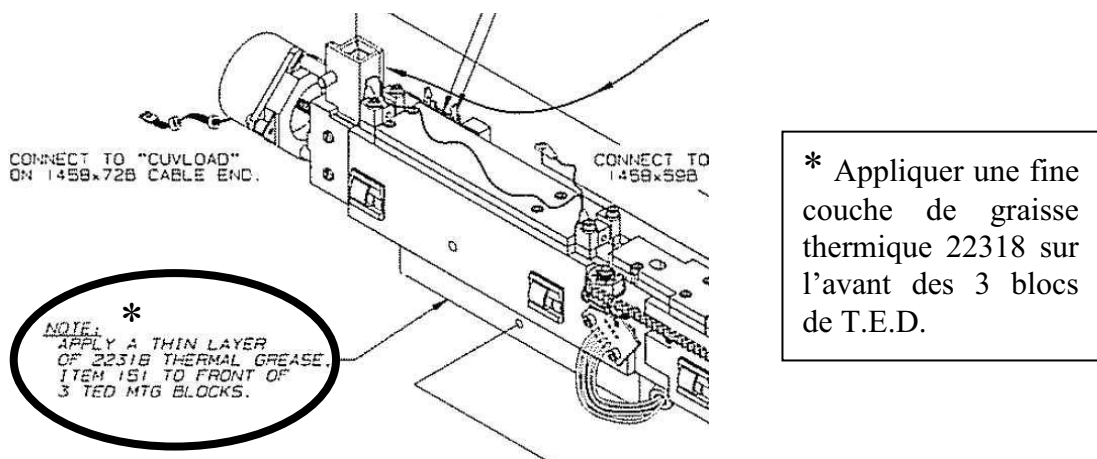


Figure 7

Extrait partiel de la documentation constructeur sur la mise en place des T.E.D.

Afin de garantir une température homogène, une régulation de température est réalisée. Cinq capteurs de température sont placés dans la machine. Trois se situent sur le parcours de la cuvette en différents points du rail d'entraînement. Un quatrième permet de connaître la température du bain de chauffage alors qu'un cinquième est directement positionné sur la carte électronique afin de fournir une information sur la température ambiante dans la machine. Le schéma électronique assurant le captage et le traitement de l'information issus des C.T.N est présenté en Annexe 3 p.21, à titre d'information. Sa version simplifiée est fournie en Annexe 4 p.22.

## B. Obtention de la tension de référence et sélection de la mesure à traiter

Les C.T.N ont besoin d'être alimentées par une tension fixe appelée tension de référence  $V_{REF2}$ .

**Q24.** En vous basant sur l'étude du composant  $U_1$  (AD584 – Annexe 5 p.23), indiquer quelle est la valeur de la tension présente au point  $V_{REF1}$ .

**Q25.** Identifier le montage réalisé par les résistances  $R_{17}$ ,  $R_8$  et le composant  $U_{19\_2}$ . En déduire la valeur de la tension  $V_{REF2}$ .

**Q26.** Les signaux  $TEDA$ ,  $TEDB$  et  $TEDC$  permettent de sélectionner l'entrée de mesure qui sera appliquée sur l'entrée non inverseuse de  $U_{19\_1}$ . En vous référant à la documentation technique du composant  $U_{23}$  (CD4051 – Annexe 6 p.24), indiquer quelles valeurs logiques doivent prendre ces signaux pour que la mesure prise en compte soit celle issue de la C.T.N THMSTR4.

On se place dans les hypothèses suivantes :

- La C.T.N THMSTR4 est mesurée.
- Résistance  $R_{ON}$  à l'état passant de  $U_{23}$  négligeable.
- Etude en statique donc aucune influence de  $C_6$ .
- Amplificateur opérationnel supposé idéal.

**Q27.** Dessiner le schéma simplifié reliant  $V_{REF2}$  à  $V_{BOFS}$ .

## C. Equation de $V_{BOFS}$

**Q28.** Pour des raisons de simplicité d'écriture, on pose  $THMSTR4 = R_{T4}$ . En remarquant que  $R_7 = R_{16}$ , montrer que :

$$V_{BOFS} = \frac{R_{T4}(R_7 + R_{11}) - R_{11}R_{12}}{R_7(R_{12} + R_{T4})} \cdot V_{REF2}$$

## D. Choix de la C.T.N

L'objectif de cette partie est de procéder au choix technologique de la C.T.N.

Afin d'utiliser la plus grande étendue possible des résultats sur  $V_{BOFS}$ , on souhaite que  $V_{BOFS}$  soit voisin de 0 pour une température de 37 °C.

**Q29.** Calculer la valeur de  $R_{T4}$  pour obtenir  $V_{BOFS} = 0$  V en fonction des différentes valeurs des résistances présentes sur le schéma. ( $R_7 = 10$  k $\Omega$  ;  $R_{11} = 75$  k $\Omega$  ;  $R_{12} = 9,09$  k $\Omega$ ).

On souhaite qu'entre deux températures données  $T_1$  et  $T_2$ , la variation de la C.T.N  $R(T_2) - R(T_1)$  soit la plus grande possible. Sachant que l'équation d'une C.T.N est la suivante :

$$R(T) = R_0 e^{B \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}$$

Avec

- $R(T)$  : Résistance à la température T (en Kelvin)
- $R_0$  : Résistance à température  $T_0$  de référence (en Kelvin)
- $B$  : B-constante de la C.T.N ( $B > 0$ )

**Q30.** Afin de maximiser les variations de la C.T.N entre deux températures différentes, préciser si le paramètre  $B$  doit être choisi grand ou petit.

**Q31.** La résistance  $R_{T4}$  est en fait constituée d'une résistance  $R_4$  en série avec la C.T.N  $R_{CTN4}$ . La résistance  $R_4$  est une résistance de précision de 2k $\Omega$ . Compte tenu des questions Q29 et Q30, procéder au choix technologique de la C.T.N parmi celles figurant sur le document technique de la société MURATA (Annexe 7 p.25 et suivante).

**Q32.** Application numérique : Compte tenu du choix précédent, calculer  $V_{BOFS}$  pour 35 °C et  $V_{BOFS}$  pour 40 °C avec  $V_{REF2} = -7,5$  V et les différentes valeurs des résistances présentes sur le schéma.

### E. Obtention de la courbe $V_{BOFS} = f(\Delta T)$

On montre que  $V_{BOFS}$  autour de 35 °C peut s'écrire :  $V_{BOFS} \approx -1,92 + 0,92.\Delta T$  avec  $\Delta T = T - 35$  °C.

**Q33.** Tracer, sur votre copie,  $V_{BOFS} = f(\Delta T)$  pour  $\Delta T$  allant de - 3 °C à + 7 °C, c'est à dire pour  $T$  allant de 32 °C à 42 °C.

**Q34.** A l'aide de la question précédente, justifier que la sortie  $V_{BOFS}$  peut bien être connectée à l'entrée d'un convertisseur analogique-numérique bipolaire dont la plage de conversion s'étend de - 5 V à + 5 V.

## III. CHOIX D'UN TYPE DE MOTORISATION

*On se propose dans cette partie de quantifier la précision nécessaire au positionnement de l'aiguille de prélèvement, de valider les solutions constructives au vue de la cinématique désirée et de réaliser une étude comparative de deux solutions de motorisation afin de valider la solution retenue sur la machine.*

### A. Contexte

Le sous-système (Figure 8 p.12) permettant le prélèvement des échantillons sanguins et des produits est constitué par l'association de deux structures. La première, le bloc horizontal, génère le mouvement de translation horizontal et supporte la deuxième structure verticale à laquelle est fixée l'aiguille. L'énergie motrice est fournie par deux moteurs d'axes horizontaux ( $\vec{x}$ ) et verticaux ( $\vec{y}$ ) de couple nominal 0,3 N.m.

Le guidage horizontal est assuré par une glissière.

Le guidage vertical est réalisé par l'association en parallèle d'une liaison pivot glissant et d'une liaison ponctuelle.

Les déplacements sont obtenus grâce à une liaison hélicoïdale montée en parallèle avec chacun des guidages. La liaison hélicoïdale est à droite de pas  $h$ .

Cet ensemble est positionné en  $x$  à  $\pm 0,25$  mm.

La noix est montée en liaison pivot sur le porte-noix, lui-même en liaison pivot sur le bloc support.

L'axe fileté  $\vec{x}$  est accouplé au moteur par un accouplement flexible à brides.

L'alimentation de l'ensemble de puissance est réalisée à partir d'une tension continue de 12 V.

### B. Problématique

L'aiguille de prélèvement doit être introduite précisément dans la cuvette, dans la zone de lavage et dans le tube à essai ou dans le flacon de réactif.

Données :

- aiguille de prélèvement :  $\varnothing$  1 mm
- cuvette : zone rectangulaire de 3 mm (en  $x$ ) x 9 mm (en  $y$ )
- zone de lavage :  $\varnothing$  5 mm
- tube à essai :  $\varnothing$  5 mm
- flacon de réactif :  $\varnothing$  20 mm

*Remarque : Seuls les éléments participant au déplacement suivant la direction des  $x$  seront étudiés.*

**Q35.** On souhaite que la valeur de la précision de positionnement  $t$  soit 10 fois plus précise que la condition de fonctionnement la plus contraignante. Calculer la valeur de  $t$ .

**Q36.** Réaliser le graphe des liaisons correspondant au schéma cinématique (Figure 9 p.12).

**Q37.** Analyser le degré d'hyperstaticité.

**Q38.** Justifier les solutions constructives choisies (Figure 8 ci-dessous) par rapport au schéma cinématique initial non minimal (Figure 9 ci-dessous).

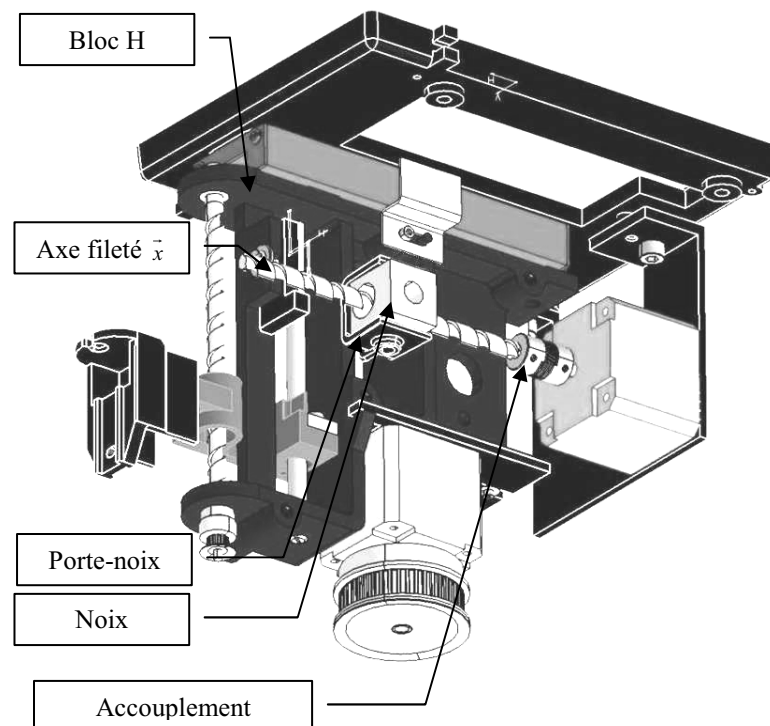


Figure 8

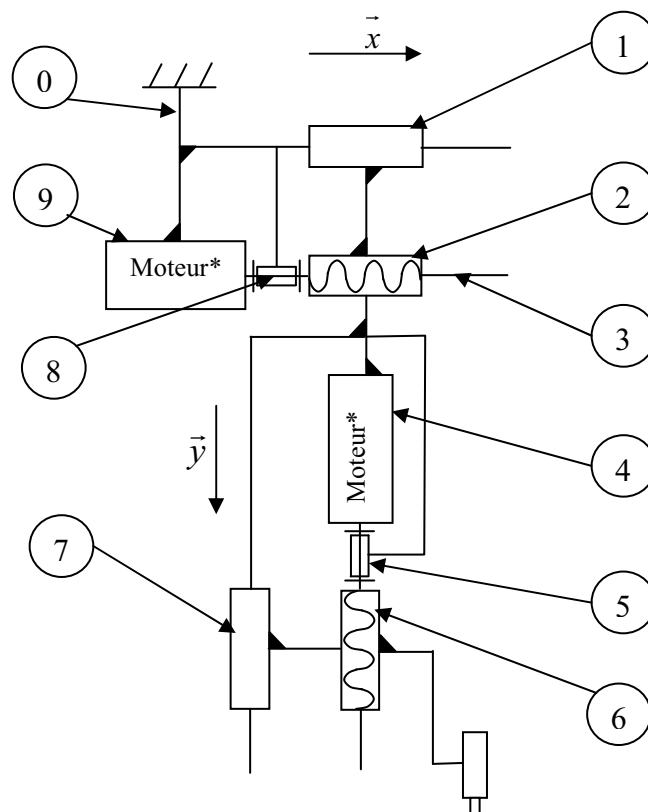


Figure 9

\* Moteur désigne ici soit un moteur pas à pas, soit un ensemble moteur à courant continu associé à un réducteur (motoréducteur).

Une très grande précision de positionnement est assurée par la présence d'un jeu le plus faible possible dans le système vis-écrou et par la maîtrise parfaite de l'angle de rotation de la vis. Deux solutions de choix de motorisation sont alors envisagées : un moteur à courant continu asservi en position ou un moteur pas à pas.

### C. Cas du moteur à courant continu

Dans le cas du moteur à courant continu, il est nécessaire d'ajouter un capteur de recopie de position. Ce dernier doit être capable de se déplacer sur une course au moins égale à 90 mm et fournir une information sous forme de tension analogique. Le schéma cinématique de l'ensemble devient :

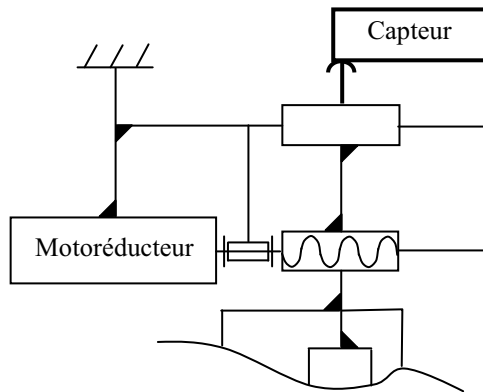


Figure 10

#### 1. Choix du capteur

Le capteur de position utilisé est un capteur de la société ASM-Sensor. Il s'agit d'un capteur magnétostrictif de la gamme PCQA21. Il fonctionne sur le principe du déplacement d'un aimant. Afin de faciliter le montage et l'entretien de la machine, on souhaite que le capteur soit aisément démontable et donc que la sortie de ce dernier soit accessible sur connecteur.

**Q39.** Plusieurs capteurs de cette société sont présentés en Annexe 8 p.27 et suivante. En la justifiant, donner la référence complète du capteur à commander.

PCQA21 - □ - □ - □

**Q40.** A l'aide d'un graphique simple et compte tenu du choix du capteur effectué à la question précédente, calculer la valeur de  $K_{cap}$ , gain du capteur de position. Vous indiquerez en particulier l'unité dans laquelle s'exprime cette valeur.

#### 2. Asservissement de position

L'asservissement de l'ensemble se ramène au diagramme fonctionnel suivant :

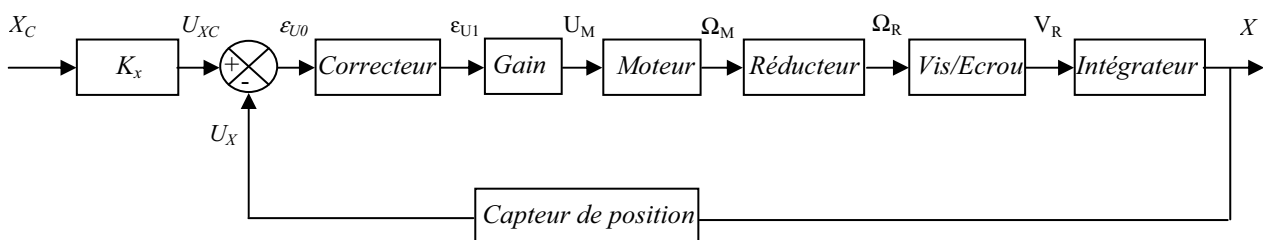


Figure 11

**Q41.** On souhaite que l'erreur  $\varepsilon_{U0}$  du schéma fonctionnel de la Figure 11 p.13 soit égale à l'erreur  $\varepsilon'_{U0}$  du schéma fonctionnel de la Figure 12, justifier alors l'égalité des gains  $K_x$  et  $K_{cap}$ . Quel est l'intérêt de ce choix ?

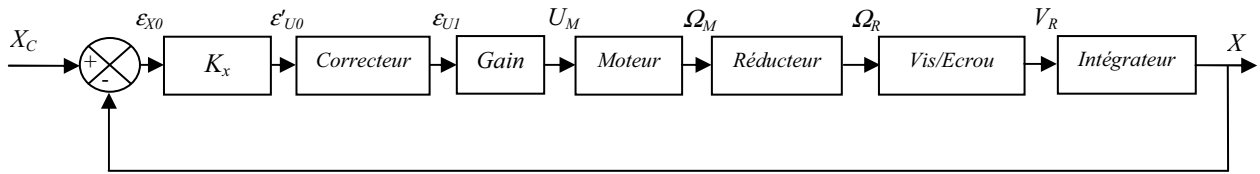


Figure 12

**Q42.** En le justifiant, préciser quel est l'écart obtenu, en régime permanent, en réponse à une entrée de type indiciel.

En remplaçant chaque bloc fonctionnel par son équivalent en notation de Laplace, le schéma complet de l'asservissement apparaît alors sous la forme suivante :

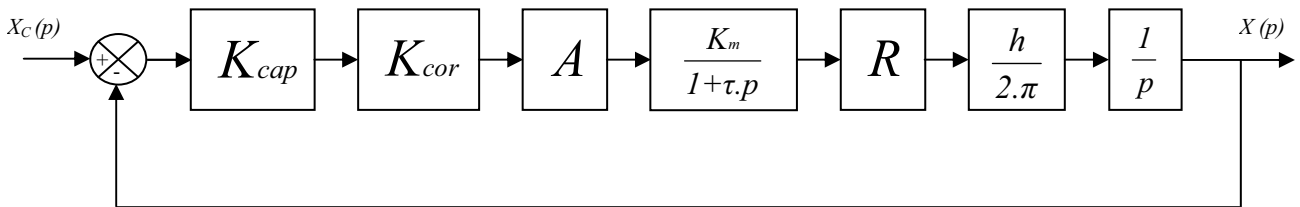


Figure 13

On pose :  $K = \frac{K_{cap} \cdot K_{cor} \cdot A \cdot K_m \cdot R \cdot h}{2 \cdot \pi}$ .

**Q43.** Exprimer la fonction de transfert de l'asservissement en boucle fermée et montrer que celle-ci peut se mettre sous la forme canonique suivante :

$$H(p) = \frac{X(p)}{X_c(p)} = \frac{1}{1 + 2z \cdot \frac{p}{\omega_0} + \left(\frac{p}{\omega_0}\right)^2}$$

Identifier  $\omega_0$  et  $z$  en fonction des paramètres  $K$  et  $\tau$ .

**Q44.** On souhaite que l'asservissement en boucle fermée se comporte comme une fonction de transfert de Butterworth d'ordre 2, c'est-à-dire :

$$H(p) = \frac{X(p)}{X_c(p)} = \frac{1}{1 + \sqrt{2} \cdot \frac{p}{\omega_0} + \left(\frac{p}{\omega_0}\right)^2}$$

Calculer la valeur de  $z$  et en déduire l'expression de  $K$  en fonction de  $\tau$ .

**Q45.** Application numérique : On pose  $K_{cap} = 10^2$  ;  $A = 4$  ;  $K_m = 29,4 \text{ rad.s}^{-1} \cdot \text{V}^{-1}$  ;  $R = \frac{1}{200}$  ;  $h = 24 \cdot 10^{-3} \text{ m.tr}^{-1}$  et  $\tau = 0,3 \text{ s}$ .

Déduire de la question précédente la valeur de  $K_{cor}$ .

Le bloc, support de l'aiguille, doit se déplacer sur une course totale de 60 mm ou de 90 mm. Il doit en premier s'arrêter au dessus de la zone de lavage situé à 25 mm de son point de départ, puis se déplacer vers la zone de prélèvement (1), cercle extérieur situé 35 mm plus loin ou vers la zone de prélèvement (2) située 65 mm plus loin. Les différentes zones sont décrites ci-dessous (Image 5).

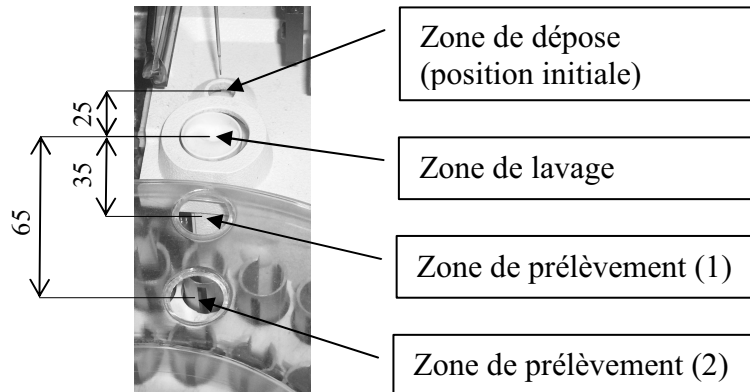


Image 5

**Q46.** Dans le système réel, le gain  $K_x$  apparaissant sur la Figure 11 p.13 n'existe pas et le soustracteur est directement attaqué en tension. Déterminer les tensions de commande  $U_{XC}$  nécessaires pour atteindre les trois positions.

#### D. Cas du moteur pas à pas\*

*\*Remarque : Aucun pré-requis sur le moteur pas à pas n'est nécessaire pour répondre à la problématique posée.*

Dans le cas du moteur pas à pas, le capteur de position n'est plus nécessaire et l'ensemble peut être commandé en boucle ouverte. Ce type de moteur nécessite une commande par impulsions (non étudiée ici). Une impulsion du circuit de commande permet la rotation d'un pas.

**Q47.** Sachant que le moteur pas à pas a une résolution angulaire  $r$  en radians, définir la valeur de l'incrément en  $x$ ,  $\Delta x$  en fonction de  $r$  et  $h$ .

**Q48.** Quelle est la relation entre la position  $x$  du système, l'angle  $\theta$  (angle de rotation du moteur en radians) et le pas  $h$  de la vis si la liaison vis-écrou est sans jeu ?

**Q49.** Exprimer l'inéquation reliant  $r_{max}$  à la précision de position  $t$ .

**Q50.** Application numérique : On pose  $h = 24 \cdot 10^{-3} \text{ m.tr}^{-1}$  ;  $t = 0,15 \text{ mm}$ . Calculer  $r_{max}$ .

**Q51.** Choisir le moteur pas à pas à partir des contraintes du contexte d'utilisation et de l'Annexe 9 p.29. Préciser l'ensemble des critères justifiant ce choix.

#### E. Conclusion

La société Bayer a choisi une solution constructive à base d'un moteur pas à pas et non d'un motoréducteur.

**Q52.** A l'aide des deux études précédentes, valider ce choix.

#### F. Conception

Le moteur utilisé pour cette étude sera le moteur pas à pas choisi en Q51. Ce moteur sera fixé sur un profilé en L en EN AW2017.

**Q53.** Dessiner à main levée, sur le dessin d'ensemble présenté Document réponse 4 p.33, une solution constructive permettant de mettre en position et de fixer le moteur sur l'équerre. Mettre les ajustements nécessaires à cet assemblage.

**Q54.** Sur le Document réponse 5 p.34, compléter et coter le dessin de définition de l'équerre en y indiquant les spécifications géométriques adéquates.

## IV. ALIMENTATION

On se propose dans cette partie de valider le montage permettant d'obtenir la tension négative nécessaire à l'alimentation symétrique des amplificateurs opérationnels et de dimensionner l'inductance afin de garantir le fonctionnement du montage en régime continu.

### A. Préliminaires

Dans le cas général, si la valeur du générateur  $E_1$  est différente de la valeur du générateur  $E_2$ , il n'est pas possible d'associer directement en parallèle deux sources de tension. Pour autoriser une telle association, il est nécessaire d'intercaler un étage intermédiaire réalisé à partir d'une source de courant (Figure 14) :

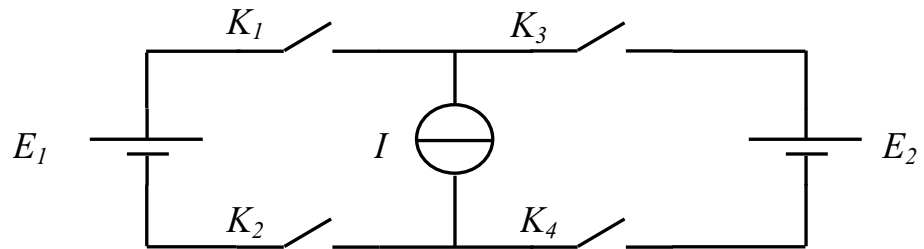


Figure 14

**Q55.** En rappelant au préalable les règles d'interconnexions des sources de tensions et de courants entre elles, préciser quels sont les interrupteurs qui peuvent être fermés au même instant sans risque de détérioration. En déduire que seuls deux interrupteurs sont nécessaires dans ce schéma de principe et préciser lesquels. Dessiner le nouveau schéma de principe.

**Q56.** Identifier par rapport au schéma de la Figure 15, chacun des éléments (par exemple  $E1$  est représenté par  $V_E$ ).

**Q57.**  $K1$  est utilisé en commutation forcée (c'est-à-dire que l'ouverture et la fermeture de ce composant sont commandées directement par son circuit de commande). Le composant qui réalise l'interrupteur  $K3$  fonctionne-t-il en commutation forcée ? Quel risque pourrait-il y avoir à utiliser une commutation forcée pour ces deux interrupteurs ?

### B. Obtention de la tension négative

Afin de réaliser une tension négative utilisée pour alimenter les amplificateurs opérationnels présents, nous utilisons un principe de hacheur inverseur dont le schéma est fourni ci-dessous (Figure 15). La tension qui sera utilisée pour l'alimentation négative des amplificateurs opérationnels est la tension  $V_A - V_B$ . La résistance  $R$  représente la charge de ce montage et correspond à l'ensemble des charges représentées par les alimentations négatives des amplificateurs opérationnels.

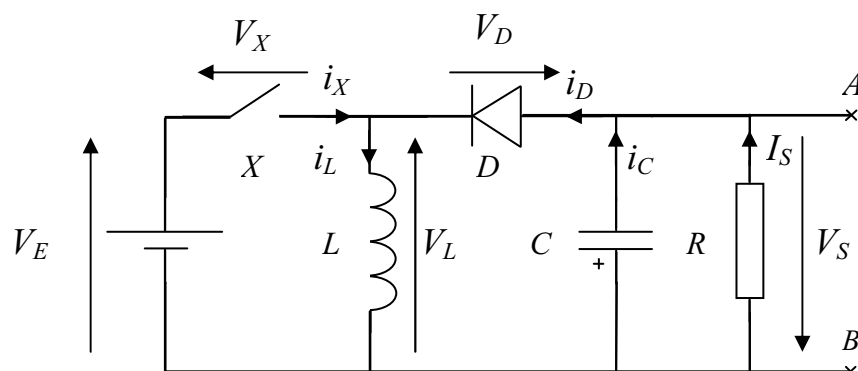


Figure 15



La tension  $V_S$  est supposée continue (**attention au sens de la flèche de  $V_S$** ), ainsi que le courant  $I_S$  dans la charge  $R$ .

Tous les éléments de ce montage sont supposés idéaux et en particulier l'interrupteur commandé  $X$  et la diode  $D$  (temps de commutation nul, chute de tension nulle à l'état passant, courant de fuite nul à l'état bloqué).

La bobine  $L$  est supposée idéale, ce qui implique que sa résistance interne est considérée comme étant de valeur nulle et que la valeur de  $L$  est supposée constante.

L'interrupteur  $X$  est un interrupteur commandé. Ce dernier peut ainsi avoir deux états : l'état fermé ou l'état ouvert.

La commande de l'interrupteur  $X$  est périodique de période  $T$  et se décompose en deux parties. Les figures (Figure 16 et Figure 17 ci-dessous) illustrent ainsi le fonctionnement du hacheur suivant l'état de l'interrupteur  $X$ .

Notations utilisées :

- Valeur instantanée :  $V_E(t)$
- Valeur continue :  $V_E$
- Valeur moyenne :  $\overline{V_E}$

**De 0 à  $\alpha T$**  : l'interrupteur  $X$  est fermé, la diode  $D$  est bloquée.

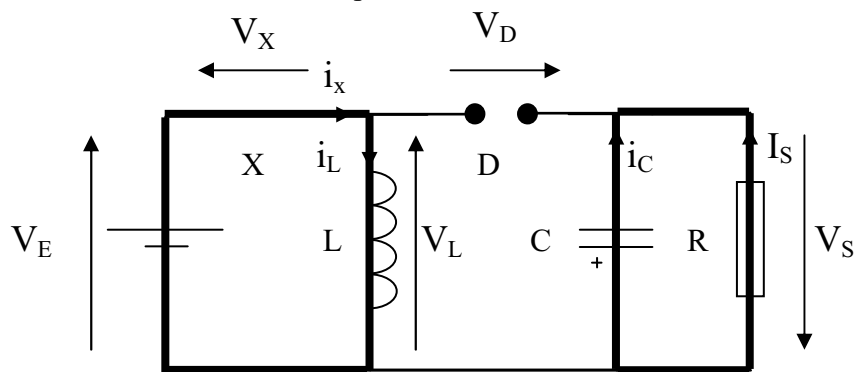


Figure 16

**De  $\alpha T$  à  $T$**  : l'interrupteur  $X$  est ouvert, la diode  $D$  est passante.

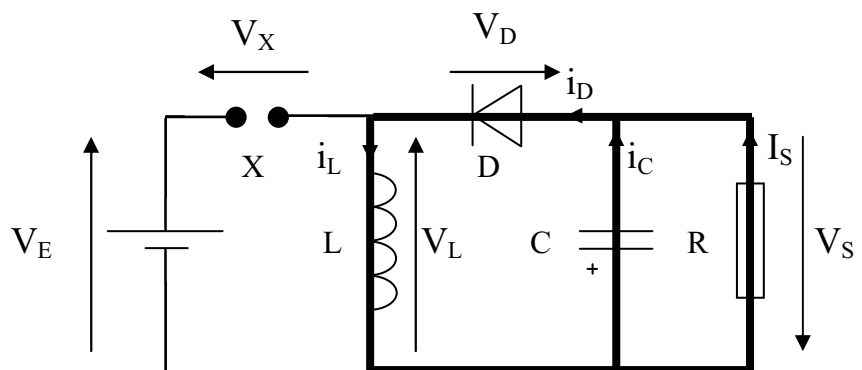


Figure 17

- Q58.** A partir de la Figure 15 p.16, donner l'équation reliant  $V_E(t)$ ,  $V_L(t)$  et  $V_X(t)$ .
- Q59.** En passant aux valeurs moyennes, en déduire l'équation reliant  $\overline{V_E}$  et  $\overline{V_X}$ .
- Q60.** A partir de la Figure 16 p.17, donner l'équation de  $V_X(t)$  pendant la première partie de la période (de 0 à  $\alpha T$ ).
- Q61.** A partir de la Figure 17 p.17, donner l'équation de  $V_X(t)$  pendant la deuxième partie de la période (de  $\alpha T$  à  $T$ ).
- Q62.** A partir des deux questions précédentes, donner l'expression de la valeur moyenne de  $V_X(t)$ .
- Q63.** Des questions Q59 et Q62, en déduire  $\frac{V_S}{V_E} = f(\alpha)$ . Par une étude simple du signe de la fonction, montrer alors qu'il s'agit bien d'un hacheur inverseur.
- Q64.** Application numérique : On pose  $\alpha = 0,5$  et  $V_E = 12$  V, déduire de la question précédente la valeur de  $V_S$ .
- Q65.** Compléter les chronogrammes du Document réponse 6 p.35.
- Q66.** On souhaite pouvoir obtenir une tension  $V_S$  comprise entre 11 et 13 Volts. Donner les valeurs extrêmes du rapport cyclique  $\alpha$ .

### C. Détermination de la valeur de la bobine

Cette partie du sujet se propose de déterminer la valeur de la bobine  $L$  nécessaire à un fonctionnement continu du montage.

Afin de se prémunir d'un fonctionnement discontinu de ce hacheur, nous souhaitons dimensionner la valeur de la bobine en maintenant l'ondulation du courant  $I_L$  dans une valeur inférieure à 0,25 A avec un courant moyen de l'ordre de 2 A pour un rapport cyclique  $\alpha$  de 50 %.

En régime permanent, le courant circulant dans la bobine évolue entre  $I_{L \min}$  et  $I_{L \max}$  comme présenté sur le chronogramme de la Figure 18. Attention, cette figure n'est qu'indicative sur la forme du courant  $i_L(t)$  circulant dans la bobine et n'est donc pas à l'échelle pour le courant moyen  $\overline{I_L}$  !

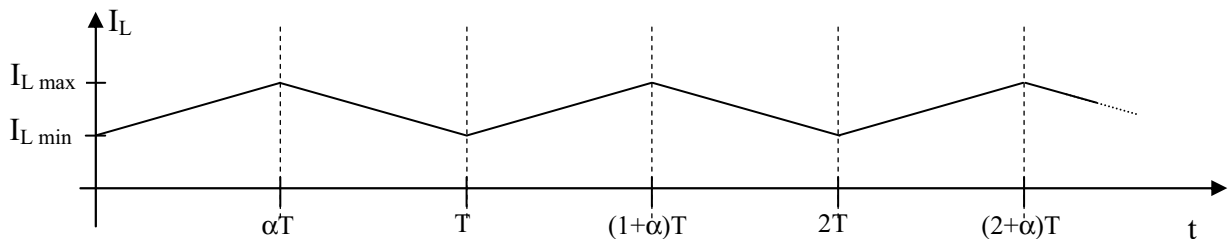


Figure 18

- Q67.** En expliquant votre raisonnement, compléter les chronogrammes des courants  $I_D$  et  $I_X$  du Document réponse 7 p.36.
- Q68.** En se référant au montage de la Figure 16 p.17, donner l'équation d'évolution du courant dans la bobine sur la durée  $[0, \alpha T]$  et en déduire l'équation  $\Delta I_L = f(V_E, \alpha, L, F)$ .
- Avec  $\Delta I_L = I_{L \max} - I_{L \min}$  et  $F$  : Fréquence de commutation de l'interrupteur commandé.
- Q69.** Application numérique : On pose  $\alpha = 0,5$  ;  $V_E = 12$  V et  $F = 50$  kHz. Calculer la valeur de la bobine, pour obtenir  $\Delta I_L = 0,25$  A.

**Fin de l'énoncé**