

# BACCALAUREAT GENERAL

Session 2003

Série S Sciences de l'ingénieur

## ETUDE D'UN SYSTEME PLURITECHNIQUE

Coefficient : 4

Durée de l'épreuve : 4 heures

*Sont autorisés les calculatrices électroniques et le matériel nécessaire à la représentation graphique.  
Aucun document n'est autorisé.*

**Le candidat doit disposer des feuilles 1/11 à 11/11 et du document réponse. Les autres réponses seront données sur feuille de copie. Il est conseillé de traiter les différentes parties dans l'ordre.**

### POMPE MEDICALE OPTIMA<sub>3</sub>



### SOMMAIRE

#### ***PRESENTATION DU SYSTEME***

durée conseillée : 10 min pour la lecture des pages 1/11 et 11/11.

#### ***PREMIERE PARTIE : GENERATION DU DEBIT***

durée conseillée : 50 minutes (/5points)

#### ***DEUXIEME PARTIE : MODIFICATION DE LA COMMANDE DE DEBIT***

durée conseillée : 1H 10 minutes (/6points)

#### ***TROISIEME PARTIE : DETECTION D'UNE OCCLUSION***

durée conseillée : 55 minutes (/4points)

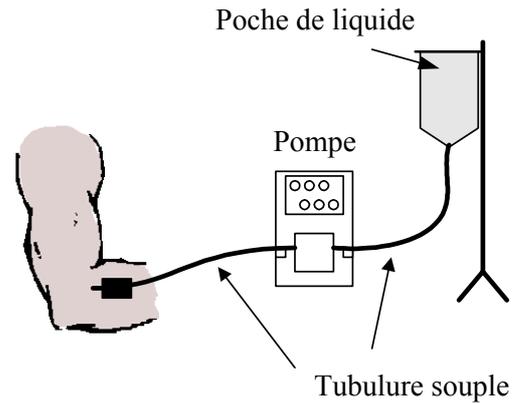
#### ***QUATRIEME PARTIE : REDUCTION DES NUISANCES SONORES***

durée conseillée : 55 minutes (/5points)

# PRÉSENTATION DU SYSTÈME

## MISE EN SITUATION

La pompe médicale OPTIMA<sub>3</sub> est une pompe volumétrique utilisée en milieu hospitalier. Elle permet d'assurer la mise en mouvement des médicaments et des nutriments liquides délivrés en perfusion.

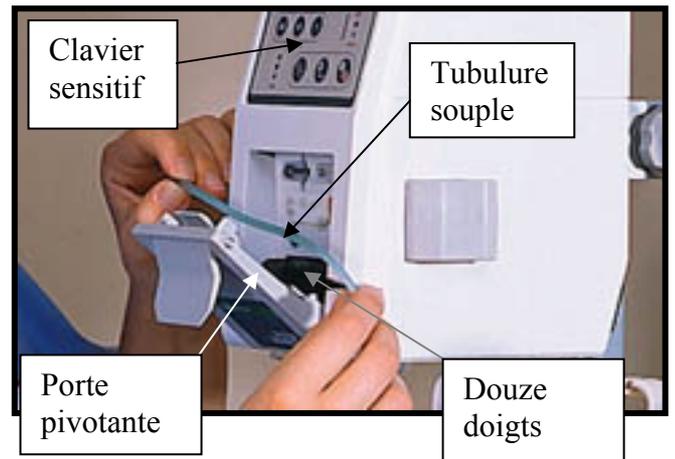


## FONCTIONNEMENT

L'appareil est branché sur secteur (230V). Il possède également une batterie en cas de panne secteur.

La tubulure souple liée à la poche de liquide à transférer est totalement remplie avant d'être reliée au patient (évite l'introduction d'air).

Le personnel médical introduit la tubulure souple dans l'appareil et referme la porte pivotante. Cette tubulure est alors « coincée » entre une plaque de contre-pression intégrée à la porte et douze doigts. La photo située à la page précédente montre la pompe porte fermée ainsi que la tubulure en place.

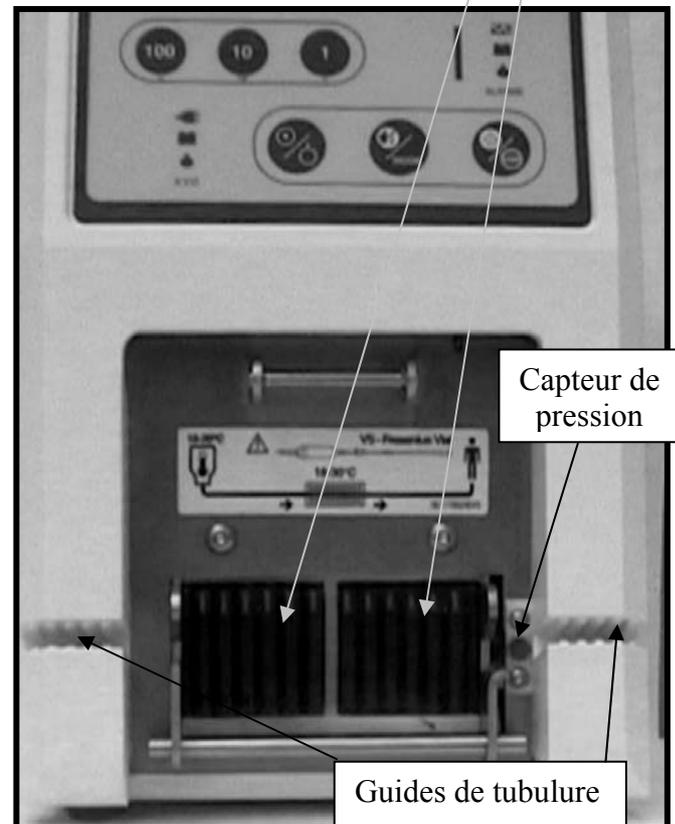


Grâce au clavier sensitif, l'infirmière sélectionne le débit, le volume de liquide à perfuser et met en marche le système.

Les douze doigts ont alors un mouvement coordonné qui provoque l'écrasement de la tubulure et le déplacement du liquide situé à l'intérieur.

Le principal avantage d'une pompe utilisant ce principe réside dans le fait qu'aucune partie mécanique, autre que la tubulure, n'est en contact avec le liquide déplacé.

La photo ci-contre montre la face avant (porte retirée) au niveau des douze doigts. Le groupe motopompe situé derrière cette face avant est dans la position correspondant à la vue de face du dessin d'ensemble.



Ce dessin d'ensemble (page 11/11) fait apparaître la chaîne cinématique reliant le moteur (16) aux doigts (7).

Le dessin en perspective (fig.1) sur cette même page montre l'assemblage des douze excentriques (2) sur l'arbre (1) de section hexagonale.

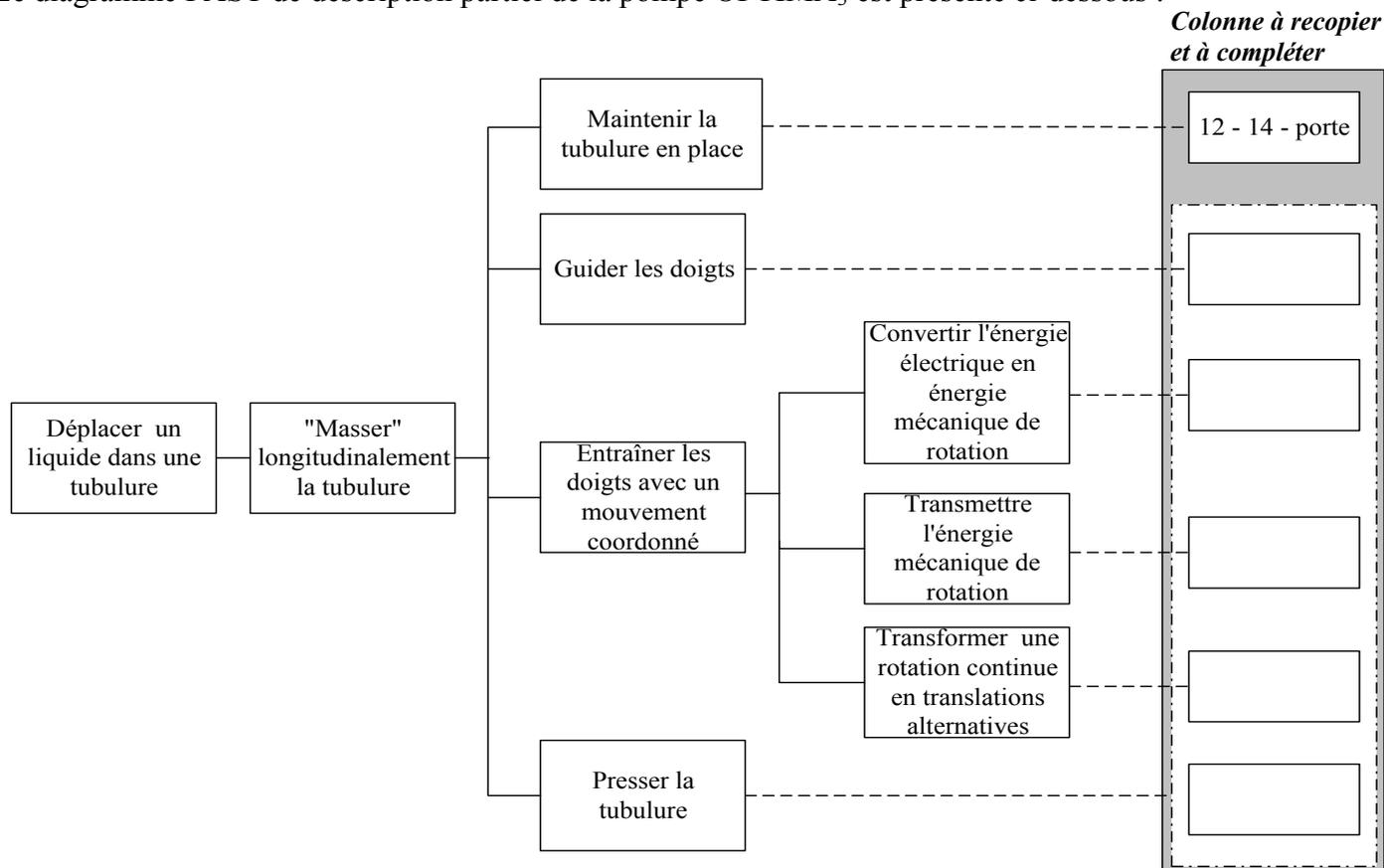
La géométrie d'un excentrique est également précisée sur la fig.2 de la page 11/11.

## PREMIERE PARTIE : GENERATION DU DEBIT

*L'objet de cette première partie est d'analyser la chaîne cinématique reliant le moteur aux douze doigts afin de vérifier puis critiquer les choix technologiques adoptés par le constructeur.*

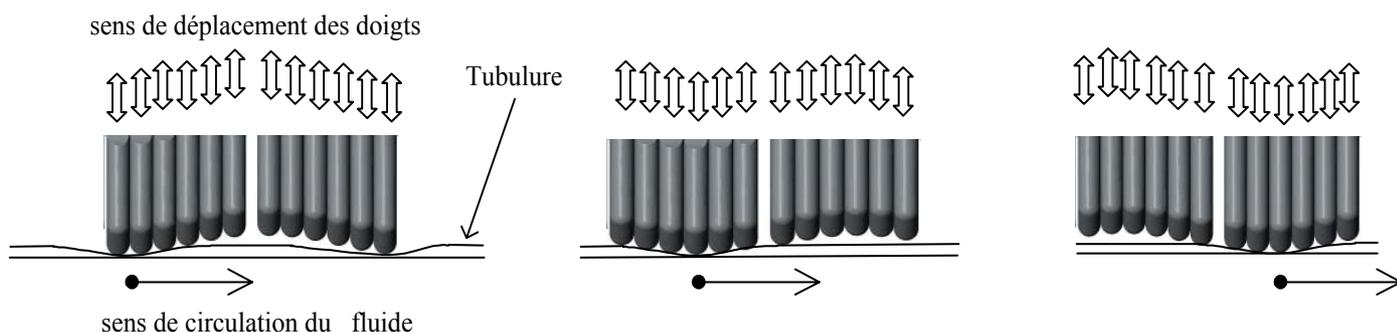
### Etude de la chaîne cinématique.

Le diagramme FAST de description partiel de la pompe OPTIMA<sub>3</sub> est présenté ci-dessous :



**Question 1.** Sur feuille de copie, compléter le diagramme FAST ci-dessus à l'aide de la présentation du système et du dessin d'ensemble. Seule la dernière colonne est à recopier et à compléter à l'aide des repères de pièces suivants : 1, 2, 5, 7, 9, 16, 24, 25, 26, 28, 29 et 30.

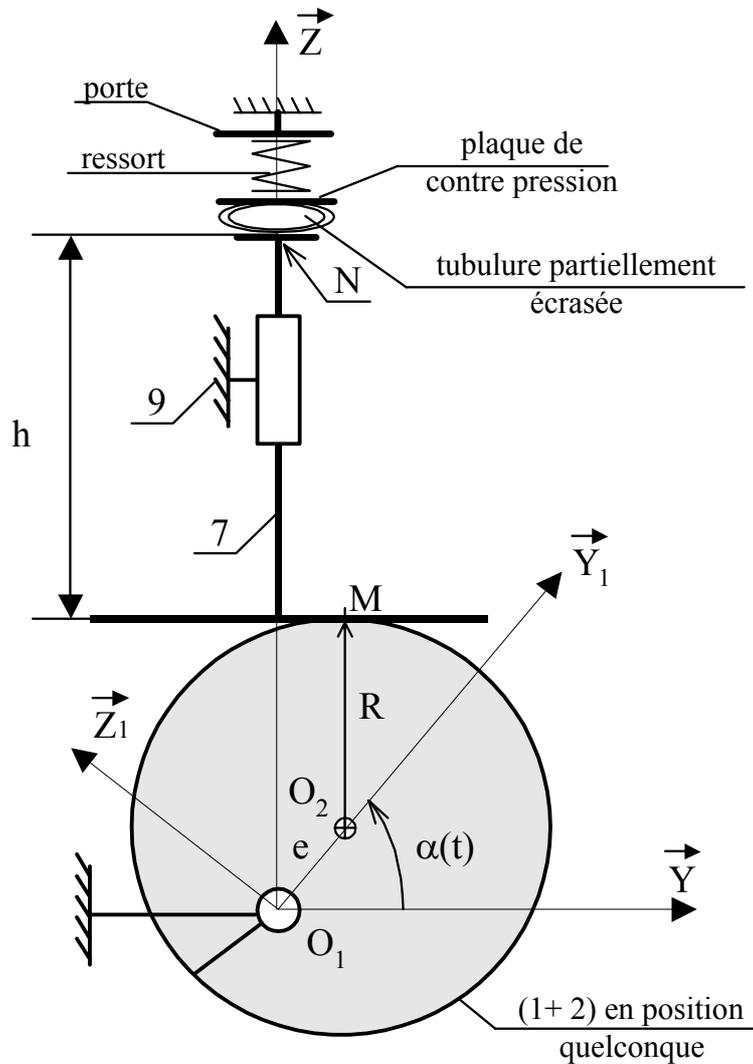
*Les dessins ci-dessous représentent différentes positions (vues de dessus) des doigts en cours de fonctionnement (mouvement de vague).*



**Question 2.** Quelle conséquence le fonctionnement par « vagues » induit-il sur le débit instantané ?

**Détermination de la course des doigts.**

On étudie un ensemble constitué du bâti (carter de pompe (9)), d'un excentrique (2) monté sur l'arbre (1) et d'un doigt (7). Le schéma de cet ensemble est donné ci-dessous. ( $O_1O_2 = e = 2 \text{ mm.}$ )  
 Le diamètre de la tubulure lorsqu'elle n'est pas écrasée est de 2,7 mm.



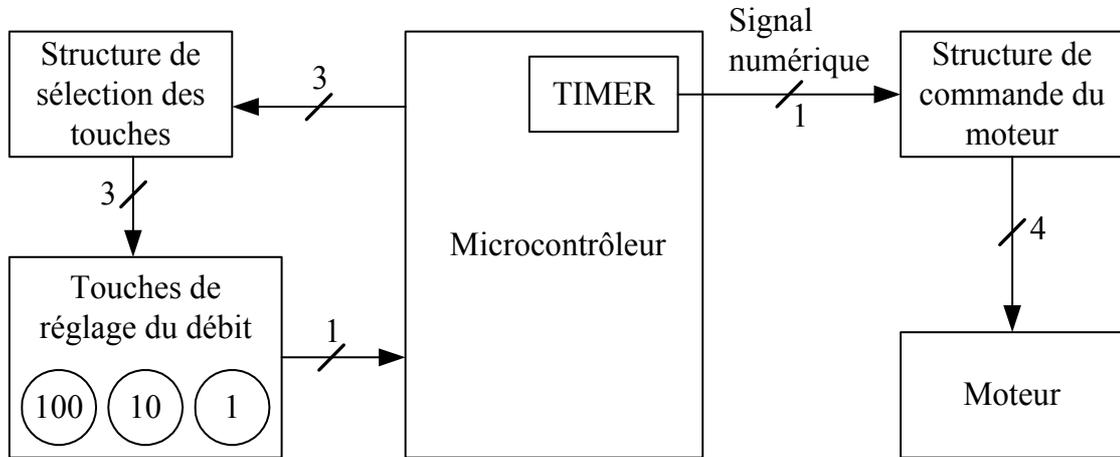
**Question 3.** Déterminer par la méthode de votre choix, la course du doigt lorsque l'excentrique fait un tour.

**Question 4.** Que peut-on dire de la valeur de cette course au regard du diamètre de la tubulure? Argumenter.

**Question 5.** Justifier le fait que la plaque de contre-pression en contact avec les doigts soit liée de façon élastique à la porte (par trois ressorts).

## DEUXIEME PARTIE : DETERMINATION DE L' ORGANIGRAMME DE COMMANDE

*Le débit est réglé en fonction des soins. Il est compris entre 1 ml/h et 999 ml/h. L'infirmière dispose actuellement de deux touches + et - situées sur la face avant de la pompe.  
La modification envisagée consiste à remplacer les deux touches par trois : centaines, dizaines, unités.*



*On se propose, à partir de la nouvelle structure matérielle (voir schéma ci-dessus) de gestion du débit, d'élaborer l'organigramme du programme contenu dans le microcontrôleur.*

### Relation entre la rotation du moteur et le débit dans la tubulure.

*On suppose que la tubulure est totalement écrasée lorsqu'un doigt est complètement sorti. Son diamètre intérieur est noté (d). On supposera qu'un tour d'arbre génère une vague complète sur la tubulure.*

**Question 6.** Exprimer et calculer le volume V (en ml) débité pour un tour de l'arbre à excentriques en fonction de d et L (en mm). ( Valeurs numériques : d=2,7 mm ; L= 56,5 mm voir page 11/11).

\*Rappel :  $1 \text{ ml} = 10^{-3} \text{ dm}^3$

**Question 7.** Exprimer le rapport  $N_{\text{arbre excentrique}} / N_{\text{moteur}} (N_1/N_{24})$  en fonction de  $Z_5$  et  $Z_{28}$ . ( $N_i$  est la vitesse en tr/min de l'élément i ;  $Z_i$  est le nombre de dents de la poulie i ).

**Question 8.** Calculer les vitesses de rotation mini et maxi ( $N_{\text{mini}}$  et  $N_{\text{maxi}}$ ) du moteur correspondant respectivement à un débit de 1ml/h et 999 ml/h.

### Fréquence du signal de commande du moteur.

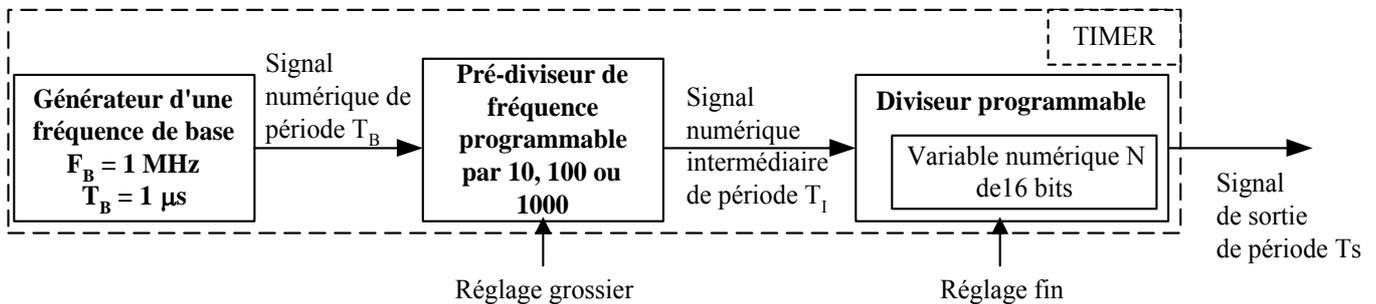
*Le moteur est commandé par une structure qui ne fait pas partie de l'étude. Celle-ci permet de faire tourner le moteur de  $1/400^{\text{me}}$  de tour à chaque période du signal numérique appliqué sur son entrée (voir schéma page 5/11).*

*Pour les vitesses mini et maxi du moteur on prendra  $0,15 \text{ tr/min} \leq N_{\text{moteur}} < 150 \text{ tr/min}$ , quels que soient les résultats trouvés précédemment.*

**Question 9.** Vérifier par le calcul que  $1\text{Hz} \leq F < 1000 \text{ Hz}$  ; F représentant la fréquence du signal de commande.

## Production du signal numérique commandant le moteur.

Le signal numérique est généré par un composant interne au microcontrôleur appelé **TIMER**. Le schéma ci-dessous vous en donne l'organisation interne :



**Fonctionnement :** Un signal d'horloge de fréquence  $F_H = 1 \text{ MHz}$  est produit par un générateur et est envoyé sur un pré-diviseur programmable. La fréquence est ensuite divisée par 10, 100 ou 1000 (le choix est fait par programmation) pour donner  $F_I$ . Elle va ensuite subir une deuxième division dont la valeur dépend de la variable numérique  $N$  de 16 bits. Le signal de sortie aura une fréquence  $F_S$  dont la valeur vaut  $F_S = F_I / N$  (la période  $T_S$  dans ce cas vaut  $N.T_I$ ).

**Question 10.** Donner les valeurs minimum et maximum de la période du signal de sortie pour  $F_{\max}$  et  $F_{\min}$ .

**Question 11.** En tenant compte du format de la variable  $N$ , justifier par le calcul la (ou les) valeur(s) de la pré-division que l'on choisira afin de pouvoir générer un tel signal.

## Saisie de la valeur du débit désiré.

Le réglage du débit désiré se fait par l'intermédiaire de trois boutons en façade avant (voir photo en présentation et schéma précédent). Lors de l'appui sur l'un des boutons (centaine, dizaine ou unité), le microcontrôleur doit mettre à jour une variable interne appelée **DEBIT**. Cette variable sert à l'affichage (dont on ne s'occupe pas ici) et au réglage de la vitesse du moteur pour contrôler le débit.

La gestion des boutons se fait grâce à trois autres variables intermédiaires : **B100** pour les centaines, **B10** pour les dizaines et **B1** pour les unités.

Le programme doit respecter les spécifications suivantes :

- Le microcontrôleur scrute l'état des boutons en permanence. Il commence par le bouton des centaines et vérifie l'état de celui-ci (enfoncé ou pas).
- Si le bouton est enfoncé alors la variable **B100** est incrémentée, dans le cas contraire elle est inchangée. Pour incrémenter de nouveau, il faut relâcher le bouton et réappuyer.
- Puis il passe au bouton suivant et recommence la même opération. Arrivé au dernier bouton (celui des unités) il calcule la variable **DEBIT** à l'aide des variables **B100**, **B10** et **B1**.

La modification des différentes variables intermédiaires (**B100**, **B10** et **B1**) ne se fait que par incrémentation. Ainsi, le microcontrôleur veille à ce qu'aucune ne dépasse 9 après appui sur l'un des boutons, sinon il la remet à zéro.

**Question 12.** Donner la loi permettant de calculer la valeur de la variable **DEBIT** grâce aux trois variables **B100**, **B10** et **B1**.

**Question 13.** Compléter l'organigramme répondant aux spécifications précédentes, sur le document réponse fourni.

### TROISIEME PARTIE : DETECTION D'UNE OCCLUSION

*Cette étude a pour objectif d'analyser le système de sécurité assurant la protection du patient dans le cas d'une occlusion de la tubulure dans la ligne de perfusion.*

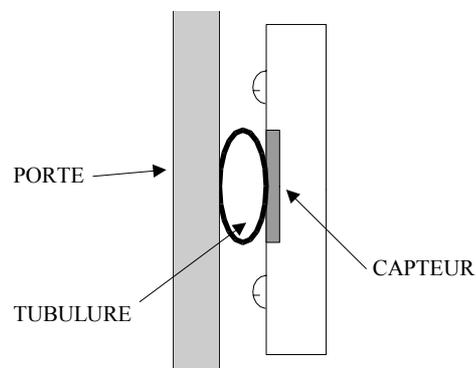
*La pompe médicale a pour but d'assurer l'injection d'un liquide par perfusion à un patient, sans qu'il y ait besoin d'intervention de la part du personnel médical.*

*Un des problèmes pouvant survenir en l'absence du personnel est l'occlusion de la tubulure dans la ligne de perfusion.*

*L'occlusion est la fermeture complète du canal de la tubulure due à un écrasement ou à un pliage involontaire. Elle peut aussi survenir à cause de la veine qui se bouche.*

*Dans tous les cas, le liquide ne peut plus passer. Il est important de pouvoir détecter cette anomalie puisque dans ce cas la pompe continue à débiter.*

*Si l'occlusion n'est pas levée, la pression dans le tube augmente dangereusement.*



*La solution retenue a été de placer un capteur de pression à la suite des doigts, pour que celui-ci entre en contact avec la tubulure lors de la fermeture de la porte (voir dessin ci-dessus et photos page 1/11).*

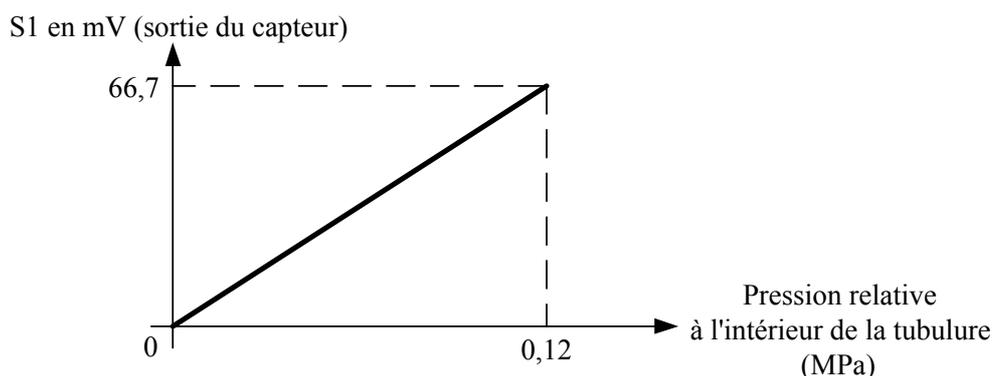
*Ainsi au delà d'un seuil de pression détecté (étalonné en usine), le moteur est stoppé par le microcontrôleur.*

#### Principe de fonctionnement du capteur :

Lors de la fermeture de la porte, la tubulure se trouve plaquée contre le capteur. La partie grisée du capteur est réalisée dans un matériau souple où est noyé un fil électrique.

La déformation de ce fil provoque une variation de sa résistivité, donc de la tension délivrée par le capteur.

La caractéristique d'entrée/sortie du capteur, étalonné au montage en usine, est la suivante :



Cette courbe donne la tension délivrée par le capteur en fonction de la pression relative du liquide situé dans la tubulure.

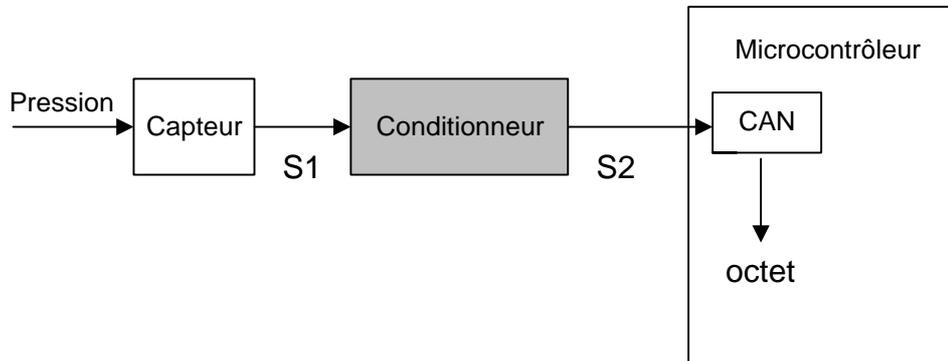
**Question 14.** Identifier la nature de l'information délivrée par le capteur. Calculer la sensibilité du capteur (en mV/MPa).

## Etude du conditionneur.

L'information, délivrée par le capteur, est envoyée au microcontrôleur qui possède un convertisseur analogique-numérique (CAN) afin d'y être numérisée.

La précision voulue lors de l'acquisition de l'information doit rester inférieure à 0,01 MPa pour assurer un fonctionnement optimal.

L'ensemble est structuré de la manière suivante :



Nous allons justifier l'utilité du conditionneur (Q15 et Q16), sa fonction (Q17) et calculer sa caractéristique  $S2 = f(S1)$  (Q18).

**Question 15.** Calculer la valeur du pas de conversion du CAN sachant que celui-ci a une valeur pleine échelle de 5 V et qu'il a un format de 8 bits.

**Question 16.** En déduire la plus petite valeur de pression que peut mesurer le microcontrôleur . Cette pression est-elle acceptable ?

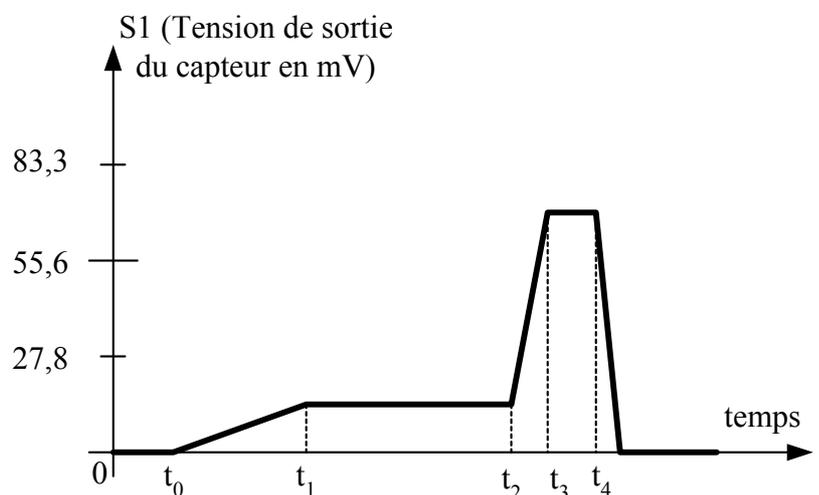
**Question 17.** Donner la fonction que doit assurer le conditionneur pour que la chaîne de mesure respecte la précision (filtrage, atténuation, amplification, mise en forme,... ?).

**Question 18.** Calculer la valeur de la caractéristique  $S2 = f(S1)$  pour obtenir une augmentation de 1V en sortie pour 0,1 MPa d'augmentation de pression.

## Etude d'un enregistrement.

Un relevé du signal délivré par le capteur a été effectué lors d'une occlusion de la tubulure :

$t_0$  : mise en marche du moteur  
 $t_2$  : occlusion de la tubulure  
 $t_4$  : ouverture de la porte par l'infirmière



**Question 19.** Identifier l'intervalle de temps correspondant à la phase de fonctionnement normal et donner la pression relative dans la tubulure pendant cette phase.

**Question 20.** Expliquer l'évolution du signal entre les instants  $t_2$  et  $t_3$ .

**Question 21.** Identifier la phase durant laquelle le moteur est arrêté et donner la valeur de la pression maxi pour laquelle le moteur s'arrête.

*Lors d'une occlusion, la mise hors tension du moteur est assurée par le microcontrôleur.*

**Question 22.** A partir de la valeur de la pression maxi, calculer le mot binaire correspondant en sortie du CAN permettant de déclencher la protection par le logiciel.

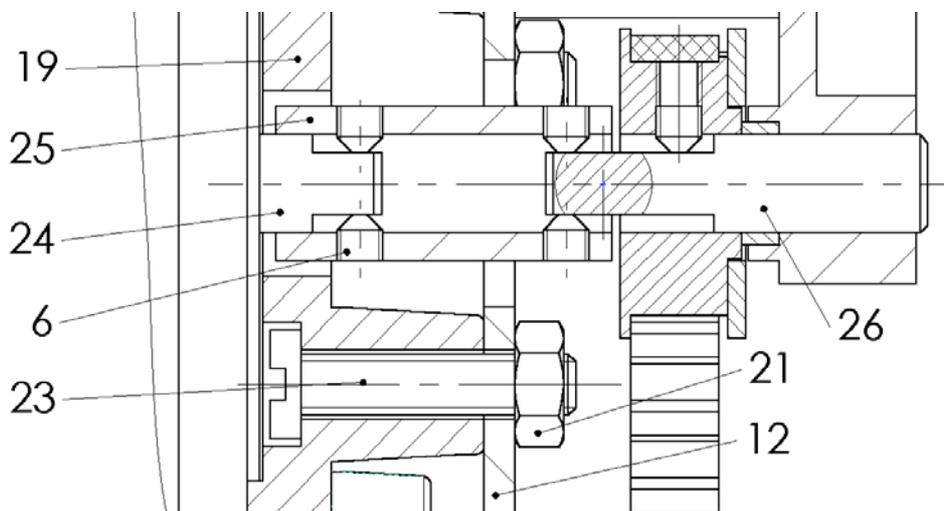
### **QUATRIEME PARTIE : REDUCTION DES NUISANCES SONORES**

*Pour ne pas gêner le patient dans son sommeil, il faut que la pompe soit la plus silencieuse possible. La principale source de bruit provient des vibrations produites par le moteur.*

*Le dessin ci-après est un extrait, à l'échelle 2 :1, de la coupe C-C du dessin d'ensemble.*

*Le support moteur (19) est lié au bâti (12) de la pompe, par l'intermédiaire de trois boulons (21 + 23).*

*De même, l'arbre moteur (24) est lié à l'arbre (26) de la poulie motrice par l'accouplement rigide (25) et quatre vis de pression (6).*



Echelle 2:1

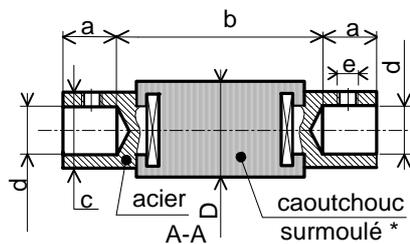
*Pour éviter la propagation des vibrations au bâti de la pompe, on désire « isoler » le moteur du reste de l'appareil.*

*Pour cela :*

- *L'arbre moteur (24) entraînera l'arbre (26) de la poulie grâce à un accouplement élastique en lieu et place de l'accouplement rigide (25) ;*
- *Le support moteur (19) ne sera plus lié directement à la pièce (12). On intercalera entre ces deux pièces trois amortisseurs de vibrations.*

Les éléments seront choisis ultérieurement parmi les extraits de catalogues qui suivent.

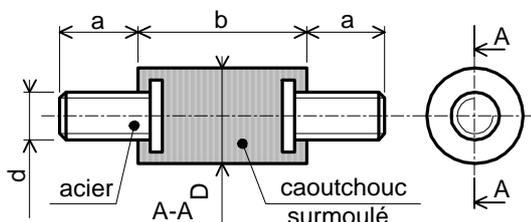
### Accouplement élastique



Référence	a	b	c	D	d	e	Cmax (N.m)
AC 0375 025	4	10	7	8	4,76	M2	0,25
AC 0500 030	6	10	9	10	6,35	M3	0,3
AC 0500 050	6	10	13	14	6,35	M3	0,5
AC 0500 070	6	15	15	16	6,35	M3	0,7
AC 1000 120	8	18	18	20	12,7	M4	1,2

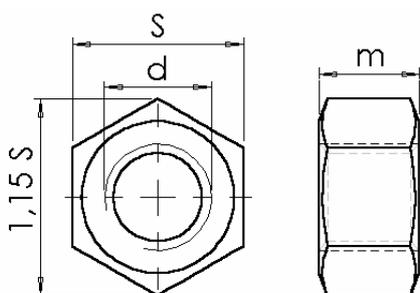
(\* : Les éléments en acier sont noyés dans le caoutchouc)

### Amortisseur de vibrations



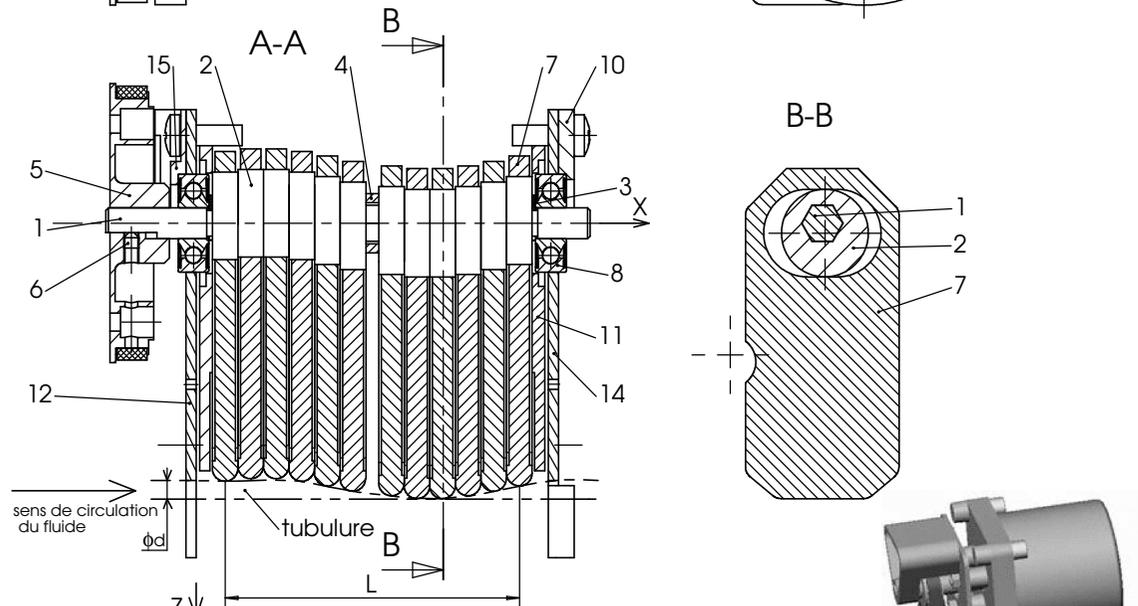
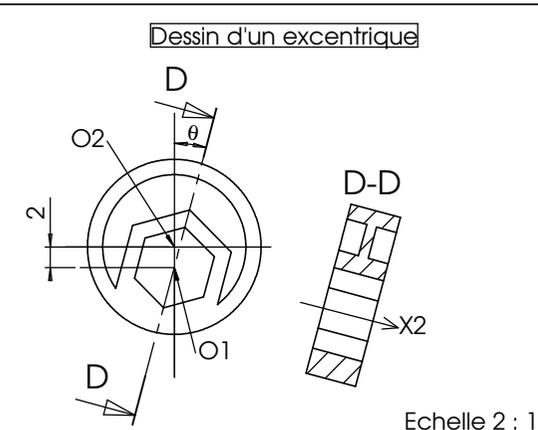
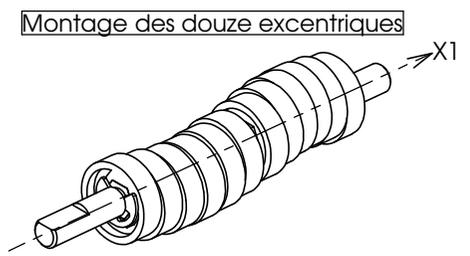
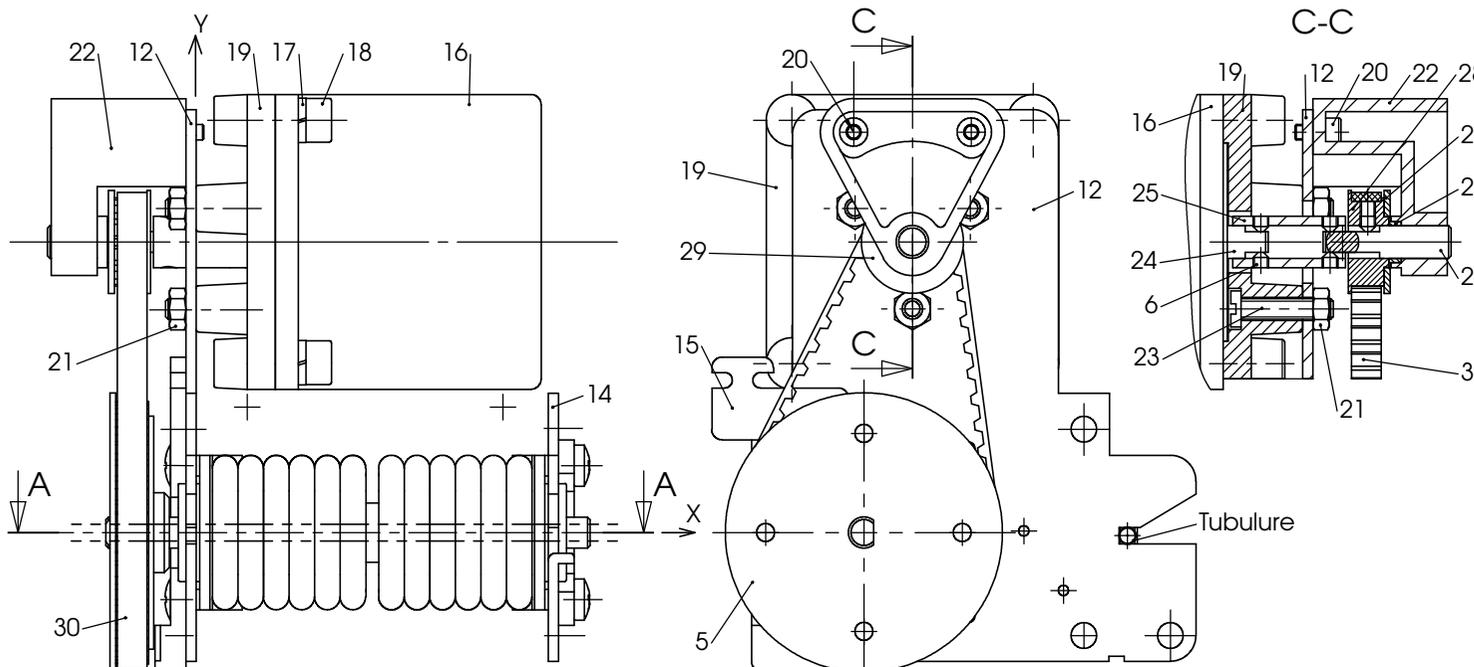
Référence	a	b	d	D
AV 13-8	4	5	3	8
AV 18-10	4	10	4	10
AV 26-10	8	10	4	10
AV 34-12	12	10	4	12
AV 45-14	15	15	6	14

### Ecrous



Désignation	s (mm)	d (mm)	m (mm)	Ømini lamage pour passage de clé à pipe
Hm, M2	4	M2	1,2	10
H, M2	4	M2	1,6	10
Hm, M3	5,5	M3	1,8	12
H, M3	5,5	M3	2,4	12
Hm, M4	7	M4	2,2	16,5
H, M4	7	M4	3,2	16,5

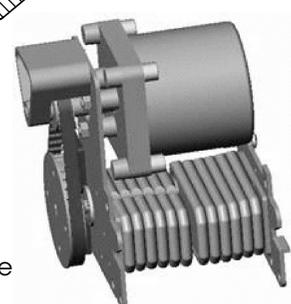




30	1	courroie crantée	15	1	arrêt roulement gauche
29	1	flasque poulie	14	1	plaque latérale droite
28	1	poulie 11 dents	13	8	vis CLB Z, M4-12
27	1	entretoise poulie motrice	12	1	plaque latérale gauche
26	1	arbre poulie	11	2	plaque d'espacement
25	1	accouplement rigide	10	1	arrêt roulement droite
24	1	arbre moteur	9	1	carter pompe
23	3	vis d'assemblage stator	8	2	roulement 6 BC 02
22	1	palier	7	12	doigt
21	3	Ecrou H, M4	6	6	vis sans tête HC, M3-3
20	2	Vis CHC M3-6	5	1	poulie 32 dents
19	1	support moteur	4	1	entretoise
18	4	vis C HC, M5-12	3	2	segment d'arrêt radial, 6x0,7
17	4	rondelle W 5	2	12	excentrique
16	1	moteur	1	1	arbre à excentriques
Rep.	Nb	Désignation	Rep.	Nb	Désignation

Licence d'éducation SolidWorks  
A titre éducatif uniquement

Vue d'ensemble partielle  
en perspective



POMPE PERISTALTIQUE OPTIMA 3  
Groupe moto-pompe

# DOCUMENT REPONSE

**Question 13.** Compléter l'organigramme répondant aux spécifications précédentes.

