
POMPE A INSULINE AUTOMATISEE, UNE AVANCEE MAJEURE POUR LE TRAITEMENT DU DIABETE

Éléments de correction

Le corrigé de l'épreuve écrite ci-après n'est qu'une proposition qui n'a d'autre but que celui d'aider les futurs candidats dans leur préparation au concours général des lycées ; il ne s'agit pas d'un modèle normatif.

Validation de la pompe à insuline

- Q1.** Chaîne directe : contrôleur + pompe à insuline + modèle du patient.
Chaîne de retour : Capteur.
- Q2.** Variation de la glycémie en raison du repas et des activités physiques.
- Q3.** Présence d'une boucle de rétroaction.
- Q4.** Pas de dépassement, pente de la tangente à l'origine non nulle d'où système du premier ordre.
- Q5.** La constante de temps est d'environ $\tau_{pompe} = 400 \text{ s}$.
Le temps de réponse à 5 % est $t_{5\%pompe} = 3\tau_{pompe} = 1200 \text{ s} = 20 \text{ min}$.
- Q6.** La constante de temps τ_{physio} est d'environ 24 minutes et le temps de réponse à 5 % physiologique $t_{5\%physio}$ est de 72 minutes.
- Q7.** Le temps de réponse à 5 % de la pompe est de 1200 s (20 minutes) inférieur à la moitié du temps de réponse à 5 % physiologique : 45 minutes. Il est alors possible de valider l'exigence Id 5.1.

Validation du capteur de glycémie

- Q8.** Loi d'évolution affine : $I=0,1G-4$

$$a = 0,1 \text{ A} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{dL} \text{ et } b = -4 \text{ A}$$

- Q9.**

Glycémie Réelle (mg/dL)	Glycémie Capteur (mg/dL)	Différence (%) entre les valeurs de glycémie mesurées par le capteur et les valeurs de référence
50	46	8%
90	82	8,89%
120	112	6,67%
150	142	5,30%
200	190	5,00%

- Q10.** $MARD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{G_{\text{capteur}} - G_{\text{référence}}}{G_{\text{référence}}} \right| \times 100 = 6,8 \%$.

La précision peut être jugée excellente..

Q11. La valeur finale est de 95 mg/dl soit une erreur absolue de 5 mg/dL, et une erreur relative de 5%.

Le temps de réponse à 5% est d'environ 12 minutes.

Le capteur satisfait l'exigence Id 6.1.

Q12.

```
def mise_a_jour_coefficients(a, b, I_mesure, Gref, alpha, beta):  
    Gmes= a*I_mesure+b.  
    a_n= a+alpha*(Gmes-Gref)  
    b_n= b+beta*(Gmes-Gref)  
    return a_n, b_n
```

Q13.

```
#l'erreur est la difference entre la glycémie de reference Gref et celle  
calculée par le capteur  
erreur = Gref - (a * courant_mesure + b)  
#l'écart est l'erreur relative en %  
ecart=(erreur/Gref)*100  
While ecart>10:  
    a,b = mise_a_jour_coefficients(a, b, courant_mesure,  
    reference_glycemie, alpha, beta):
```

Q14. Capteur : 4 µAh

Transmetteur : 160 µAh

Microcontrôleur : 40 µAh

Mode veille : 480 µAh

Soit un total de 684 µAh=0,684 mAh.

Q15. L'autonomie est comprise entre 219 jours et 292 jours soit une autonomie supérieure à 7 mois.
L'exigence Id 6.4 est validée.

Réglage des galets de la pompe péristaltique

Q16. Le fluide ne touche jamais les pièces mécaniques de la pompe, réduisant le risque de contamination et améliorant l'hygiène.

Q18. $h(t)$, $\lambda(t)$, θ , L_1 variables ; L_2 , L_4 constants.

Q19. $\overrightarrow{OA} + \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BO} = \vec{0}$

Q20.

$$L_2 - L_1 \cos \theta = 0$$

$$\lambda - L_1 \sin \theta = 0$$

$$\lambda = L_1 \cdot \tan \theta$$

$$\theta = \arctan \left(\frac{\lambda}{L_2} \right)$$

Q21. Fermeture géométrique :

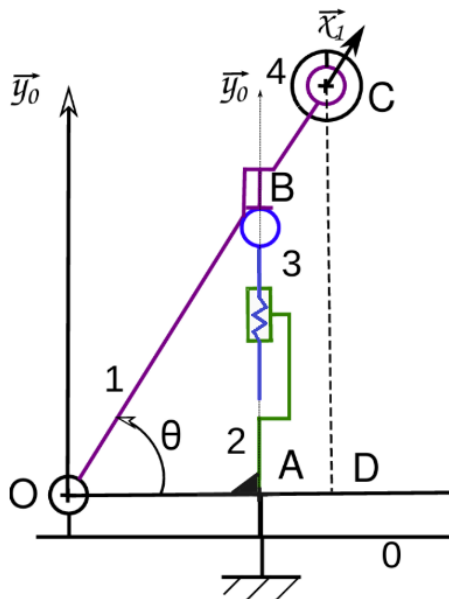
$$\overrightarrow{OD} + \overrightarrow{DC} + \overrightarrow{CD} = \vec{0}$$

$$OD \vec{x}_0 + h \vec{y}_0 - L_4 \vec{x}_1 = \vec{0}$$

$$h(t) = L_4 \cdot \sin \theta$$

Q22. $h(t) = L_4 \cdot \sin \left(\arctan \left(\frac{\lambda}{L_2} \right) \right)$

Q23.



Q24. Irréversibilité.

Q25. $\lambda = L_2 \tan \left(\arcsin \left(\frac{h}{L_4} \right) \right) = 1,91 \text{ mm}$ et $\theta_{mot} = \frac{1,91}{0,25} = 7,67 \text{ tr}$

Q26. $\Delta t = \frac{7,67}{10} = 0,76 \text{ s.}$

Q27. L'exigence Id 2.1 du tableau 1 est respecté car $\Delta t < 1 \text{ s.}$

Étude des conditions de fonctionnement

Q28. Sens horaire.

Q29. $\theta_{injection} = \frac{t_1}{2} \cdot \Omega_{max} + \Omega_{max} \cdot t_2 + \frac{t_3}{2} \cdot \Omega_{max}$ d'où $\theta_{injection} = \Omega_{max} \cdot (t_1 + t_2)$

Q30. $\Omega_{max} = 2 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}.$

Q31. Courbe triangles 4 galets

Courbe losanges 3 galets

Courbe carrés 2 galets

Q32. 2 galets : Q_{max} , 3 galets Q_{milieu} , 4 galets Q_{min} .

Modélisation de l'étanchéité de la membrane et de l'entraînement du fluide.

Q33. $r = \frac{\Omega_{barillet}}{\Omega_{moteur}} = \frac{2}{1972} = \frac{1}{986}$

Q34. Roue et vis sans fin, train épicycloïdal ou trains engrenages.

Q35. $C_p = T_{galet \rightarrow tubulure} \cdot (R_{galet} + R_{barillet}) \cdot N_{gp}$

Q36. $P_{pompe} = \eta \cdot P_{moteur}$

$$C_p \cdot \omega_p = \eta_{red} \cdot C_m \cdot \omega_m$$

$$C_m = r \cdot T_{galet \rightarrow tubulure} \cdot (R_{galet} + R_{barillet}) \cdot \frac{N_{gp}}{\eta_{red}}$$

Q37. Phase 1 : accélération constante

Phase 2 : vitesse constante,

Phase 3 : décélération constante

Q38. $P_{elec} = \frac{P_{max}}{\eta_{red} \cdot \eta_{mot}}$

Q39. $E_{cons} = P_{max} \cdot (t_1 + t_2)$

Q40. L'écrasement du tube est ici modélisé par un ressort.

Q41. Couple : acier caoutchouc.

Q42. $T_{galet \rightarrow membrane} = N_{(galet \rightarrow membrane)} \cdot \mu$

Q43. $\Delta u = \frac{T_{galet \rightarrow membrane}}{\mu \cdot k_e}$

Q44. $\Delta u = \frac{14}{0,6 \cdot 700} = 3 \text{ cm}$, l'écrasement est supérieur à l'épaisseur de la tubulure (0,5 mm), l'exigence sur l'étanchéité est validée.

Validation de l'exigence de débit

Q45. $U = E + R \cdot I$

Q46. Au démarrage, la f_{cem} est nulle donc $U = R \cdot I_{dem}$, d'où $R = \frac{1,2}{2,3} = 0,52 \Omega$.

Q47. $E = U - R \cdot I = K_e \cdot \Omega_r$ d'où $K_e = \frac{U - R \cdot I}{\Omega_r}$

Nous trouvons avec les valeurs à vide ou nominales $K_e = 0,55 \text{ V} \cdot \text{s} \cdot \text{rad}^{-1}$.

Q48. $E = U - R \cdot I = 1,1 \text{ V}$

$$\omega_{red} = 2 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$N_{red} = 19,1 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$$

Q49. $n_t = 0,48 \text{ tour}$ et $v_l = n_t \times cyl = 10,6 \mu\text{L}$.

Q50. Premier cas débit basal de 10 U/h c'est-à-dire 100 µL/h

Le nombre de cycles nécessaires est $\frac{100}{10,6} = 9,4$.

Soit un cycle toutes les 6,4 minutes.

Deuxième cas débit basal de 0,01 U/h c'est-à-dire 0,1 µL/h

Le nombre de cycles nécessaires est $\frac{0,1}{10,6} = 9,4 \cdot 10^{-3}$.

Soit un cycle tous les 106 heures (plus de 4,4 jours).

Q51. $Q = \frac{12}{2\pi} \cdot (t_1 + t_2) \cdot cyl_{pompe} \cdot \Omega_{max}$.

Q52. La commande se fait sur 10 bits soit 1024 valeurs possibles.

Q53. $Q_{min} = 0 \mu L \cdot h^{-1}$ et $Q_{max} = 142 \mu L \cdot h^{-1}$.

Q54. L'exigence Id 1.1 est validée.

Intérêt de l'asservissement

Q55. Glycémie normale comprise entre 88 mg/dL et 110 mg/dL ;

Amplitude de glycémie 22 mg/dL ;

Variation maximale de 15 mg/dL/h.

Les 3 critères sont validés.

Q56. Glycémie comprise entre 100 mg/dL et 225 mg/dL ;

Amplitude de glycémie 125 mg/dL ;

Variation maximale de 60 mg/dL/h.

Aucun des critères n'est validé.

Q57. Glycémie normale comprise entre 70mg/dL et 160 mg/dL ;

Amplitude de glycémie 90 mg/dL ;

Variation maximale de 50 mg/dL/h.

Les critères liés à l'amplitude et à la variation maximale ne sont pas validés.

Q58. Glycémie normale comprise entre 90 mg/dL et 115 mg/dL ;

Amplitude de glycémie 25 mg/dL ;

Variation maximale de 17 mg/dL/h.

Les 3 critères sont validés.

Les exigences Id 1.2, Id 1.3 et Id 1.4 sont validées.

Q59. La pompe automatisée permet le traitement du diabète en agissant sur la glycémie permettant le respect des recommandations de la HAS.