

Exploitation pédagogique d'un dossier technique (2^{ème} épreuve) :

Coefficient 1 - durée : 6 heures

Les cytolculteurs dans le domaine biomédical

Eléments de correction :

1. Cahier des charges Cytoculteurs

Question 1. Présenter le système aux élèves sous forme de diagrammes des exigences

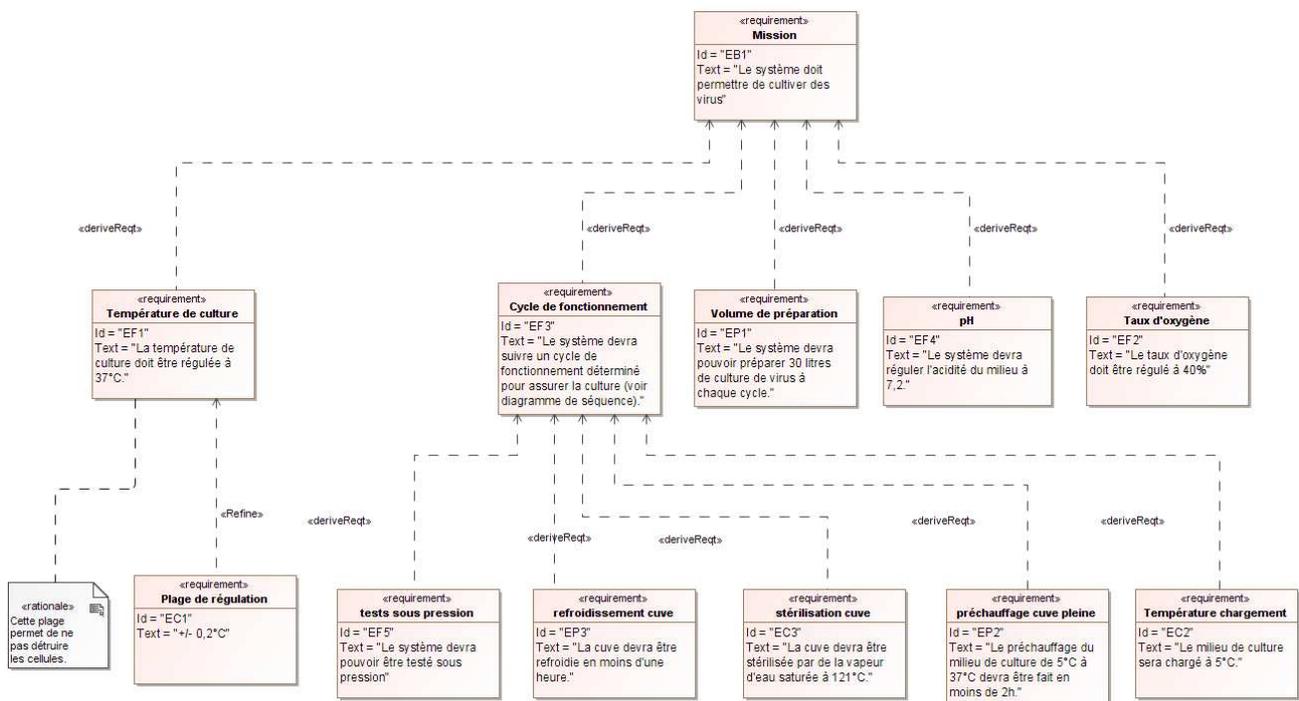


Diagramme des cas d'utilisation

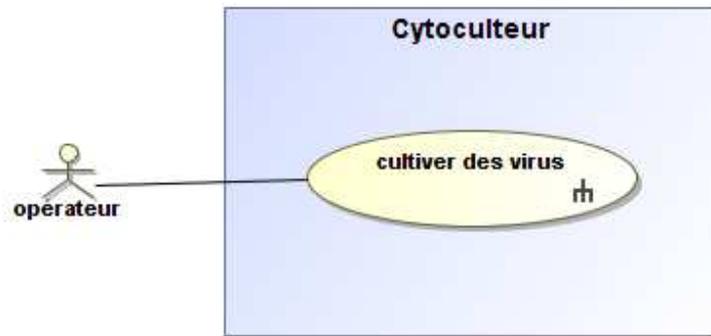
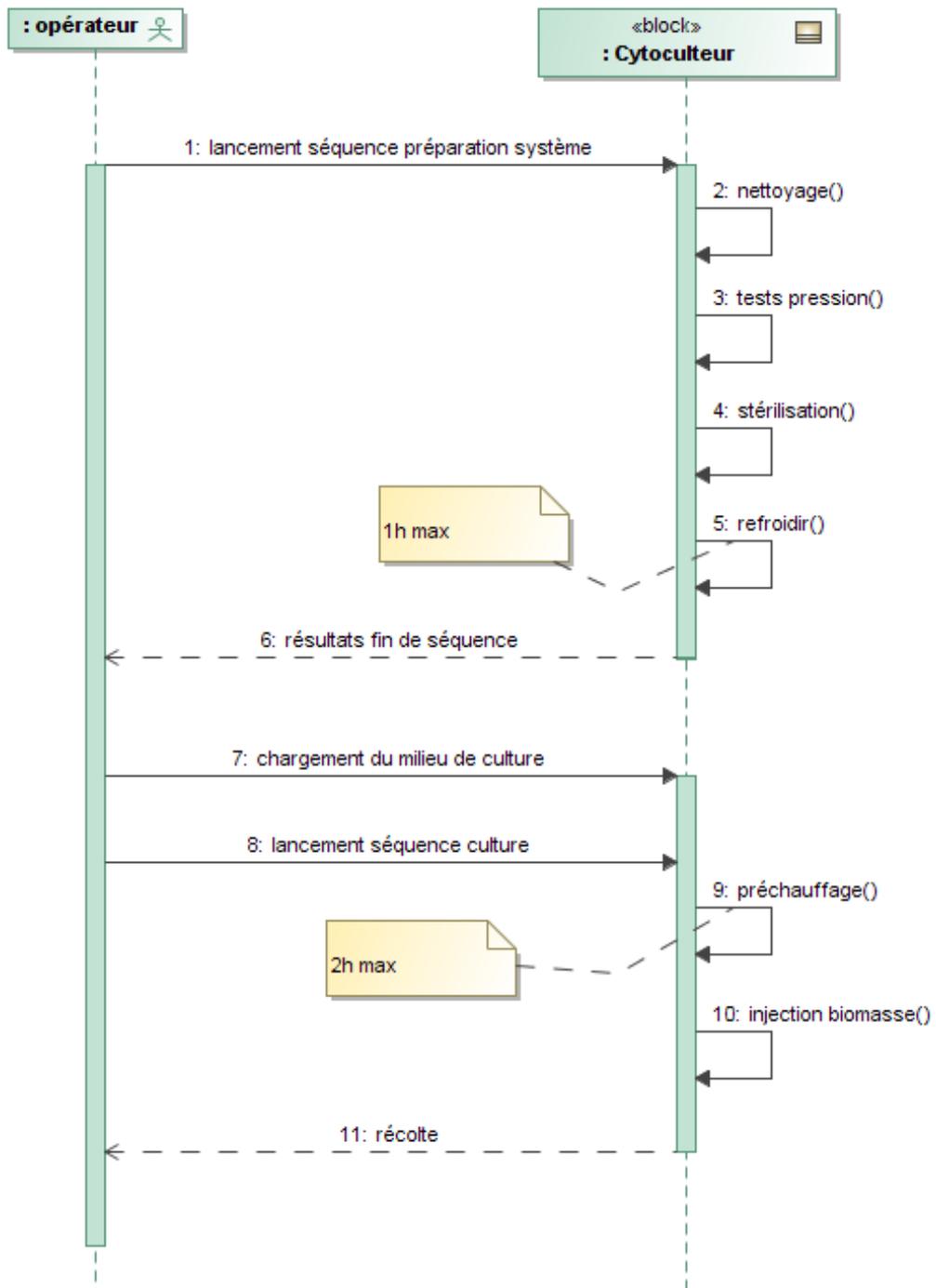


Diagramme de séquences non chronologique.



2. Process

En prévision de l'exploitation pédagogique, le travail préparatoire du professeur conduit à valider le dimensionnement de la double enveloppe.

2.1 Dimensionnement de la Double enveloppe

Question 2. Calculer le pouvoir d'échange Q_1 de la double enveloppe (en kcal/h), en utilisant la règle de calcul suivante : $Q_1 = K \times S \times ((T_{2e} + T_{2s})/2 - T_{1d})$

$$Q_1 = 163 \times 0,371 \times (77/2 - 5) = 2026 \text{ kcal.h}^{-1}$$

Question 3. Calculer le besoin calorifique P_1 (kcal) du produit, quantité de chaleur pour monter en température le produit.

$$P_1 = V_1 \times d_1 \times Ch_1 \times (T_{1r} - T_{1d}) = 30 \times 1 \times 1 \times (35 - 5) = 900 \text{ kcal}$$

Question 4. Calculer le temps de préchauffage de 5°C à 35°C.

$$T_1 = P_1 / Q_1 = 900 / 2026 \times 60 = 27 \text{ min}$$

Question 5. Calculer le pouvoir d'échange Q_2 de la double enveloppe, le besoin calorifique P_2 du produit et le temps de préchauffage de 35°C à 37°C.

$$Q_2 = 163 \times 0,371 \times ((40 + 37) / 2 - 35) = 211,6 \text{ kcal.h}^{-1}$$

$$P_2 = 30 \times 2 = 60 \text{ kcal}$$

$$\text{Calcul du temps de chauffage } T_2 = P_2 / Q_2 = 60 \times 60 / 211,6 = 17 \text{ min}$$

Question 6. Le temps de préchauffage est-il compatible avec le cahier des charges ? Discuter de la règle de calcul « simplifiée » utilisée.

Temps global de montée de 5°C à 37°C = 27 + 17 = 43 mn (pour 2h recherché)

Le calcul est une estimation car le pouvoir d'échange de la double enveloppe dépend de la température du produit et n'est donc pas constante sur la montée de 5°C à 35°C par exemple. Le calcul de Q_2 le montre bien, la valeur de Q_2 est 10% celle de Q_1 .

Question 7. À partir des questions précédentes, donner la puissance minimale de l'échangeur à installer pour assurer la phase de préchauffage (de 5° à 35°) précédemment décrite. Donner la réponse en watt.

$$Q_1 = 2026 \text{ kcal/h} \quad Q_1 = 2026 \times 4187 / (60 \times 60) = 2356 \text{ W}$$

Question 8. Calculer le débit de la pompe de circulation (en l/h) qui permet d'assurer les températures en entrée et en sortie de la double enveloppe.

$$Q_1 = D \times d_2 \times Ch_2 \times (T_{2e} - T_{2s}) \text{ avec } d_2 = 1 \text{ et } Ch_2 = 1 \text{ kcal.kg}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$$

$$D = 2026 / 3 = 675 \text{ l.h}^{-1}$$

Question 9. Exprimer k en fonction de e , λ , hc , hf , Rec et Ref .

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{hc} + \frac{1}{hf} + \frac{e}{\lambda} + Rec + Ref \Leftrightarrow k = \frac{1}{\frac{1}{hc} + \frac{1}{hf} + \frac{e}{\lambda} + Rec + Ref}$$

Question 10. Calculer la résistance thermique surfacique R_{sc} en $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$.

$$R_{sc} = \frac{e}{\lambda} = \frac{1 \times 10^{-3}}{15} = 66,6 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

Données :

| | Fluide chaud : vapeur 3 bars | Fluide froid : eau (35 – 40 °C) |
|------------------------------------|---|--|
| Masse volumique ρ | 2,163 kg.m ⁻³ | 994 kg.m ⁻³ |
| Viscosité dynamique μ | 14×10 ⁻⁶ kg.m ⁻¹ .s ⁻¹ | 720×10 ⁻⁶ kg.m ⁻¹ .s ⁻¹ |
| Conductivité thermique λ_F | 0,691 W.m ⁻¹ .K ⁻¹ | 0,607 W.m ⁻¹ .K ⁻¹ |
| Capacité calorifique Cp | 2,737 J.kg ⁻¹ .K ⁻¹ | 4178 J.kg ⁻¹ .K ⁻¹ |
| Débit | 800 kg.h ⁻¹ | 1920 l.h ⁻¹ |
| Section de passage du fluide | 0,36 m ² | 0,36 m ² |
| Température d'entrée | Tce = 140°C | Tfe = 38°C |
| Température de sortie | Tcs = 136°C | Tfs = 40°C |

La correction a été faite en tenant compte des valeurs données au candidat.

Question 11. En utilisant l'annexe « Dimensionnement échangeur », montrer que h (coefficient de transfert surfacique par convection) est égal à :

$$h = \frac{\lambda_F \times 0,023 \times \left(\frac{\rho \times v \times 2 \times d}{\mu} \right)^{0,8} \times \left(\frac{\mu \times C_p}{\lambda_F} \right)^{0,33}}{2 \times d}$$

Démo :

$$Nu = 0,023 \times Re^{0,8} \times Pr^{0,33} \text{ et } Nu = \frac{h \times d \times 2}{\lambda_F}$$

$$\frac{h \times d \times 2}{\lambda_F} = 0,023 \times \left(\frac{\rho \times v \times 2 \times d}{\mu} \right)^{0,8} \times \left(\frac{\mu \times C_p}{\lambda_F} \right)^{0,33}$$

On en déduit :

$$h = \frac{\lambda_F \times 0,023 \times \left(\frac{\rho \times v \times 2 \times d}{\mu} \right)^{0,8} \times \left(\frac{\mu \times C_p}{\lambda_F} \right)^{0,33}}{2 \times d}$$

Question 12. En déduire les valeurs de hc et hf. Calculer la valeur de k.

Vitesse du fluide froid : $D = 1920 \text{ l.h}^{-1} = 1,920 \text{ m}^3.\text{h}^{-1} \rightarrow v = D / S_p = 1,92 / (0,36 \times 3600) = 0,001481 \text{ m.s}^{-1}$

$$\begin{aligned} h_f &= \frac{0,607 \times 0,023 \times \left(\frac{994 \times 0,001481 \times 2 \times 1,8 \times 10^{-3}}{720 \times 10^{-6}} \right)^{0,8} \times \left(\frac{720 \times 10^{-6} \times 4178}{0,607} \right)^{0,33}}{2 \times 1,8 \times 10^{-3}} \\ &= 32,47 = \text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1} \end{aligned}$$

Vitesse du fluide chaud : $D = 800 \text{ kg.h}^{-1} = 800/2,163 = 369,8 \text{ m}^3.\text{h}^{-1} \rightarrow v = D / S_p = 369,8 / (0,36 \times 3600) = 0,285 \text{ m.s}^{-1}$

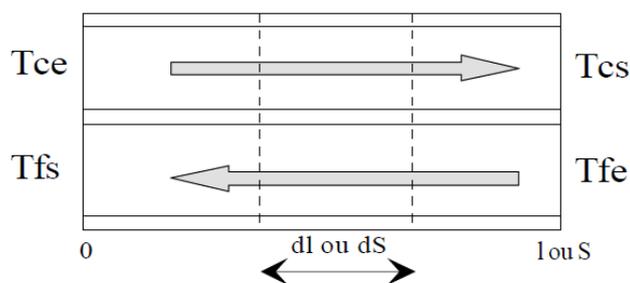
$$\begin{aligned} h_c &= \frac{0,691 \times 0,023 \times \left(\frac{2,163 \times 0,285 \times 2 \times 1,8 \times 10^{-3}}{14 \times 10^{-6}} \right)^{0,8} \times \left(\frac{14 \times 10^{-6} \times 2,737}{0,691} \right)^{0,33}}{2 \times 1,8 \times 10^{-3}} \\ &= 10,01 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1} \end{aligned}$$

Valeur de k :

$$k = \frac{1}{\frac{1}{32,47} + \frac{1}{10,01} + 66,6 \times 10^{-6} + 2 \times 10^{-4} + 2 \times 10^{-4}} = 7,62 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$$

4.2.3.2 Calcul de la surface de l'échangeur

Pour cette partie, on prendra $k = 1806 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$.



On note \dot{m}_c et \dot{m}_f les débits massiques des deux fluides, c_{pc} et c_{pf} leurs chaleurs massiques à pression constante.

La quantité de chaleur perdue par le fluide chaud est $dq = -\dot{m}_c \times c_{pc} \times dT_c$ (relation (2))

La quantité de chaleur gagnée par le fluide froid est $dq = \dot{m}_f \times c_{pf} \times dT_f$ (relation (3))

Question 13. En utilisant les relations (1) (2) et (3), montrer que

$$\frac{d(T_c - T_f)}{T_c - T_f} = -k dS \left(\frac{1}{\dot{m}_c \times c_{pc}} - \frac{1}{\dot{m}_f \times c_{pf}} \right) \text{ (relation (4))}$$

$$\begin{aligned} dq &= -\dot{m}_c \times c_{pc} \times dT_c \text{ donc } dT_c = -dq / (\dot{m}_c \times c_{pc}) \\ dq &= \dot{m}_f \times c_{pf} \times dT_f \text{ donc } dT_f = dq / (\dot{m}_f \times c_{pf}) \end{aligned}$$

$$dT_c - dT_f = -dq / \dot{m}_c \times c_{pc} + dq / \dot{m}_f \times c_{pf}$$

En remplaçant dq par $k \times dS \times (T_c - T_f)$ on obtient le résultat demandé.

En intégrant la relation (4) le long de la surface d'échange en introduisant les conditions aux extrémités (T_{ce} , T_{cs} , T_{fe} , T_{fs}), on obtient :

$$\ln(T_{cs} - T_{fs}) - \ln(T_{ce} - T_{fe}) = -k S \left(\frac{1}{\dot{m}_c \times c_{pc}} - \frac{1}{\dot{m}_f \times c_{pf}} \right) \text{ (relation (5))}$$

La correction a été faite en tenant compte de la relation donnée au candidat.

Si on exprime le flux total échangé en fonction des températures d'entrée et de sortie du fluide (bilan enthalpique global) :

$$q = \dot{m}_c \times c_{pc} \times (T_{ce} - T_{cs}) \text{ (relation (6))}$$

$$q = \dot{m}_f \times c_{pf} \times (T_{fs} - T_{fe}) \text{ (relation (7))}$$

Question 14. En utilisant la relation (5) et les relations (6) et (7), exprimer la puissance de l'échangeur q en fonction de k, S, T_{ce} , T_{cs} , T_{fs} et T_{fe} .

$$\frac{1}{\dot{m}_c \times c_{pc}} = \frac{(T_{ce} - T_{cs})}{q} \text{ et } \frac{1}{\dot{m}_f \times c_{pf}} = \frac{(T_{fs} - T_{fe})}{q}$$

$$\ln(T_{cs} - T_{fs}) - \ln(T_{ce} - T_{fe}) = -k S \left(\frac{1}{\dot{m}_c \times c_{pc}} - \frac{1}{\dot{m}_f \times c_{pf}} \right)$$

On obtient donc :

$$\ln(T_{cs} - T_{fs}) - \ln(T_{ce} - T_{fe}) = -k S \left(\frac{(T_{ce} - T_{cs})}{q} - \frac{(T_{fs} - T_{fe})}{q} \right)$$

$$q = k S \frac{(T_{ce} - T_{fs}) - (T_{cs} - T_{fe})}{\ln(T_{cs} - T_{fs}) - \ln(T_{ce} - T_{fe})}$$

Question 15. Calculer la surface S nécessaire en utilisant les données en annexe « Dimensionnement échangeur » et sachant que la puissance de l'échangeur doit être de 2,36 kW.

$$S = \frac{q \times [\ln(T_{ce} - T_{fe}) - \ln(T_{cz} - T_{fe})]}{k \times [(T_{ce} - T_{fe}) - (T_{cz} - T_{fe})]}$$

$$S = \frac{2360 \times [\ln(140 - 40) - \ln(136 - 38)]}{1806 \times [(140 - 40) - (136 - 38)]} = 0,013m^2$$

Question 16. L'échangeur thermique est au programme de l'enseignement transversal en STI2D. On donne en documentation ressource un extrait du programme de cet enseignement. On vous demande de proposer une activité pédagogique en donnant le centre d'intérêt, les objectifs fixés et la compétence attendue à l'issue de l'activité, la problématique proposée aux élèves, matériel et ressources nécessaires et une trame du document donné aux élèves.

3. Modélisation de la double enveloppe

Question 17. En posant $x(t)$ la température du produit à l'instant t ($T_{1d}=x(0)$) et dx la variation de cette température pendant dt , écrire que la puissance fournie par la double enveloppe est égale à la puissance reçue par le produit. Reprendre la règle de calcul de la question 2.

$$\frac{dP_1}{dt} = Q_1 = P$$

$$Q_1 = K S \left(\frac{T_{1e} + T_{2e}}{2} - x \right) \text{ Puissance fournie par la double enveloppe}$$

Question 18. En déduire l'équation différentielle liant $x(t)$ et
 V_1 volume de la Double enveloppe (DE),
 K : coefficient moyen d'échange thermique global de la double enveloppe $K= 163kcal/h/m^2/^\circ C$
 d_1 : densité
 S : surface d'échange
Chaleur spécifique $Ch_1= 1kcal/kg/^\circ C$

$$P_1 = V_1 d_1 Ch_1 dx \Rightarrow \frac{dP_1}{dt} = V_1 d_1 Ch_1 \frac{dx}{dt} = K S (T_{2moy} - x)$$

$$V_1 d_1 Ch_1 \frac{dx}{dt} = K S (T_{2moy} - x)$$

Question 19. Résoudre l'équation différentielle afin d'obtenir $x(t)$.

$$x(t) = T_{2moy} + (T_{1d} - T_{2moy}) \cdot e^{-t/\tau}$$

$$\text{Avec } \tau = V_1 d_1 \frac{Ch_1}{K S} = 29,7 \text{ min}$$

Question 20. Vérifier les temps trouvés lors des calculs de dimensionnement et discuter des écarts éventuels et de la conformité par rapport au cahier des charges.

Préchauffage de 5°C à 35°C en 67 minutes à comparer aux 27 minutes de la première méthode
Préchauffage de 35°C à 37°C en 25 minutes à comparer r aux 17 minutes de la première méthode.

Les écarts viennent du fait que la puissance apportée par le DE n'est pas constante, elle dépend de la température du liquide.

Le temps de préchauffage global est cependant toujours inférieur aux 2 heures du cahier des charges (67+25=92 min < 120 min)

Question 21. Rappeler le principe de la méthode d'Euler.

On approche la solution par la méthode de la tangente, ici
 $x(t+h) \approx x(t) + h \times x'(t)$

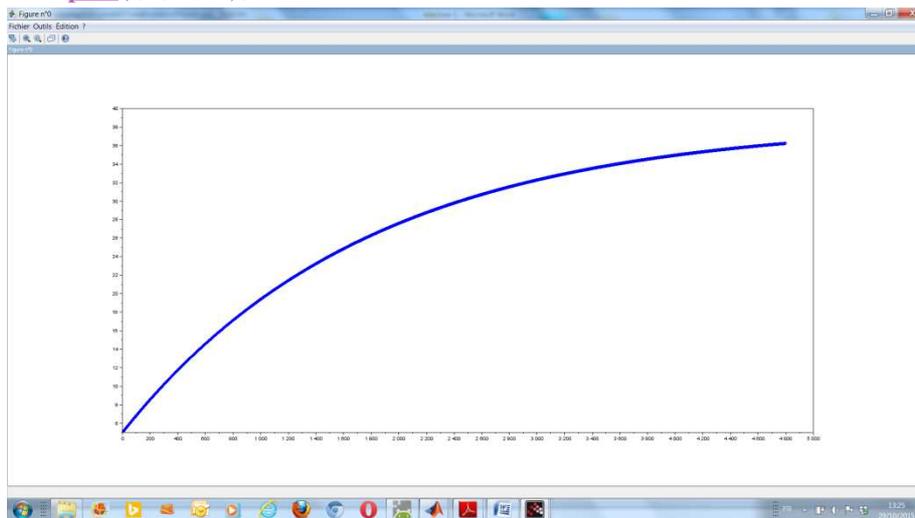
Question 22. Donner l'équation de récurrence qui permet de calculer $x_{n+1}=x((n+1)h)$ en fonction de x_n , h , T_{2m} et τ .

$$x_{n+1} \approx x_n + h \times \left(-\frac{x_n}{\tau} + \frac{T_{2m}}{\tau} \right) \text{ avec } x_0 = 5^\circ\text{C}$$

Question 23. Proposer soit l'algorithme, soit un programme Python ou Scilab qui permet de résoudre cette équation différentielle par la méthode d'Euler. Prévoir la représentation temporelle de $x(t)$ sur un intervalle que vous justifierez.

Proposition de programme sous Scilab

```
//Résolution
funcprot(0);
//Fonction f
function z=f(y)
z=-y/T+E/T;
endfunction
//données initiales
h=1
x0=5
N=4800
E=38.5
T=29.7*60
//programme
t=zeros(1,N+1);
x=zeros(1,N+1);
t(1,1)=0;
x(1,1)=x0;
for i=1:N
t(1,i+1)=t(1,i)+h*i;
x(1,i+1)=x(1,i)+h*f(x(1,i));
end
//représentation graphique
plot(t,x, "+b");
```



L'activité proposée aux élèves doit leur permettre de comparer les temps de montée en température du produit en utilisant deux méthodes différentes :

- ✓ D'une part les calculs menés dans le paragraphe « DIMENSIONNEMENT DE LA DOUBLE ENVELOPPE » « Règle de calcul simplifié »
- ✓ D'autre part le modèle de connaissance développé ci-dessus.

Question 24. Préciser les hypothèses qui ont été faites pour chacune des deux méthodes.

- ✓ Pas de pertes lors des échanges entre la double enveloppe et le produit.
- ✓ Les deux méthodes reposent sur un calcul simplifié où seule la moyenne entre la température en entrée et en sortie de la double enveloppe intervient.
- ✓ La première méthode suppose que le pouvoir d'échange entre la double enveloppe et le produit est constant, ce qui n'est pas le cas. Le modèle de connaissance prend en compte ce phénomène, la puissance diminue quand la température augmente.

Question 25. Proposer le questionnement d'un TP fourni à des élèves où il leur est proposé de modifier certains paramètres permettant de comparer les deux méthodes et la validité du cahier des charges. Vous préciserez les ressources disponibles pour les élèves et rédigerez aussi le document professeur précisant les moyens et les objectifs d'un tel TP.

Propositions de ressources possibles pour les élèves :

- ✓ Un exemple de calcul utilisant la première méthode
- ✓ Un programme informatique permettant de résoudre l'équation différentielle

$$\frac{dT}{dt} = \frac{T_{2m} - T}{\tau}$$

T température du produit

$$\tau = V_1 d_1 \frac{Ch_1}{K.S}$$

T_{2m} : température moyenne de la DE

Les élèves doivent pouvoir modifier T_{2m} , τ , T_{1d} température de départ du produit, V_1 volume du produit. Le programme permet de tracer $T(t)$, une lecture graphique donnera le temps de chauffe.

Proposition de questionnement élève :

- ✓ Reprendre les phases de montée en température de 5°C à 35°C et comparer les temps de chauffe issus des deux méthodes.
- ✓ Comparer par rapport au cahier des charges.
- ✓ Les écarts entre les deux méthodes proviennent des hypothèses suivantes : La première méthode suppose que le pouvoir d'échange entre la DE et le produit est constant. Le modèle de connaissance suppose la puissance d'échange dépend de l'écart entre la température du produit et la température moyenne T_{2m} . Quelle hypothèse vous semble la plus réaliste ? Vous justifierez votre réponse en prenant d'autres exemples.
 - ✓ Quel paramètre peut-on changer pour diminuer ce temps de chauffe ?
 - ✓ On suppose que le volume est maintenant de 25 l, comment évoluent ces temps ?

Question 26. Montrer que sous certaines hypothèses que vous formulerez, la fonction de transfert de la double enveloppe peut s'écrire : $H(p) = \frac{1}{V_1 d_1 Ch_1 p}$

Pour un échelon de puissance $P_0=100W$, donner l'équation $T(t)$ en prenant $T(0)=37°C$.

$$H(p) = 1/(30 \times 1 \times 1000 \times 4,1855 \times p) = 1 / (125565 \times p)$$

$$P(p) = P_0 / p$$

$$T(p) = 1/ (1255,65p^2)$$

$$T(t) = 8 \cdot 10^{-4}t + 37^\circ$$

Critiquer le modèle. *Ce modèle néglige les pertes thermiques*

Question 27. Rappeler la signification de la modélisation acausale.

La modélisation acausale a une approche orientée phénomènes physiques et composants d'ingénierie, tandis que la modélisation causale est orientée vers la représentation des systèmes d'équations mathématiques. Elle traduit les phénomènes de transfert de puissance entre les composants.

Question 28. En utilisant les données et l'annexe « modélisation acausale », calculer en $J.K^{-1}$ la capacité thermique de l'acier de la double enveloppe C_{DE} .

$$C_{DE} = m \times C_{acier} = 0,371 \times 4 \times 10^{-3} \times 7900 \times 502,3 = 5,89 \text{ kJ.K}^{-1}$$

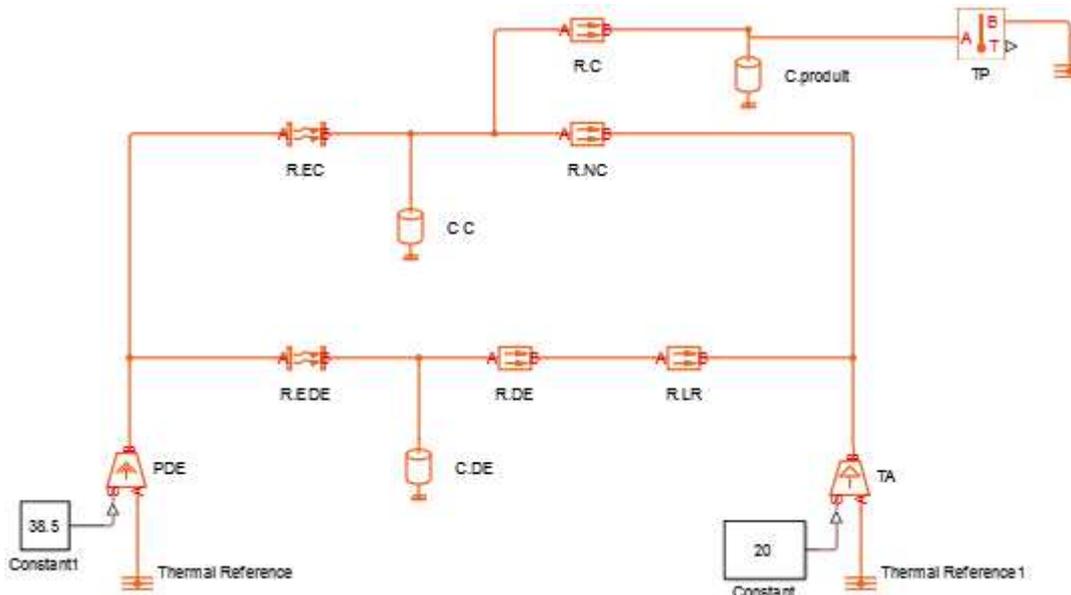
Question 29. En utilisant les données et l'annexe « modélisation acausale », calculer la résistance thermique en $K.W^{-1}$ par conduction de la paroi de la double enveloppe R_{DE} .

$$R_{DE} = e / (\lambda \times S) = 4 \times 10^{-3} / (0,15 \times 0,371) = 0,072 \text{ K.W}^{-1}$$

Question 30. En utilisant les données et l'annexe « modélisation acausale », calculer R_{EDE} la résistance thermique en $K.W^{-1}$ par convection de l'eau et la paroi de la double enveloppe

$$R_{EDE} = (1 / (h \times S)) = (1 / (10000 \times 0,371)) = 0,00027 \text{ K.W}^{-1}$$

Question 31. Les symboles « modélisation acausale » sont donnés en annexe. Identifier sur le document réponse DR1 « modélisation acausale », P_{DE} (sans sa valeur qui sera calculée à la question suivante), T_A (avec sa valeur), R_{CC} , R_{NC} , R_{DE} , R_{LR} , R_{EDE} , R_{EC} . Montrer T_P (température du produit) avec une flèche.



Question 32. La valeur de P_{DE} qui sera utilisée pour la simulation correspond aux déperditions en considérant la température de la double enveloppe et de la cuve à $37^\circ C$ (régime permanent). Calculer cette valeur et la reporter sur le document réponse DR1 « modélisation acausale ».

$$\text{Double enveloppe + laine de roche : déperditions} = (37-20)/(R_{DE}+R_{LR}) = 7,36 \text{ W}$$

$$Cuve\ non\ calorifugées = (37-20) / (R_{NC}) = 425\ W$$

$$P_{DE} = 300 + 5,19 = 432,36\ W$$

Question 33. La courbe du document réponse DR2 « identification fonction de transfert » donne l'évolution de la température du produit pour un échelon de 100 W dans la double enveloppe, en partant d'une température produit de 37°C. Identifier cette fonction de transfert par un premier ordre.

Lecture graphique $\frac{T(p)}{P(p)} = \frac{3,75 \cdot 10^{-2}}{1+13000p}$

Question 34. Comparer avec la fonction de transfert obtenue à la question 26.

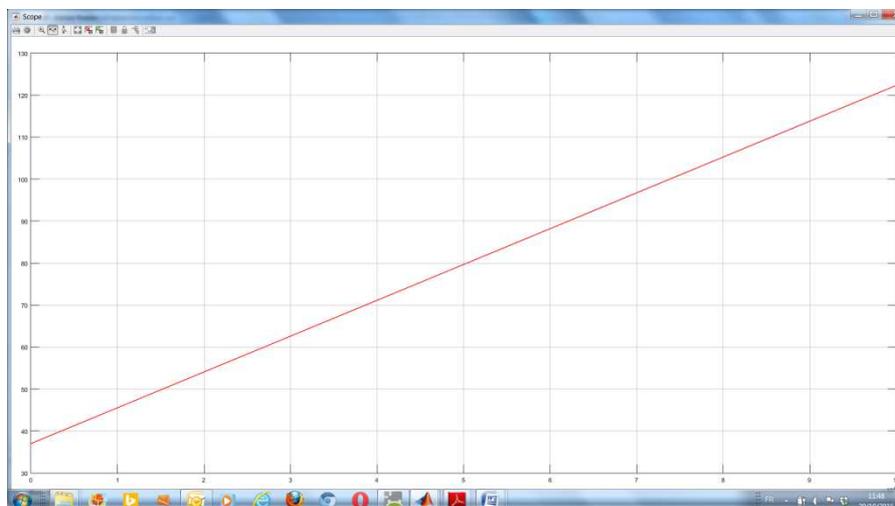
Le modèle tient compte ici des pertes et des résistances thermiques alors qu'à la question 26, le modèle était moins élaboré.

Question 35. Proposer une activité donnée à des élèves qui permette de faire le lien entre le modèle de la question 26 et le modèle de la question 31. Cette activité permet de travailler la compétence CO8.ee1.

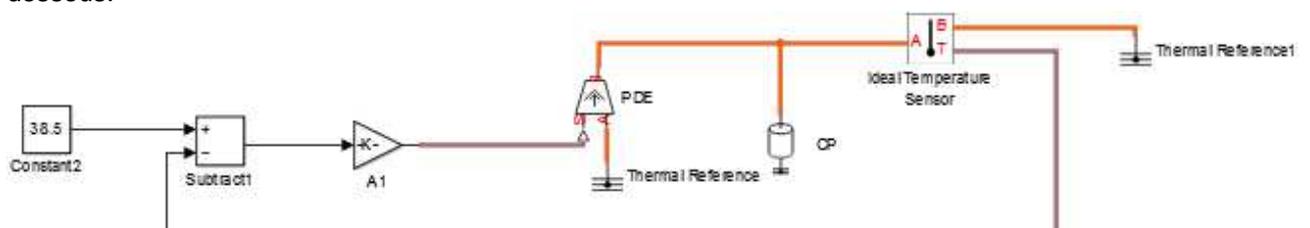
- Indiquer les objectifs pédagogiques visés.
- Préciser la problématique proposée aux élèves durant cette activité afin d'atteindre les objectifs décrits précédemment.
- Rédiger le document donné aux élèves avec les réponses attendues.

Il s'agit de simplifier le modèle complet en conservant uniquement la capacité du produit, en fixant les résistances thermiques du modèle complet afin de supprimer la modélisation des pertes (R_{DE} : nulle R_{CC} : nulle R_{NC} : infinie R_{LR} : infinie R_{EDE} : nulle R_{EC} : nulle) et en réglant $P_{DE} = 100\ W$ car il n'y a pas de pertes.

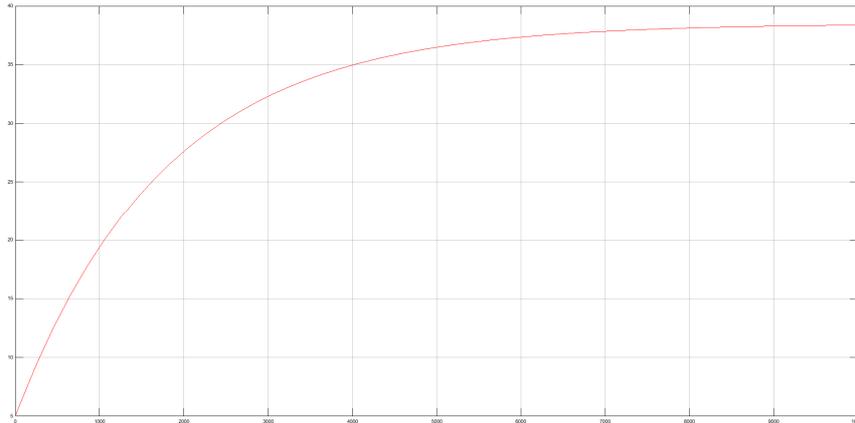
On peut ensuite en rajoutant un oscilloscope, visualiser la température du produit T et faire calculer la pente aux élèves, on retrouve environ $8 \cdot 10^{-4}$ s de la question Q26.



Le modèle de connaissance des questions 17 à 20 peut être modélisé en acausal par le schéma ci-dessous.

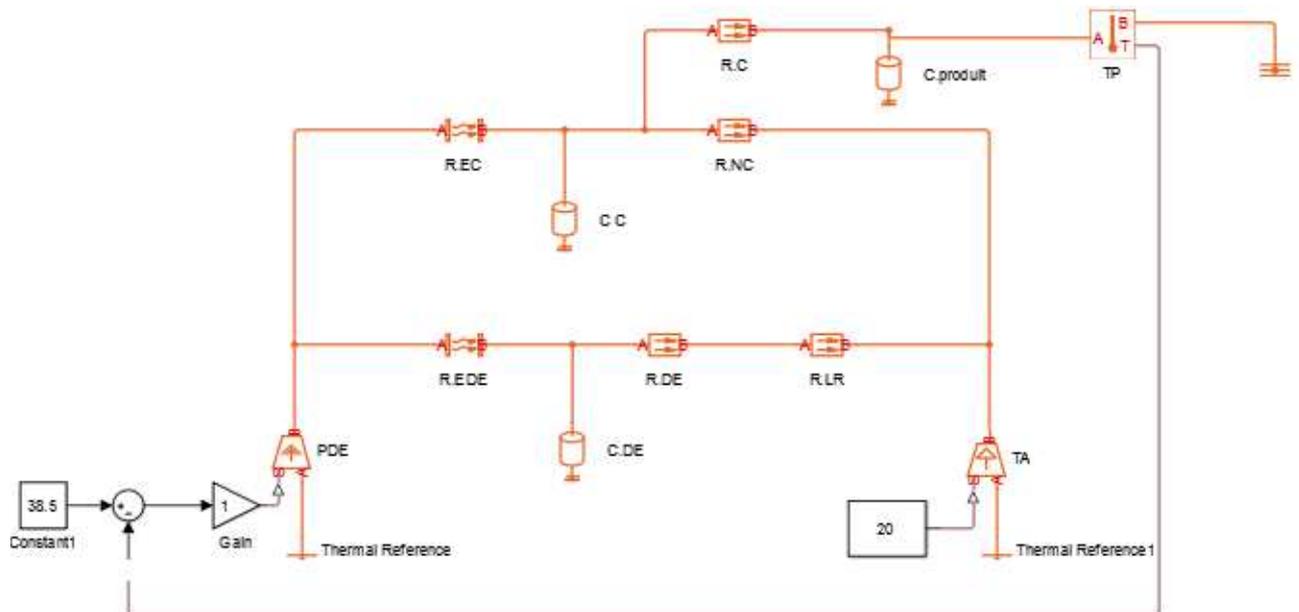


La montée en température de 5°C à 35°C est la suivante :



Question 36. Modifier sur le document réponse DR1 « modélisation acausale » en utilisant une autre couleur le modèle thermique acausal de la question Q30 afin que la puissance de la double enveloppe ne soit plus constante mais dépende de la température du produit. Vous préciserez la valeur du coefficient du gain A1 et son unité.

$$A1=70,3 \text{ W.K}^{-1}$$



Question 37. Proposer le questionnement d'un TP que l'on pourrait fournir aux élèves afin de leur faire comparer les deux modèles acausaux celui de la question Q30 et celui ci-dessus. Vous préciserez les ressources disponibles pour les élèves et rédigerez aussi le document professeur précisant les moyens et les objectifs d'un tel TP.

Proposition de ressources disponibles :

Les deux modèles acausaux du cytotacteur avec la double enveloppe.

- Le premier modèle est à puissance constante, vous pouvez régler directement la puissance P_{DE} en watt.
- Le deuxième est à température d'entrée et de sortie de la double enveloppe constante, vous pouvez régler la température moyenne.

Proposition de questionnement élève :

- Reprendre la phase de montée en température de 5°C à 37°C et comparer les temps de chauffe issus des deux modèles acausaux.
- L'objectif du cahier des charges étant une montée en température en moins de 2 heures, proposer un réglage pour chacun des deux modèles.

4. Asservissement et régulation de température

Question 38. On parle de robustesse de la commande, définir ce terme. Rappeler la signification des termes suivants : régulation, asservissement. Dans quelles opérations chacune de ces commandes sera nécessaire ?

Une commande robuste est une commande dont le réglage peut convenir à plusieurs points de fonctionnement et sur laquelle les perturbations ont peu d'effets.

Régulation, commande dans laquelle la consigne est fixe : stérilisation à 121°, chargement du milieu de culture à 5°C.

Asservissement, commande dans laquelle la consigne varie dans le temps : préchauffage milieu de 5°C à 37°C.

Question 39. Exprimer les fonctions de transfert en boucle fermée définies par :

$$F1(p) = \frac{T(p)}{T_{cons}(p)} \text{ et } F2(p) = \frac{T(p)}{Z(p)}$$

$$F1(p) = \frac{C(p) H(p)}{1 + C(p) H(p)}$$

$$F2(p) = \frac{H_z(p)}{1 + C(p) H(p)}$$

Question 40. Exprimer $T(p)$ en fonction de $T_{cons}(p)$ et $Z(p)$.

$$T(p) = F1(p) T_{cons}(p) + F2(p) Z(p)$$

Question 41. Exprimer $C(p)$ en fonction de $R(p)$ et $H(p)$, puis en fonction de τ et de p . De quel type de correcteur s'agit-il ?

$$C(p) = \frac{R(p)}{H(p)(1-R(p))} = \frac{5 \times (1 + \tau p)}{H_0 \times \tau p} = \frac{5}{H_0} \times \left(1 + \frac{1}{\tau p}\right)$$

Régulateur Proportionnel intégral.

Question 42. Exprimer $C(p)$ en fonction de $R(p)$ et $H_r(p)$, puis en fonction de τ , θ et de p . Ce correcteur est-il réalisable ? Quelles conclusions pouvez-vous en tirer sur le modèle de référence ?

$$C(p) = \frac{R(p)}{H_r(p)(1-R(p))} = 5 \times \frac{1 + \tau p}{K \tau p} \times e^{\theta p}$$

Correcteur non réalisable, il est nécessaire que le modèle de référence contienne le retard initialement présent dans la fonction de transfert.

Question 43. Tracer le nouveau schéma bloc de la commande en température sur le document réponse DR3.

Question 44. Compléter le nouveau schéma bloc de la commande en température et la caractéristique du bloc « Split range » sur le document réponse DR4.

Question 45. Vous disposez des modèles de simulation des stratégies 1, 2 et/ou 3. Vous souhaitez développer chez vos élèves la compétence C008.ee2, proposez un scénario pour atteindre cet objectif.

Proposition de scénario :

Trois groupes d'élèves utilisent chacun un modèle correspondant à une stratégie de commande différente. Ils doivent :

- Régler le gain proportionnel du correcteur, afin d'obtenir quand cela est possible 1°C d'erreur statique, pour un échelon de température de 37°C.
- Consigner les résultats de leurs différents essais.
- En phase de synthèse, chacun des trois groupes présente le meilleur réglage et les difficultés observées. Ensemble, ils comparent et interprètent leurs résultats.

Première stratégie de commande : le système est difficilement réglable car le retard introduit un grand déphasage. La précision et la rapidité sont médiocres.

Deuxième stratégie de commande : le retard dans le système est moins important car la vanne de vapeur est cette fois pilotée directement par la température de la double enveloppe qui est plus proche que le capteur de température du cytotecteur. La précision et la rapidité sont nettement améliorées.

Troisième stratégie : Elle améliore la deuxième stratégie en commandant une vanne d'eau glacée pour refroidir.

5. ICM : incertitude chaîne de mesure.

Question 46. Compléter le document réponse DR5 (1^{ère} colonne) en relevant pour chacune des sondes la formule donnant la tolérance maximale en fonction de la température. [Voir tableau document réponse](#)

Question 47. La tolérance ici donnée correspond à un intervalle à 2σ . Compléter le document réponse DR5 en précisant la plage de température contenant 95% des mesures à 100° puis à 37°C pour chacune des trois sondes. Donner l'écart type sur les mesures à 37°C. [Voir tableau document réponse](#)

Question 48. Au vu du cahier des charges, choisir en justifiant la sonde de température. [Pt100 FO.1 \(1/3 classe B\)](#)

Question 49. Afin de calculer l'incertitude de la chaîne de mesure (tableau du document réponse),

- rechercher les informations manquantes dans la documentation constructeur donnée en annexe,
- faire les calculs manquants dans le tableau,
- conclure quant à l'exigence des biologistes.

[Voir tableau document réponse](#)

Question 50. En quoi une approche interdisciplinaire, peut-elle être utile en termes d'apprentissage et comment l'envisageriez-vous ?

Travail d'équipe avec le professeur de mathématiques qui introduit en classe de première les outils de mesure de la dispersion par l'introduction de l'écart type. Les sciences et techniques industrielles fournissent des sujets d'étude liés par exemple ici à des capteurs. L'utilisation de définitions communes en math et STI doit permettre aux élèves de consolider ces notions et de s'en faire une représentation personnelle.

Des supports de cours communs contribuent également à cette cohérence sur ces chapitres.

Document EDUSCOL à consulter : Ressources pour le cycle terminal général et technologique
Mesure et incertitudes

6. Synthèse pédagogique

La séquence pédagogique se situe en enseignement de spécialité énergie et environnement en terminale STI2D.

Question 51. Choisir le ou les centres d'intérêt à associer aux activités de la séquence et permettant de travailler sur les problématiques mises en évidence dans le sujet. Justifier votre choix.

CI 1 Typologie des systèmes énergétiques : modélisation des chaînes d'énergie

CI 3 Transport, stockage et distribution de l'énergie et réseaux spécifiques : caractérisation de la structure d'un réseau de distribution d'énergie et simulation associée. Etudes réalisées sur des dossiers réels. Comportement énergétique des systèmes et validation comportementale par simulation.

Le dimensionnement de l'échangeur Q16 est dans le programme du transversal, les élèves de EE pourront donc aussi avoir cette activité mais située dans une autre séquence.

Question 52. En dehors du dossier proposé par ce sujet, quels autres supports pourraient contribuer à développer les centres d'intérêts retenus ?

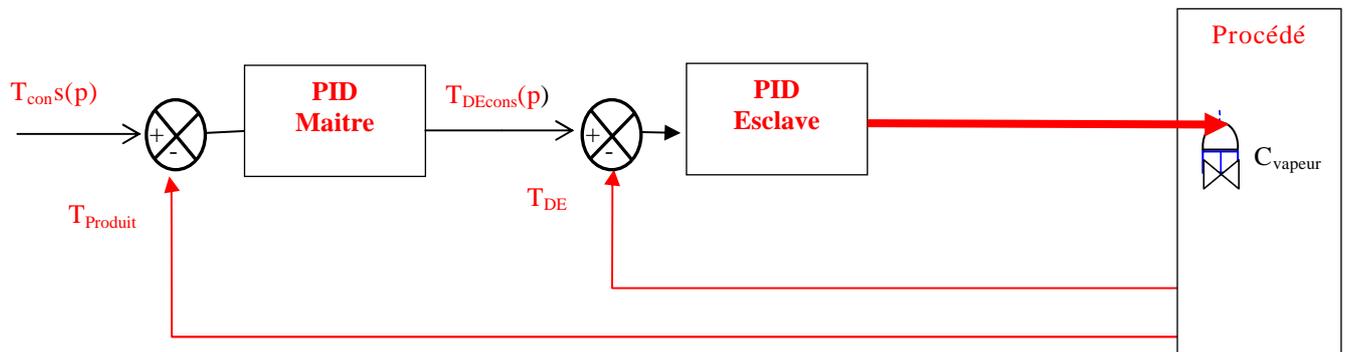
Système Hydrotherm : Bain d'eau avec Thermoplongeur régulé en température

Système ERM avec Pompe à chaleur et échangeur

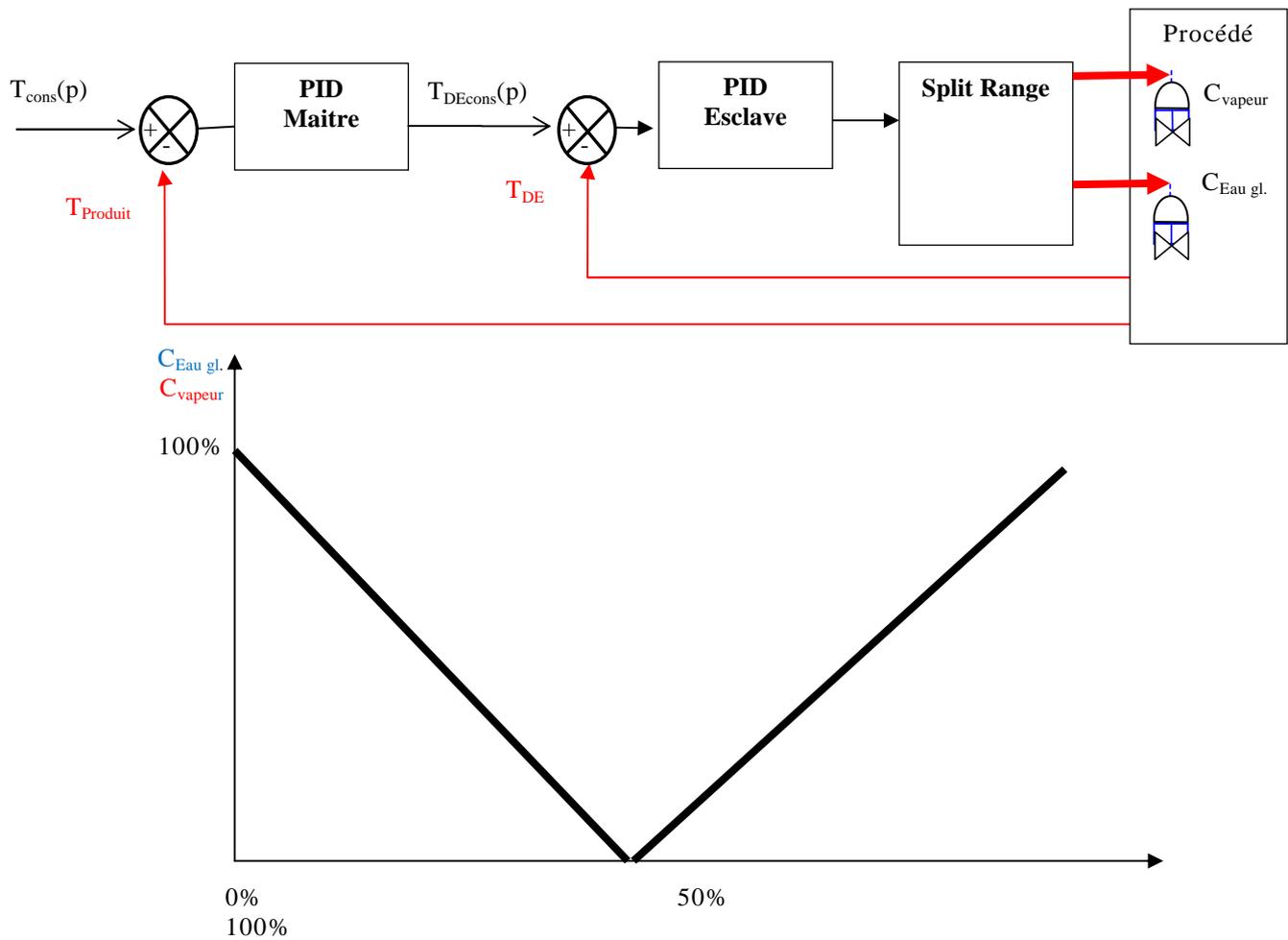
Question 53. Proposer, sans rédiger les documents élèves, une trame d'évaluation sommative pour l'ensemble de la classe à l'issue de la séquence. Les objectifs visés devront être clairement énoncés.

Question 54. Faire une analyse critique de la séquence proposée en indiquant les difficultés (matérielles, organisationnelles, ...) susceptibles d'être rencontrées au regard du cadre imposé par le sujet.

Document réponse DR3: Schéma bloc deuxième stratégie, régulation cascade



Document réponse DR4: schéma bloc troisième stratégie, régulation split range



DOCUMENT REPONSE DR5: INCERTUDE DE MESURE

Seulement les cases grisées sont à remplir.

| Sondes | Tolérance maximale (formule) | Tolérance à 100° | Plage contenant 95% des mesures (100) | Tolérance à 37° | Ecart type σ à 37°C |
|---------------------------|------------------------------|------------------|---------------------------------------|-----------------|----------------------------|
| Pt 100 FO.15 (Classe A) | 0.15+-0.002It | 0.35° | [99.65° 100.35] | 0.22° | 0.11° |
| Pt100 FO.1 (1/3 classe B) | 0.1+-0.0017It | 0.27° | [99.73° 100.27] | 0.16° | 0.08° |
| Pt 100 FO.3 (Classe B) | 0.3+-0.005It | 0.8° | [99.2°100.8] | 0.48° | 0.24° |

| Elément | Echelle min | Echelle max | Grandeur d'influence | Formule constructeur de l'erreur ou valeur | Type d'incertitude correspondante | Coefficient de conversion | Ecart type σ ° |
|---------------------------|-------------|-------------|----------------------|--|-----------------------------------|---------------------------|-----------------------|
| Pt100 F0.1 (1/3 classe B) | 0° | 150°C | Température | 0.1+-0.0017It | Type A 2 σ | 2 | 0,08145 |
| Transmetteur | 0 | 150°C | Mesure | 0,1°C ou 0,08% échelle | Type A 3 σ | 3 | 0,04 |
| CAN | 4mA | 20mA | Quantification | Résolution : 812nA | B | 1,73 | 0,0022 |
| | | | Température à 25° | 0,142% de PE | B | 1,73 | 0,077 |
| | | | | | somme quadratique | | 0,12 |
| | | | | | IMC élargie | 2 | 0,23 |