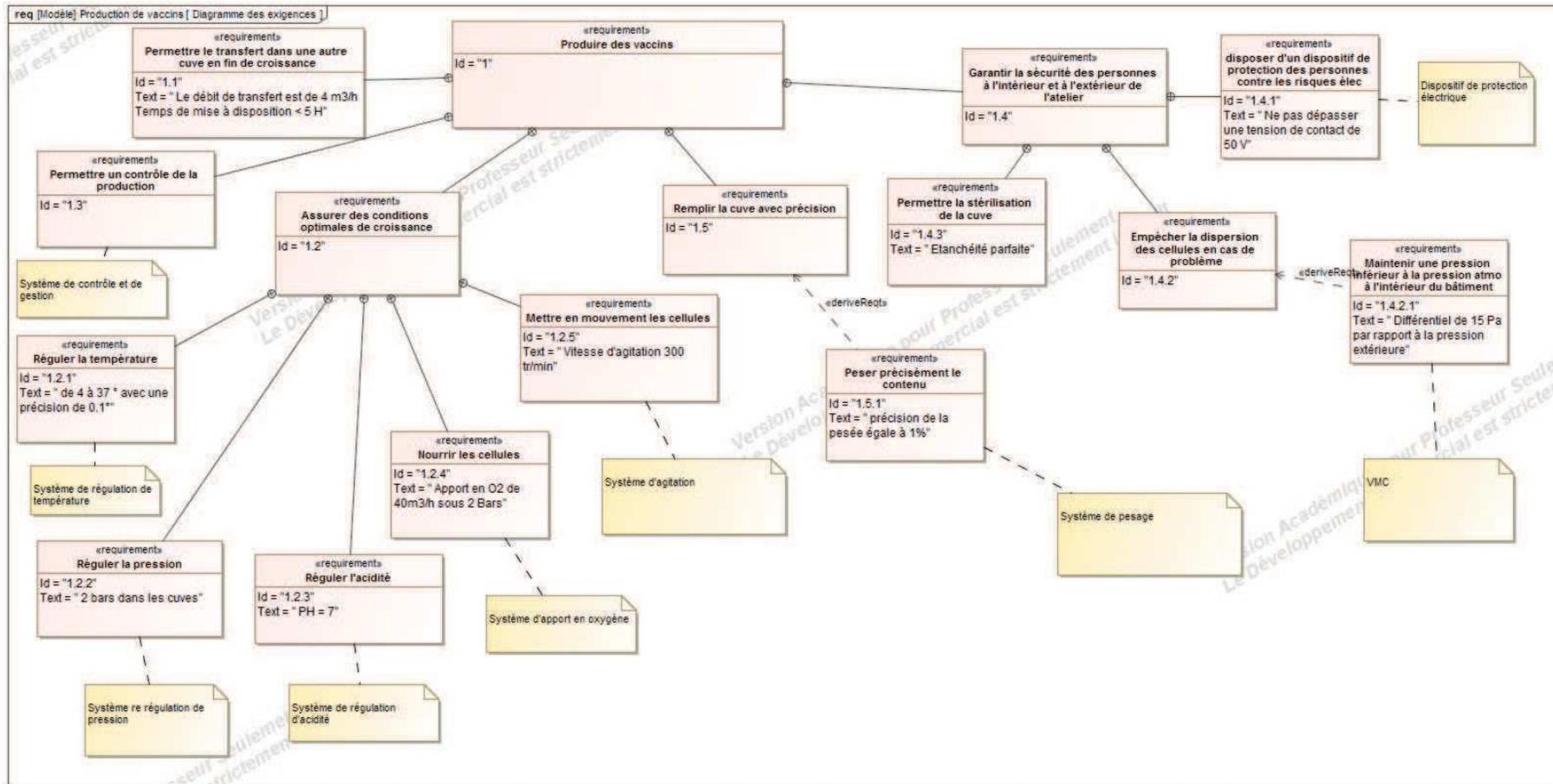


# A. Epreuves d'admissibilité

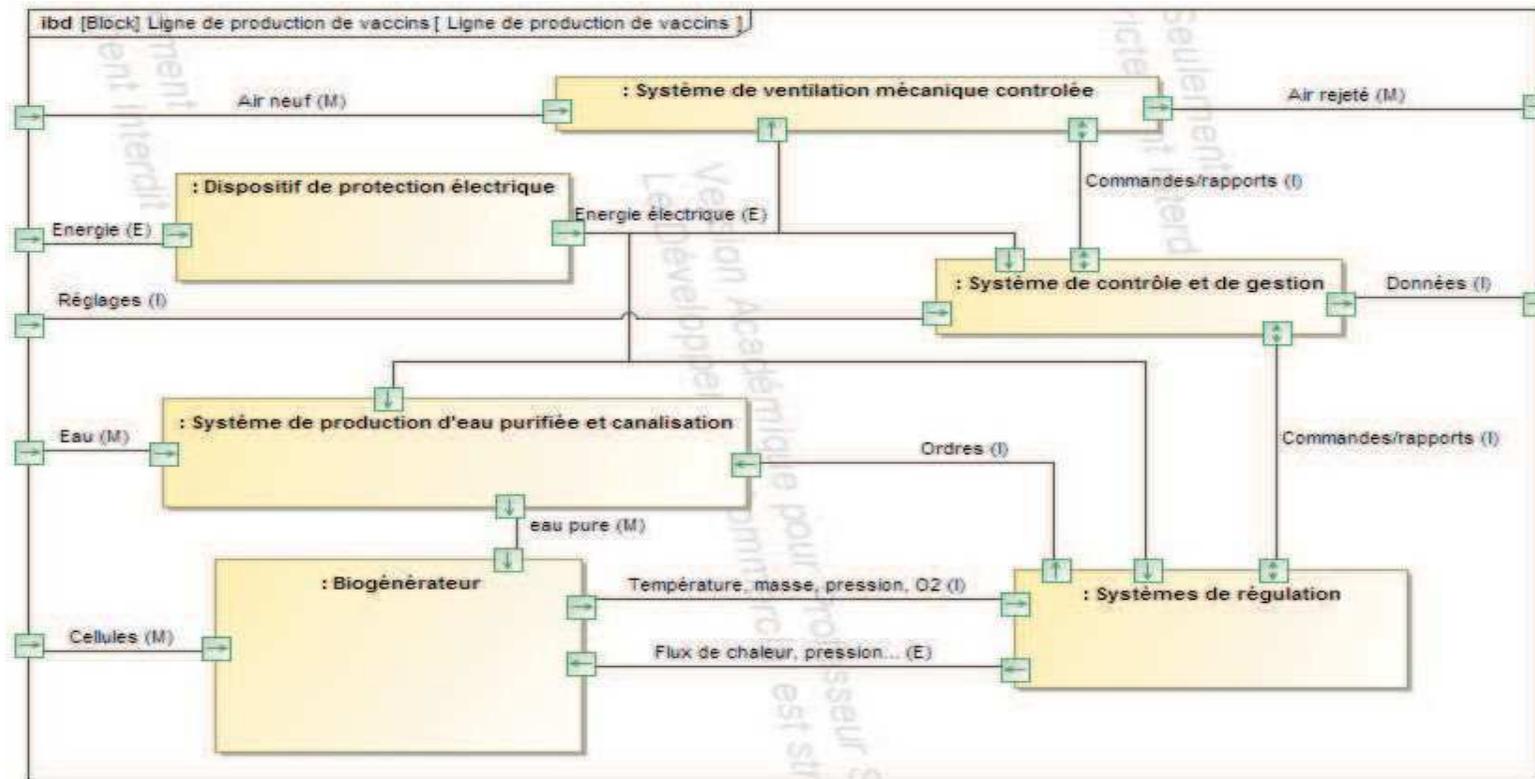
## I. Epreuve de sciences industrielles de l'ingénieur

### I.1 Eléments de correction de l'épreuve de sciences industrielles de l'ingénieur

Question 1 :



**Question 2 :**



**Question 3 :**

Dans le cadre de ce process, il faut un matériau suffisamment résistant d'un point de vue mécanique pour résister à la pression, qui ne soit pas agressif pour le contenu de la cuve et qui ne se dégrade pas au contact du produit. L'acier inoxydable est également compatible d'un point de vue fabrication avec la forme souhaitée. Le critère économique ne convient pas ici car l'acier inoxydable est un matériau cher.

#### Question 4 :

On suppose que les temps de montée et de descente en température pour une cuve sont les mêmes.

La durée D avant disponibilité est donnée par la somme des termes suivants :

- temps de remplissage cuve de 300 L ;
- temps de montée en température ;
- temps agitation (1h) ;
- temps de descente en température ;
- temps de remplissage cuve de 1000 L ;
- temps de montée en température ;
- temps agitation (1h) ;
- temps de descente en température ;
- temps de remplissage cuve de 4500 L ;
- temps de montée en température ;
- temps agitation (1h) ;
- temps de descente en température.

avec temps de remplissage 300 L = volume/débit =  $0,3/4 = 0,075$  h

temps de remplissage 1000 L = volume/débit =  $1/4 = 0,25$  h

temps de remplissage 4500 L = volume/débit =  $4,5/4 = 1,125$  h

avec temps de montée en température 300 L = 12 min = 0,2 h

temps de montée en température 1000 L = 12 min x 1000/300 = 0,67 h

temps de montée en température 4500 L = 12 min x 4500/300 = 3h

soit  $D = 0,075 + 0,2 \times 2 + 1 + 0,25 \times 2 + 1 + 1,125 + 3 \times 2 + 1 = 12,18$  h soit 12 heures et 11 minutes. D est

inférieure à 13 heures donc l'exigence du cahier des charges est vérifiée.

#### Question 5 :

Il est nécessaire d'utiliser au moins trois pieds soit trois pesons, pour que la cuve soit en équilibre stable sur la dalle. La dalle a peu de chance d'être parfaitement plane, l'utilisation de trois pesons permet d'obtenir, par la somme des trois mesures, la masse totale de la cuve.

La liaison équivalente réalisée par les trois pesons est une liaison appui-plan de normale verticale.

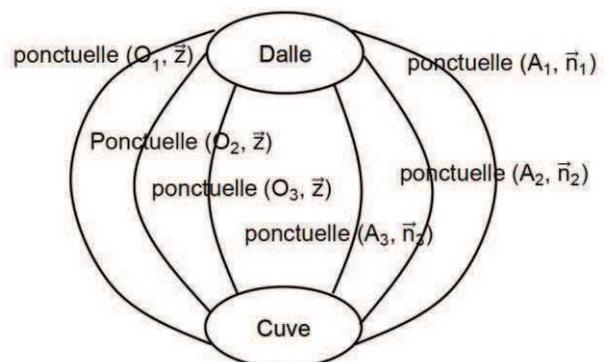
#### Question 6 :

La représentation 3D permet de proposer des liaisons rotules (surfaces de contact sphériques) entre la bielle et les plateaux inférieur et supérieur. Les deux rotules sont en série et réalisent ainsi une liaison ponctuelle d'axe identique à celui de la bielle.

#### Question 7 :

Le graphe des liaisons correspondant est donné ci-contre.

Les liaisons ponctuelles réalisées par les biellettes associées aux trois ponctuelles verticales des parties capteurs des pesons permettent de réaliser une liaison complète isostatique de la cuve par rapport à la dalle. Ainsi la cuve est fixe, elle repose sur trois points de mesure même si la dalle n'est pas parfaitement plane. Les biellettes permettent de compenser les défauts de planéité de la dalle grâce à un réglage de leur longueur.



**Question 8 :**

La longueur du tube est grande par rapport à sa section, on peut donc utiliser un modèle poutre. On applique un effort  $F$  égal au tiers du poids de la cuve pleine soit 30 000 N. Cet effort est modélisé ponctuel car la zone de contact est petite et presque centrée sur la poutre. Compte tenu de la coupe A-A, les tubes sont posés sur la feuillure sans blocage axial ce qui justifie un modèle de liaisons avec des conditions aux limites de déplacement vertical imposé nul et non un encastrement.

**Question 9 :**

Sachant que l'effort est centré au milieu de la poutre, et par symétrie, l'effort en  $x = 0$  est égal à  $\frac{F}{2}$ . Le moment dans le premier tronçon de 0 à  $\frac{L}{2}$  est donc égal à  $\frac{F}{2} \cdot x$ .

Pour calculer la flèche  $v$ , on utilise la relation de comportement  $E \cdot I_z \cdot \frac{d^2v}{dx^2} = \frac{F}{2} \cdot x$  soit par double intégration

$$v(x) = \frac{F}{12 \cdot E \cdot I_z} \cdot x^3 + A \cdot x + B.$$

On utilise les conditions aux limites pour déterminer les constantes d'intégration :

$$v(0) = 0 \text{ et } \frac{dv}{dx}\left(\frac{L}{2}\right) = 0, \text{ d'où } B = 0 \text{ et } A = -\frac{F \cdot L^2}{16 \cdot E \cdot I_z}.$$

On en déduit alors la flèche au milieu de la poutre pour  $x = \frac{L}{2}$  à  $\delta = \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I_z}$ .

**Question 10 :**

Pour faire l'application numérique il faut d'abord déterminer  $I_z$ . Pour une section carrée de côté  $a$  :  $I_z = \frac{a^4}{12}$

Ainsi le moment quadratique pour la section tubulaire de côté  $a$  et d'épaisseur  $e$  est égale à

$$I_z = \frac{a^4 - (a - 2 \cdot e)^4}{12} = \frac{2 \cdot e \cdot a^3}{3}.$$

D'où, pour un effort  $F = 30\,000$  N, l'épaisseur minimale du tube doit être de  $e = 3,5$  mm pour répondre au critère de flèche maximale.

**Question 11 :**

Pour chaque simulation, on relève le déplacement maximal, la contrainte maximale et on évalue la masse de la structure de longueur 14,4 m pour en déduire le coût de la structure. La section de la poutre est égale à

$a^2 - (a - 2 \cdot e)^2 = 4 \cdot e \cdot a$  ce qui correspond pour l'acier à un coût égal à  $4 \times e \times 0,2 \times 7300 \times 14,4 = 100915 \times e$  avec  $e$  en m.

Épaisseur	Déplacement	Contrainte	Coût
2	2,9 mm	490 MPa	673 euros
3	2,1 mm	123 MPa	1009 euros
4	0,8 mm	85 MPa	1345 euros

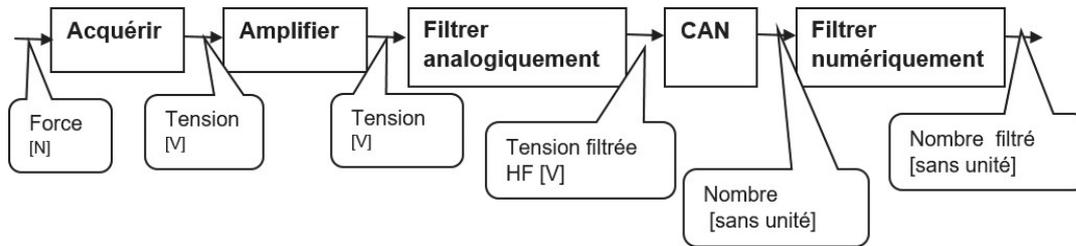
Par analyse des résultats, l'épaisseur de 2 mm ne convient pas car la contrainte dépasse la limite d'élasticité de 241 MPa.

Les deux épaisseurs 3 et 4 mm conviennent car le déplacement est inférieur à 5 mm et la limite élastique n'est pas atteinte.

Pour conclure, on choisit l'épaisseur de 3 mm pour limiter la masse et donc le coût.

On en déduit que l'intérêt de la simulation est d'optimiser le résultat obtenu par un modèle poutre simple.

**Question 12 :**



1

**Question 13 :**

L'analyse de la courbe montre :

- une courbe croissante au cours du temps ce qui traduit le remplissage de la cuve ;
- une oscillation de fréquence 5 Hz qui est due à l'agitation du produit dans la cuve. En effet,  $300 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$  équivaut à une fréquence de  $f = \frac{300 \cdot 2 \cdot \pi}{60 \cdot 2 \cdot \pi} = 50 \text{ Hz}$ , ce qui correspond bien à la fréquence de l'ondulation ;
- une ondulation à haute fréquence qui correspond à un bruit à haute fréquence, certainement dû à des parasites extérieurs lors de la mesure.

Le filtre analogique est un filtre passe-bas qui permet de limiter les fréquences hautes du signal et éliminer ainsi les bruits parasites.

Le deuxième filtre est numérique et permet de faire une moyenne du signal afin de retirer les ondulations de fréquence moyenne dues à l'agitation.

**Question 14 :**

On choisit le filtre passe-bas, c'est-à-dire le premier dans l'annexe car il permet de couper les fréquences supérieures à 500 Hz.

Pour que ce filtre soit efficace, il faut que sa fréquence de coupure soit au minimum inférieure d'une décade aux fréquences à couper. L'application numérique s'écrit alors  $\frac{1}{2V \cdot R \cdot C} = 50 \text{ Hz}$ , soit une constante de temps

$$\tau = R \cdot C = 3,2 \text{ ms} .$$

**Question 15 :**

On discrétise l'équation différentielle à l'aide du schéma d'Euler :

$$\frac{\tau \cdot (S_n - S_{n-1})}{T_e} + S_n = e_n$$

On en déduit que :  $S_n = \frac{T_e}{T_e + \tau} \cdot \left( \frac{\tau}{T_e} \cdot S_{n-1} + e_n \right)$

**Question 16 :**

Si  $T_e \ll \tau$ ,  $S_n = S_{n-1} + \frac{T_e}{\tau} \cdot e_n$ .

$\tau$  doit couper les fréquences égales à 0,5 Hz, soit  $\tau = \frac{1}{2\pi \cdot f} = 0,32 \text{ s}$

**Question 17 :**

On introduit deux vecteurs de taille 100 :  $e$  (vecteur connu) et  $S$ .

L'algorithme proposé pour obtenir le signal filtré est le suivant :

Initialisation des variables :  $n = 1$ ,  $S_n = 0$ ,  $T_e = 1 \cdot 10^{-7}$ ,  $\gamma = 0,32$

Boucle : Pour  $n$  variant de 1 à 99 faire :

$$S_{n+1} = S_n + \frac{T_e}{T} \cdot e_n$$

On peut alors sortir le vecteur  $S$ .

**Question 18 :**

La sortie peson varie de 0 à 20 mV soit, avec l'amplification, de 0 à 10 V. Si on retranche 5 V, on retire la moitié de ce que peut mesurer le peson. En effet, au départ, le peson pèse la masse de la cuve seule soit 4,5 tonnes, ce qui est bien la moitié de la masse totale (cuve + produit) et correspond à 5 V. Pour conclure l'entrée 5 V, représente l'image de la masse de la cuve à vide.

**Question 19 :**

L'étude porte sur la grosse cuve de 4 500 L. On souhaite obtenir une précision de mesure de 1 % du poids de la cuve soit 1 % de 9 000 kg, ce qui correspond à une précision sur le poids total de la cuve de 90 kg soit environ 900 N.

Chaque peson a une étendue d'échelle de 35 000 N. La précision de l'ensemble peson et chaîne de traitement est donc de  $\frac{35\,000}{2^n}$ . Avec un convertisseur 8 bits, la précision obtenue par peson est de 137 N.

Pour conclure sur la mesure du poids total de la grosse cuve, un convertisseur 8 bits permet d'obtenir une mesure du poids à  $3 \times 137 = 411$  N près et par conséquent de vérifier l'exigence du cahier des charges.

**Question 20 :**

L'eau met un certain temps à parcourir la longueur de la canalisation, ceci justifie donc la prise en compte d'un retard dans la régulation de niveau.

On considère qu'à chaque instant  $Q(t) = Q_c(t)$  car on fait l'hypothèse que l'eau est incompressible et qu'il n'y a de pertes ni dans la canalisation ni aux jonctions.

Étant donné que le débit  $Q = 4 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  et sachant que le volume de la queue de chute est de  $V = \frac{L \cdot v \cdot D^2}{4}$ , on

en déduit que le retard entre le moment où la vanne de remplissage se ferme et le moment où la queue de chute se vide dans la cuve est de  $T = \frac{V}{Q} = \frac{2 \times v \times (0,1)^2}{4 \times 4} \times 3600 = 14 \text{ s}$ .

**Question 21 :**

On note :

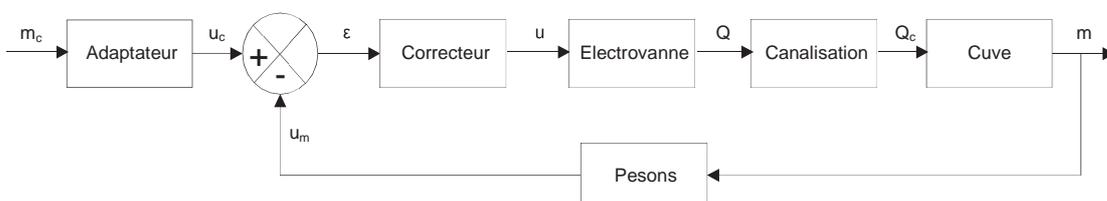
- $S$ , section de la cuve ;
- $h(t)$ , hauteur de remplissage instantané ;
- $Q(t)$ , débit instantané ;
- $\theta$ , masse volumique du produit.

Comme il y a conservation du débit, la hauteur d'eau est reliée au débit par  $h(t) = \int \frac{Q(t)}{S} \cdot dt$ .

La masse de produit dans la cuve à chaque instant s'exprime alors par :

$$m(t) = \theta \cdot V = \theta \cdot h(t) \cdot S = \theta \cdot \int Q(t) \cdot dt$$

**Question 22 :**



**Question 23 :**

Avec une commande tout ou rien, tant que la hauteur de consigne n'est pas atteinte, le débit est maximal. Ensuite, une fois la hauteur de consigne atteinte, le débit devient nul mais la fermeture de la vanne n'est pas instantanée. Il y a également un retard lié à la canalisation, d'où un dépassement de consigne inévitable. Étant donné que l'on ne peut pas vider facilement la cuve pour réajuster la hauteur, cette solution de régulation par un système TOR n'est absolument pas envisageable dans la situation d'un remplissage de biogénérateur.

**Question 24 :**

On constate que le système est précis (les 1000 kg sont atteints) et rapide car les 1000 kg sont atteints en un temps de réponse à 5 % de 80 s. Par contre, la tension de commande est supérieure à 12 V tension maximale supportée par l'électrovanne. Il est donc nécessaire d'ajouter dans le modèle une saturation en tension.

**Question 25 :**

On constate que le système est toujours précis (les 1000 kg sont atteints) mais moins rapide puisqu'il y a l'effet de la saturation au début. Il met maintenant environ 125 s pour atteindre les 95 % de la valeur finale ce qui reste satisfaisant.

On peut conclure que l'intérêt de la régulation de masse est qu'elle permet au système d'atteindre précisément la masse souhaitée en un temps raisonnable sans risque de surtension qui endommagerait l'électrovanne.

**Remarque :** une erreur sur l'échelle des temps s'est glissée dans le sujet. Le débit de remplissage de la cuve était de  $4 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  ce qui implique que le remplissage se fait en un peu plus d'une heure.

**Question 26 :**

La partie métallique a une masse de  $M_r = 2240 \text{ kg}$  avec un  $C_{pr} = 0,12 \text{ Kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .

La quantité d'énergie nécessaire pour la chauffer est :  $M_r \cdot C_{pr}$ .

Ceci est équivalent à chauffer une masse de produit de  $M_r \cdot \frac{C_{pr}}{C_{pe}}$ .

On en déduit que la masse équivalente produit totale à chauffer est :  $M_p = M_e + M_r \cdot \frac{C_{pr}}{C_{pe}} = 4668 \text{ kg}$ .

**Question 27 :**

Expression du flux perdu à travers un élément d'échangeur  $dS$  :  $d\dot{E} = k \cdot (T_{\text{fluide}} - T_{\text{cuve}}) \cdot dS$ .

Expression du flux perdu par le mono fluide :  $d\dot{E} = -(Q_m \cdot C_{pfl}) \cdot dT_{\text{fluide}}$ .

**Question 28 :**

$$k \cdot (T_{\text{fluide}} - T_{\text{cuve}}) \cdot dS = -(Q_m \cdot C_{pfl}) \cdot dT_{\text{fluide}}$$

$$\frac{dT_{\text{fluide}}}{(T_{\text{fluide}} - T_{\text{cuve}})} = \frac{k \cdot dS}{Q_m \cdot C_{pfl}}$$

**Question 29 :**

De l'expression précédente on en déduit :  $T_{\text{fluide}} - T_{\text{cuve}} = C_{ste} \cdot e^{-\frac{k \cdot S}{Q_m \cdot C_{pfl}}}$ .

Au début du serpentin :  $S = 0$   $T_{\text{fluide}} = T_1$  d'où  $T_1 - T_{\text{cuve}} = C_{ste}$ .

Au bout du serpentin après toute la surface d'échange  $S = \Sigma$  :  $T_{\text{fluide}} = T_2$ .

$$T_2 - T_{\text{cuve}} = (T_1 - T_{\text{cuve}}) \cdot e^{-\frac{k \cdot \Sigma}{Q_m \cdot C_{pfl}}}$$

Ainsi par identification  $A = T_{\text{cuve}}$ ,  $B = (T_1 - T_{\text{cuve}})$  et  $C = \frac{k \cdot \Sigma}{Q_m \cdot C_{pfl}}$ .

La température du fluide varie de manière exponentielle au fur et à mesure que le fluide passe dans le serpentin.

**Question 30 :**

a- Ce transfert thermique traduit que la puissance thermique gagnée par la cuve est égale à la quantité de chaleur libérée par le passage du fluide dans le serpentin.

b- 
$$M_P \cdot C_P \cdot \frac{dT_{cuve}}{dt} = Q_m \cdot C_{pff} \cdot (T_1 - T_2).$$

Avec l'expression précédente de  $T_2$  :  $M_P \cdot C_P \cdot \frac{dT_{cuve}}{dt} = Q_m \cdot C_{pff} \cdot \left( T_1 - (T_1 - T_{cuve}) \cdot e^{-\frac{k\Sigma}{Q_m \cdot C_{pff}}} - T_{cuve} \right).$

$$M_P \cdot C_P \cdot \frac{dT_{cuve}}{dt} + Q_m \cdot C_{pff} \cdot T_{cuve} \left( 1 - e^{-\frac{k\Sigma}{Q_m \cdot C_{pff}}} \right) = Q_m \cdot C_{pff} \cdot T_1 \cdot \left( 1 - e^{-\frac{k\Sigma}{Q_m \cdot C_{pff}}} \right).$$

$$\frac{dT_{cuve}}{dt} + \frac{Q_m \cdot C_{pff}}{M_P \cdot C_P} \cdot T_{cuve} \left( 1 - e^{-\frac{k\Sigma}{Q_m \cdot C_{pff}}} \right) = \frac{Q_m \cdot C_{pff}}{M_P \cdot C_P} \cdot T_1 \cdot \left( 1 - e^{-\frac{k\Sigma}{Q_m \cdot C_{pff}}} \right).$$

Ainsi l'équation différentielle qui régit la température de la cuve s'écrit :  $\frac{dT_{cuve}}{dt} + a \cdot T_{cuve} = b.$

$$\text{Avec } a = \frac{Q_m \cdot C_{pff}}{M_P \cdot C_P} \left( 1 - e^{-\frac{k\Sigma}{Q_m \cdot C_{pff}}} \right) \text{ et } b = \frac{Q_m \cdot C_{pff}}{M_P \cdot C_P} \cdot T_1 \cdot \left( 1 - e^{-\frac{k\Sigma}{Q_m \cdot C_{pff}}} \right).$$

**Question 31 :**

Courbe 1 :  $T_1$  est constante (température du serpentin en entrée).

Courbe 2 :  $T_2$  évolue de manière exponentielle et commence à une température supérieure à 4°C.

Courbe 3 :  $T_3$  évolue de manière exponentielle et commence à 4°C. C'est cette courbe qui correspond à l'évolution de la température de la cuve.

**Question 32 :**

On lit qu'il faut 9000 secondes soit 2 h 20 min pour atteindre  $T_{cuve} = 37^\circ C$ . L'exigence de montée en température de 4 h du cahier des charges est vérifiée.

**Question 33 :**

Le modèle ne prend pas en compte l'inertie du mono fluide. On ne vidange pas le mono fluide une fois la température de 37°C atteinte.

La température du mono fluide est toujours de 40°C lorsque la température de la cuve a atteint 37°C. Comme le serpentin n'est pas vidangé, le mono fluide apporte encore de la chaleur même quand la vanne est fermée. Donc il est certain qu'il y aura dépassement des 37°C et le risque d'atteindre les 39°C existe.

Cette solution sans aucune régulation de température est imprécise et risquée pour la production d'où la nécessité d'une régulation en température pour être sûr de ne pas dépasser les 39°C définis dans le cahier des charges.

**Question 34 :**

Bloc 1 : régulateur.

Bloc 2 : vanne.

Bloc 3 : échangeur.

Bloc 4 : serpentin + cuve.

Bloc 5 : capteur de température.

**Question 35 :**

Bloc 3 : l'allure des points est modélisable par une loi entrée et sortie. Donc la fonction de transfert est un gain  $K$ , avec  $K = \frac{\text{sortie}}{\text{entrée}} = \frac{400 \cdot 10^3}{3} = 1,333 \cdot 10^5 \text{ W} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3} = 48 \cdot 10^7 \text{ W} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-3}$ .

Bloc 4 : loi de comportement d'un premier ordre.

$$T_{\text{cuve}} = K \cdot P_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \text{ avec } 3\tau = 20\,000 \text{ s} = 5 \text{ h } 30 \text{ min d'où } \tau = 6\,668 \text{ s}$$

Pour un entrée échelon  $P_0 = 90\,000 \text{ W}$

$$\text{Le gain de la fonction de transfert : } K = \frac{T_0}{P_0} = \frac{0,03}{9 \cdot 10^4} = 3,33 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{W}^{-1}.$$

**Remarque** : une erreur sur l'unité de l'échelle des températures s'est glissée dans le sujet. La température atteinte par le contenu de la cuve est de  $34^\circ\text{C}$ .

### Question 36 :

La courbe de réponse ne présente :

- pas de dépassement de  $37^\circ\text{C}$  ;
- un temps de mise en chauffe plus rapide (en effet le bouclage augmente la rapidité) ;
- un temps de réponse de  $2\,000 \text{ s}$  soit  $35 \text{ min}$ .

Par contre il y a une erreur de plusieurs degrés ( $4^\circ\text{C}$ ) puisque la température maximale atteinte est de  $33^\circ\text{C}$ , il est donc nécessaire de régler le correcteur pour répondre à tous les critères du cahier des charges.

### Question 37 :

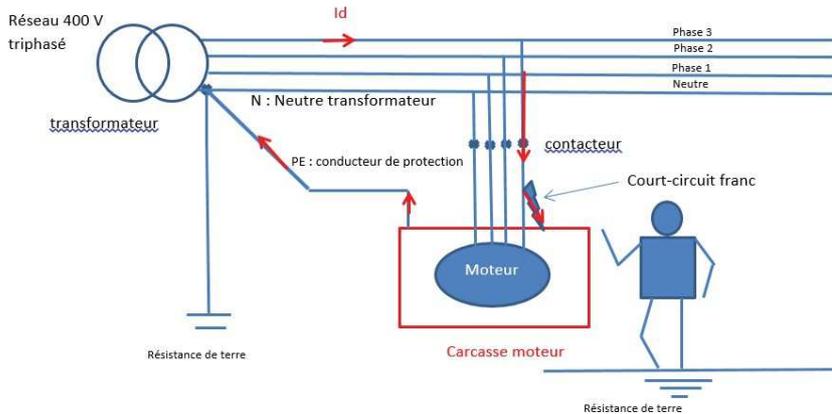
Le recensement des performances des différents réglages par analyse des courbes est résumé dans le tableau suivant :

	Cahier des charges			
	Dépassement	Erreur	Temps de réponse à 95 % ( $35^\circ\text{C}$ )	Choc thermique Temps pour atteindre $30^\circ\text{C}$
	$39^\circ\text{C}$ maxi	$0,1^\circ\text{C}$	$3\text{h} = 10\,800 \text{ s}$ maxi	$2\,000 \text{ s}$ mini
$K_p = 20$	non	$0,25^\circ\text{C}$	$110 \text{ s}$	
$K_p = 200$	oui	$<0,1^\circ\text{C}$	$50 \text{ s}$	
$K_p = 1$ et $K_p = 8 \cdot 10^{-5}$	non	$0^\circ\text{C}$	$4\,000 \text{ s}$	$1\,800 \text{ s}$
$K_p = 0,5$ et $K_p = 8 \cdot 10^{-5}$	non	$0^\circ\text{C}$	$5\,000 \text{ s}$	$2\,500 \text{ s}$

La fonction intégrale permet d'assurer une bonne précision sans dépassement.

La solution  $K_p = 0,5$  et  $K_i = 8 \cdot 10^{-5}$  est la seule qui permette de vérifier les quatre performances du cahier des charges.

### Question 38 :



**Question 39 :**

Le parcours du courant  $I_d$  passe par la phase 3, puis  $R_d$ , puis  $R_{pe}$ . Ces 3 résistances sont donc en série avec la phase 3.

**Question 40 :**

$$U_D = \frac{R_{pe}}{R_d + R_{pe} + R_{phase3}} \times 0.8 \times V_3 .$$

Il fallait lire pour l'application numérique des valeurs  $R_d = R_{pe} = R_{phase3} = 50 \text{ m}\Omega$ .

A.N. :  $U_D = \frac{50}{150} \times 0.8 \times 230 = 61 \text{ V}$

$U_D$  est supérieur à 50 V ( $U_L$ ), il faut donc interrompre le transfert d'énergie.

**Question 41 :**

Le parcours du courant passe par  $R_{phase3}$ ,  $R_d$ ,  $R_{pe}$ ,  $R_a$  puis  $R_b$ . Toutes ces résistances sont en série. La tension  $U_D$  est donc celle aux bornes de l'ensemble ( $R_{pe} + R_a$ ).

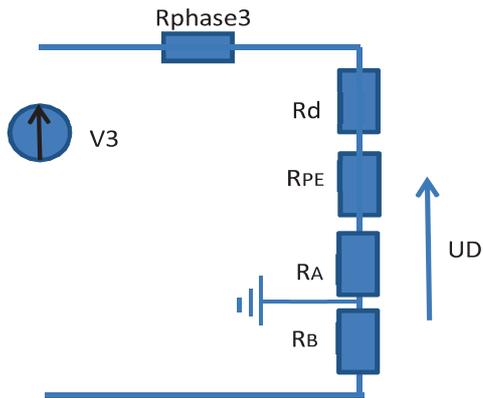
Dans ce cas, 
$$U_D = \frac{R_{pe} + R_a}{R_d + R_{pe} + R_{phase3} + R_a + R_b} \times V_3 .$$

Il fallait, comme à la question précédente, lire pour l'application numérique les valeurs des résistances des conducteurs  $R_d = R_{pe} = R_{phase3} = 50 \text{ m}\Omega$ .

On obtient alors un courant de défaut  $I_D = 11.4 \text{ A}$ . Cette intensité du courant ne donne pas lieu à une chute de tension de 20 % à la source, contrairement à la question précédente.

A.N. :  $U_D = \frac{0,05+10}{0,05+0,05+0,05+10+10} \times 230 = 115 \text{ V}$

$U_D > U_L$ , il est nécessaire d'interrompre le transfert d'énergie : cela ne convient pas pour cette installation.



**Question 42 :**

Comme le suggère la figure 36, la prise de terre des masses est commune à celle du neutre. Sur le schéma équivalent n'est pas représenté l'ensemble  $(Z + R_0)$  entre le neutre N et la terre (point A). On peut négliger la valeur de  $R_0$  devant celle de  $Z$ .

$$\underline{U}_{NA} = \frac{\frac{V_1}{Z_1} + \frac{V_2}{Z_2} + \frac{V_3}{Z_3}}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} + \frac{1}{Z_n}} = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{4 + \frac{Z_n}{Z}} = 0.$$

**Question 43 :**

$$I_f = \frac{V_1 - \underline{U}_{AN}}{Z_1} + \frac{V_2 - \underline{U}_{AN}}{Z_2} + \frac{V_3 - \underline{U}_{AN}}{Z_3} + \frac{-\underline{U}_{AN}}{Z_n} = -4 \frac{\underline{U}_{AN}}{Z_n}$$

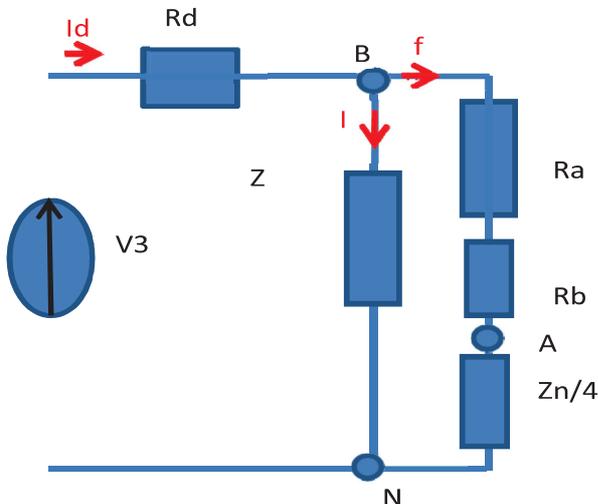
Et donc :  $\underline{U}_{AN} = -\frac{Z_n}{4} I_f$

**Question 44 :**

On appelle B le point correspondant au potentiel de prise de terre du neutre. En observant le parcours du courant, on s'aperçoit que  $R_0$  est entre  $V_3$  et B ;  $Z$  entre B et N ;  $\frac{Z_n}{4}$  entre N et A et  $R_p$  entre A et B, ce qui amène au schéma donné, si on néglige les résistances  $R_{phase3}$  et  $R_{pe}$ .

**Question 45 :**

En utilisant le pont diviseur de courant, on obtient d'après la figure suivante :



Ce qui donne si on néglige  $R_b + R_a$  devant  $\frac{Z_n}{4}$  :  $I_f = \frac{V_1 \times j4C_n \omega \times Z}{R_d \times j4C_n \omega \times Z + R_d + Z}$

**Question 46 :**

En assimilant l'impédance  $Z$  à une résistance, on obtient :

$$I_f = \frac{V_1 \times 4C_n \times 2\pi f \times Z}{\sqrt{(R_d \times 4C_n \times 2\pi f \times Z)^2 + (R_d + Z)^2}} = \frac{230 \times 4 \times 1.6 \cdot 10^{-8} \times 100\pi \times 1000}{\sqrt{(50 \times 4 \times 1.6 \cdot 10^{-8} \times 100\pi \times 1000)^2 + (50 + 1000)^2}} = 438 \text{ mA}$$

et donc  $U_c = 4.38 \text{ V}$ .

$U_c$  ( $U_L$ ), il n'est pas nécessaire d'interrompre le transfert d'énergie. La tension de contact est largement inférieure à la tension limite (50V), la personne n'est donc pas en danger.

**Question 47 :**

Il fallait lire  $U$  à la place de  $V_3$  dans la formule donnée.

$$U_c = \frac{0.8 \times 400 \times 4}{2 \times (1+4)} = 128 \text{ V}.$$

La tension de contact dépasse les 50 V de la tension limite : la personne est en danger. Il faut intervenir rapidement.

Cette troisième solution permet de ne pas couper l'alimentation de l'installation en cas de premier défaut, ce qui préserve le contenu des cuves. Par contre, il faut que les techniciens interviennent rapidement pour éliminer le premier défaut avant l'apparition d'un deuxième défaut qui serait, lui, dangereux.

**Question 48 :**

Après une analyse de la structure et des exigences du système, certaines de ces exigences en lien avec les cellules souches ont été étudiées en détail.

Il a tout d'abord été question d'analyser la précision du système de remplissage de la cuve. La modélisation des liaisons et de la structure a permis de justifier que l'implantation de la cuve était satisfaisante. L'analyse de la chaîne d'information a ensuite permis de valider l'obtention d'une mesure précise de la masse.

Plusieurs régulations ont été mises en place afin d'assurer le bon développement des cultures : régulation de masse, régulation de température. Chaque régulation a nécessité la mise en place d'un correcteur adéquat.

Enfin, une étude de la sécurité de l'installation a permis de valider le choix du schéma de liaison à la terre IT pour assurer la continuité de service de l'installation.