

DS 01- Traite automatique des vaches

Avec Correction

PTSI

Samedi 02 octobre 2021

Table des matières

I	Présentation du système « Robot de traite automatique »	2
II	Implantation dans une exploitation agricole du « Robot de traite automatique »	5
III	Analyse fonctionnelle du système « Robot de traite automatique »	6
IV	Mettre en position le système nécessaire à la traite	7
V	Identification d'une réponse temporelle	10
VI	Annexes	11

Traite automatique des vaches

I Présentation du système « Robot de traite automatique »

I.1 Contexte

Les agriculteurs, producteurs laitiers, sont soumis à des réglementations strictes quant à la production du lait, en termes de respect de l'environnement, de mesures d'hygiène et de qualité de vie des animaux.

Traire les vaches est une opération pénible et répétitive. Cette opération doit se faire dans le respect des animaux et elle est soumise à des horaires contraignants. Les agriculteurs souhaitent maintenant disposer de plus de temps pour gérer leur exploitation agricole et pouvoir concilier vie professionnelle et personnelle. Dans cette optique, des sociétés ont développé des systèmes de traite automatique.

Le robot à étudier améliore de façon notable la santé et la qualité de vie des producteurs laitiers, tout en préservant le rythme des animaux et en garantissant la qualité du lait. Il assure à la fois la traite des vaches, leur alimentation et le contrôle de la qualité du lait (en identifiant les éventuels problèmes de santé, en mesurant les paramètres essentiels, en détectant le lait non conforme).

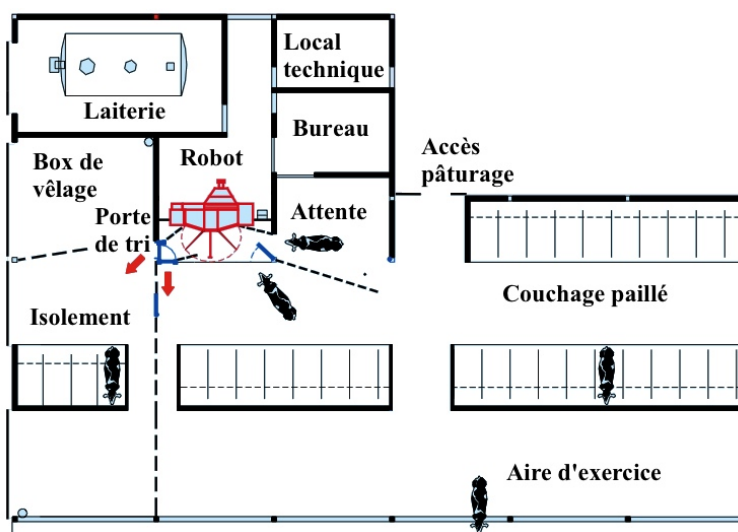


Figure 1 – Exemple d'implantation du robot de traite dans une exploitation agricole

I.2 Description du robot de traite

Le robot Lely est composé (figure ??) :

- d'une zone (box où la vache est installée lors de la traite) composée d'une structure tubulaire mécanosoudée, équipée de 2 portes (entrée et sortie), d'un tapis de pesée et d'une auge réservée à l'alimentation solide (granulés) ;
- d'un système de bras articulés, permettant au système de traite de se positionner au mieux pour traire la vache ;
- d'une interface homme/machine, écran de contrôle tactile, qui permet au personnel agricole d'obtenir des renseignements sur le processus en cours et de gérer d'éventuelles opérations de maintenance.



Figure 2 – Robot de traite Lely

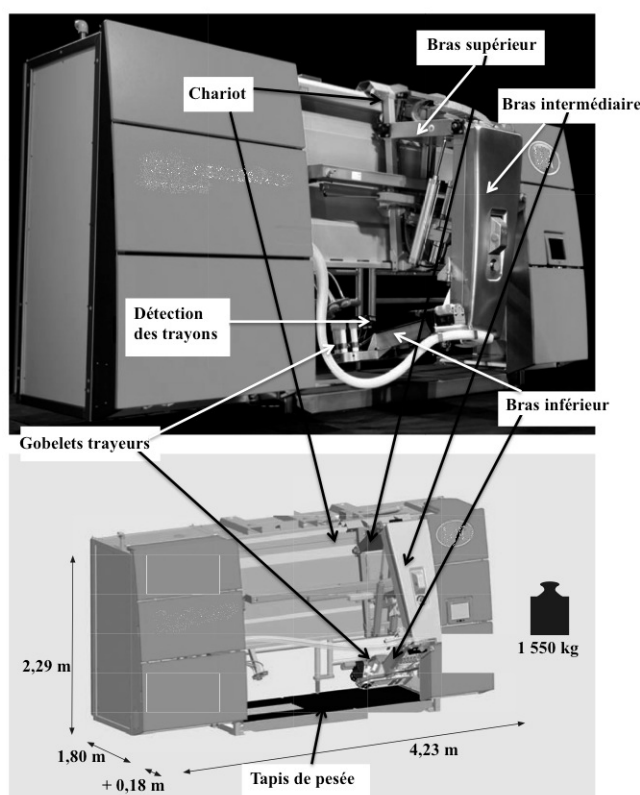
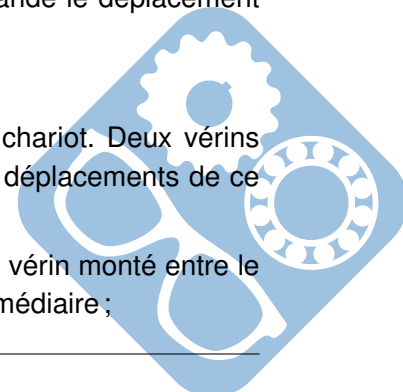


Figure 3 – Description des composants principaux du robot de traite Lely

Le bras articulé se décompose en 2 parties :

- le chariot, permettant le déplacement horizontal du bras. Il est monté sur des galets qui réalisent la liaison glissière de direction horizontale et un vérin pneumatique commande le déplacement de ce chariot. Le système de contrôle du bras est installé sur le chariot ;
- le bras, composé :
 - d'un bras supérieur en liaison pivot d'axe horizontal par rapport au chariot. Deux vérins montés en parallèle entre le chariot et le bras supérieur assurent les déplacements de ce dernier ;
 - d'un bras intermédiaire, lié au bras supérieur par une liaison pivot. Un vérin monté entre le bras intermédiaire et le chariot assure les déplacements du bras intermédiaire ;



- d'un bras inférieur, en liaison complète avec le bras intermédiaire, qui porte le système de branchement aux trayons (ou mamelles, ou pis), le système pulsateur, le système de nettoyage par brosses (en liaison pivot avec le bras inférieur) et la tête de traite ;
- d'une tête de traite, constituée des gobelets et du système de détection des trayons de la vache (le système TDS utilise une technologie laser en trois dimensions pour un repérage rapide et précis des trayons, permettant le positionnement et le branchement rapide des gobelets).

I.3 Description d'une traite automatique

Le principe de la traite automatique est de laisser la vache libre de choisir le moment où elle souhaite être traitée.

Toutes les vaches laitières du troupeau sont équipées d'un collier d'identification à infrarouge qu'elles portent autour du cou.

Lorsqu'elle le décide, la vache se présente devant la porte d'entrée du box de traite. Grâce à son collier, elle est identifiée (les informations sont gérées par un ordinateur superviseur).

La porte d'entrée s'ouvre, laissant passer la vache (et elle seule), puis se referme. La vache est alors isolée dans le box de traite. Elle se dirige naturellement vers l'auge pour manger sa ration de granulés. Grâce aux informations d'identification, la nourriture est dosée.

- Cas 1 : si la vache a déjà été traitée récemment et ne respecte pas le temps minimum entre 2 traites, aucun aliment ne sera distribué. Elle ne sera pas traitée, la porte de sortie sera alors ouverte, laissant sortir l'animal et libérant le box de traite.
- Cas 2 : si la vache a respecté le temps entre 2 traites et qu'elle n'a pas eu sa dose journalière de granulés, l'auge sera alors remplie avec la dose adéquate de granulés.

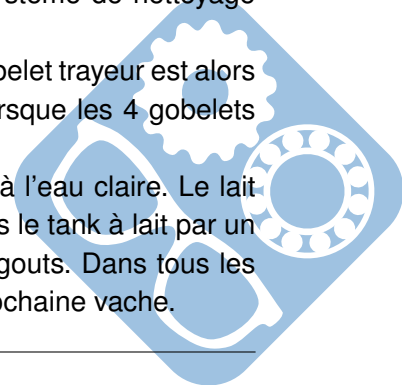
Lorsque la vache est dans le box, elle est installée sur un tapis de pesée équipé de capteurs de pesage. Les informations de masse et de position du centre de gravité de l'animal sont transmises à l'ordinateur superviseur. Le bras du robot peut alors être positionné et effectuer la traite de la vache.

Connaissant le centre de gravité de la vache, le bras vient positionner le bras inférieur (avec la tête de traite) au plus près des trayons de la vache. Le système de nettoyage par brosses vient alors se positionner au niveau des trayons de la vache, nettoyant trayon par trayon et stimulant la lactation (venue du lait). Une fois cette tâche effectuée, le système se retire (système escamotable, en liaison pivot avec le bras inférieur).

Ensuite, le système de triangulation laser permet de positionner les gobelets trayeurs un par un, toujours dans le même ordre : il détecte la position du premier trayon, puis positionne le premier gobelet trayeur, puis il détecte la position du second trayon et positionne le deuxième gobelet trayeur et idem pour les troisième et quatrième gobelets trayeur. Dès qu'un gobelet trayeur est « branché » sur le trayon, un système pulsateur s'enclenche et tire le lait qui est acheminé vers une chambre de réception (qui stockera tout le lait de cette vache, permettant ainsi de connaître la quantité de lait extrait lors de la traite, informant alors l'ordinateur). Lorsque tous les trayons sont branchés, le système de nettoyage (brosses) est nettoyé.

Lorsque le système pulsateur détecte une absence de lait dans un trayon, le gobelet trayeur est alors déconnecté (chaque gobelet trayeur est déconnecté de façon indépendante). Lorsque les 4 gobelets sont déconnectés, les trayons de la vache sont nettoyés (par aspersion d'eau).

Le bras se retire, les gobelets trayeurs sont nettoyés à la vapeur puis rincés à l'eau claire. Le lait qui était dans la chambre de réception est pesé s'il est « sain » puis acheminé vers le tank à lait par un lactoduc (figure 4). S'il n'est pas « sain », il est acheminé directement vers les égouts. Dans tous les cas, la chambre est ensuite nettoyée de façon à ne pas contaminer le lait de la prochaine vache.



La traite est alors terminée. La porte de sortie s'ouvre, incitant la vache à quitter le box de traite.

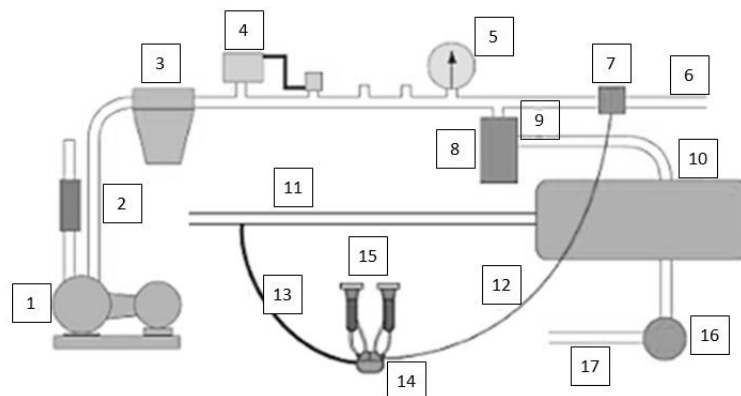


Figure 4 – Principaux composants du système de traite avec lactoduc

- | | |
|--|-----------------------------|
| 1. Pompe à vide | 10. Chambre de réception |
| 2. Canalisation principale (air) | 11. Lactoduc |
| 3. Intercepteur | 12. Tuyau long de pulsation |
| 4. Régulateur | 13. Tuyau long à lait |
| 5. Indicateur de vide | 14. Griffe |
| 6. Canalisation à air des pulsateurs | 15. Gobelet trayeurs |
| 7. Pulsateur | 16. Pompe à lait |
| 8. Piège sanitaire | 17. Lactoduc d'évacuation |
| 9. Canalisation à air de la chambre de réception | |

II Implantation dans une exploitation agricole du « Robot de traite automatique »

Objectif : valider la pertinence de l'implantation d'un seul robot dans une exploitation agricole ayant 60 vaches laitières.

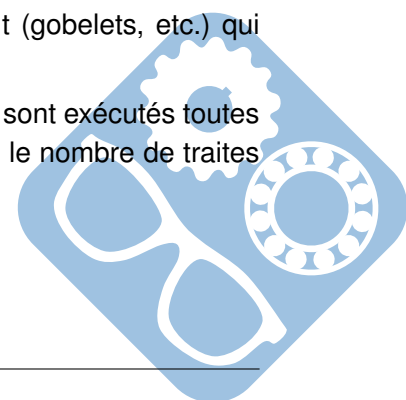
Le robot de traite Lely est prévu pour fonctionner 20 heures sur 24 : sur cette durée, la moyenne sur le troupeau est de 2,5 traites par vache, la durée moyenne d'une traite étant de 6 minutes.

Par ailleurs, afin d'assurer une hygiène parfaite, des nettoyages réguliers sont prévus et, lors de ces opérations, le box n'est pas accessible. Deux types de nettoyage sont réalisés :

- des nettoyages simples à l'eau chaude des parties en contact avec le lait (gobelets, etc.) qui durent 4 minutes et sont exécutés toutes les 5 traites ;
- et des nettoyages complets de l'ensemble du robot qui durent 10 minutes et sont exécutés toutes les 20 traites et aussi après les 20 heures de fonctionnement, quel que soit le nombre de traites effectuées.

Un cycle de traites correspond au temps séparant deux nettoyages complets.

Question 1 Déterminer la durée d'un cycle de traites d_t .



- Question 2** Déterminer le nombre entier n de cycles de traites quotidiennement effectués par le robot dans les conditions de fonctionnement définies.
- Question 3** Déterminer le temps t_d restant disponible et en déduire le nombre de traites complémentaires possibles.
- Question 4** En déduire le nombre total de traites n_t que peut effectuer le robot sur une plage d'utilisation de 20 heures.
- Question 5** Définir alors la taille maximale t_{max} du troupeau pour un seul robot Lely. Est-ce compatible avec le cheptel de 60 vaches de l'entreprise agricole ?

III Analyse fonctionnelle du système « Robot de traite automatique »

III.1 Exigences du système étudié

Grâce à la traite automatique, les vaches choisissent leurs heures de traite et se déplacent librement entre le robot de traite et les bâtiments d'élevage. Les éleveurs n'ont alors plus de contraintes horaires fixes de traite, ce qui leur permet de gérer au mieux leur exploitation agricole.

En annexe (fin du sujet), on fournit les diagrammes des exigences du système étudié.

- Question 6** A l'aide de la description fournie dans la « Partie 1. Présentation du système « Robot de traite automatique » du sujet, et des diagrammes SysML en annexe, compléter le diagramme de contexte sur le document réponse.
- Question 7** Quelles sont les 2 exigences principales du système « robot de traite automatique » ?

III.2 Modules du système étudié

En annexe (fin du sujet), on fournit un diagramme de définition de bloc du système « robot Lely ».

- Question 8** Grâce à quel sous-système le robot détecte-il le pis de la vache ?
- Question 9** Quel composant technique permet d'obtenir l'information de pesée de la vache ?
- Question 10** Quel composant technique permet d'identifier la vache présente dans le box de traite automatique ?

III.3 Peser la vache

Lorsqu'elle est dans le box, la vache est sur un tapis de pesée, schématisé figure 5. Ce tapis de pesée est constitué d'une structure rigide (caillebotis métallique) liée au support des capteurs (bâti tubulaire mécanosoudé) et d'un revêtement antidérapant en caoutchouc.

Objectif : on souhaite vérifier que la pesée de la vache soit fournie à 2% près.

	Dimensions (mm)	Matériau
Revêtement antidérapant	2500×1000×10	caoutchouc recyclé (masse volumique : 900 kg/m ³)
Structure rigide	2500×1000×20	acier galvanisé (masse surfacique : 15 kg/m ²)
Grille d'évacuation	700×500×20	acier galvanisé (masse surfacique : 15 kg/m ²).

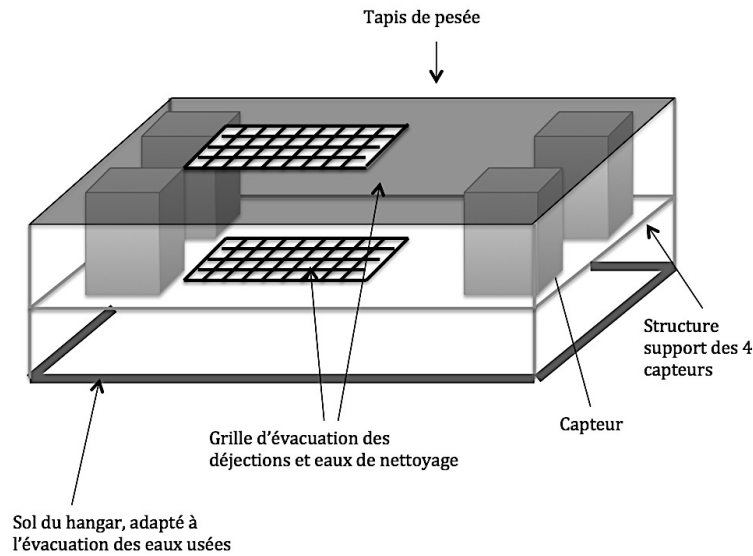
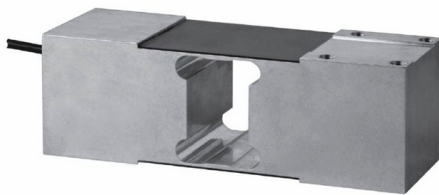


Figure 5 – Schéma du tapis de pesée et de son implantation

4 capteurs identiques de pesée à appui central se trouvent sous ce tapis de pesée. Les caractéristiques de ces capteurs sont données dans le tableau suivant :



- Poids, y compris emballage : 2 kg
- Applications : Balances sur table, plateforme au sol, convoyage et applications médicales,
- Particularités : Gamme étendue de capacités nominales de 30 jusqu'à 750 kg

Question 11 Sachant qu'une vache a une masse de 700 kg en moyenne et connaissant les caractéristiques des 4 capteurs utilisés, peut-on négliger la masse du tapis de pesée (structure rigide et revêtement antidérapant) et respecter une précision de pesée de 2% ? Vous justifierez vos réponses par le calcul. Quelle(s) opération(s) devra réaliser l'installateur lors de la mise en service du tapis de pesée ?

IV Mettre en position le système nécessaire à la traite

La vache étant identifiée, le robot doit se mettre en position afin de démarrer le cycle de traite.

IV.1 Détecter la position de la vache

Lorsque la vache arrive sur le tapis de pesée, les informations délivrées par les capteurs permettent non seulement d'avoir l'information de la masse de la vache, mais ils permettent également d'obtenir la position du centre de gravité de la vache.

Le système de traite étant positionné au plus proche du pis de la vache nous allons nous intéresser plus particulièrement au mouvement du chariot 1, lorsque le robot est en phase de traite de la vache (gobelets trayeurs positionnés sur la vache et en mode extraction du lait).

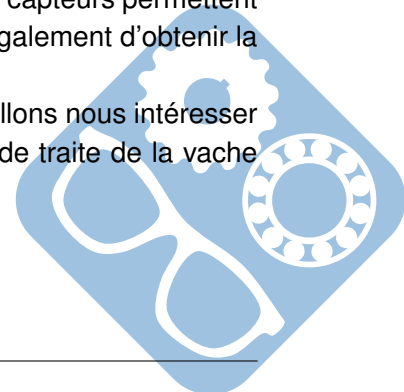




Figure 6 – Détection de la position de la vache

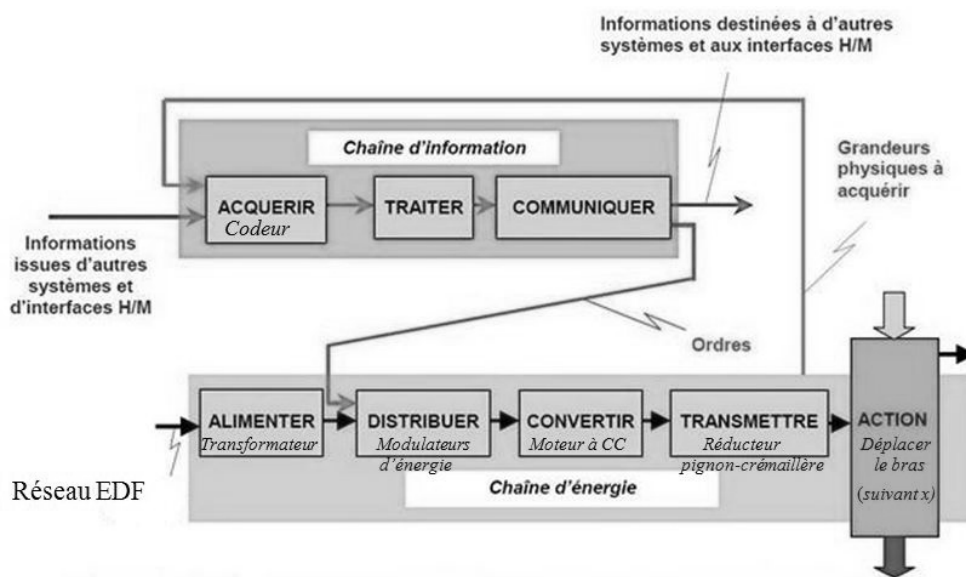
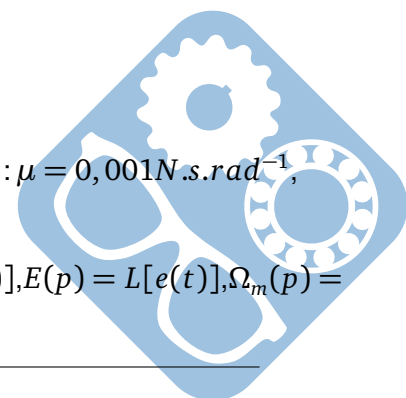


Figure 7 – Sstructure de l'axe motorisé du chariot

Données du moteur à courant continu :

- résistance de l'induit : $R = 5\Omega$,
- inductance : $L = 0,0053H$,
- constante de fem : $Ke = 0,65V.s.rad^{-1}$,
- constante de couple $K_t = 0,65N.m.A^{-1}$,
- coefficient de frottements visqueux dans les liaisons ramené à l'arbre moteur : $\mu = 0,001N.s.rad^{-1}$,
- inertie ramenée à l'arbre moteur : $J = 8.10^{-3}kg.m^2$.

Les condition initiales sont nulles. On note $U_m(p) = L[u_m(t)], I_m(p) = L[i_m(t)], E(p) = L[e(t)], \Omega_m(p) = L[\omega_m(t)], C_m(p) = L[c_m(t)]$.



$$u_m(t) = R \cdot i_m(t) + L \cdot \frac{di_m(t)}{dt} + e(t) \quad (1)$$

$$e(t) = K_e \cdot \omega_m(t) \quad (2)$$

$$c_m(t) = K_c \cdot i_m(t) \quad (3)$$

$$J \cdot \frac{d\omega_m(t)}{dt} = c_m(t) - \mu \cdot \omega_m(t) \quad (4)$$

Question 12 En utilisant le théorème de la dérivation, écrire les 4 équations du moteur dans le domaine de Laplace.

Question 13 Déterminer la fonction de transfert $H(p) = \frac{\Omega_m(p)}{U_m(p)}$.

Question 14 Écrire la fonction de transfert $H(p)$ sous la forme $H(p) = \frac{G}{1 + \frac{2\xi}{\omega_n} \cdot p + \frac{2}{\omega_n^2} \cdot p^2}$.

Question 15 Donner les expressions du facteur d'amortissement ξ , de la pulsation propre ω_n et le gain G en fonction des paramètres de l'énoncé.

Question 16 Donner l'unité de G en unité S.I. de base et faire l'application numérique.

Question 17 Faire les applications numériques pour ω_n et ξ , vous préciserez les unités.
Pour la suite, on prendra $\omega_n = 100$ et $\xi = 5$.

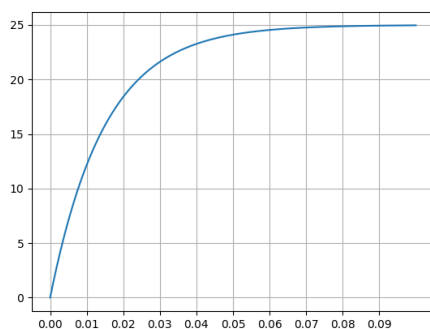
Question 18 Justifier qu'on peut alors écrire $H(p)$ sous la forme $H(p) = \frac{G}{(1 + \tau_1 \cdot p)(1 + \tau_2 \cdot p)}$ et donner les valeurs numériques de τ_1 et τ_2 .

Question 19 Quelle(s) hypothèse(s) pouvez-vous faire afin d'assimiler $H(p)$ à un premier ordre ?
Donner alors la nouvelle expression de $H(p)$ sous forme canonique littérale et l'écrire avec également sous forme numérique.

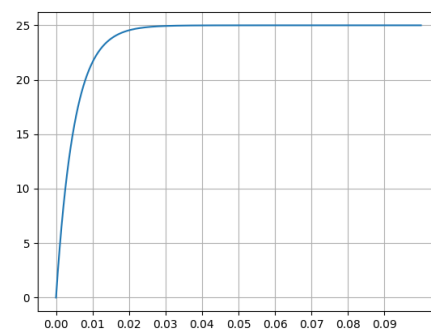
Quels que soient les résultats trouvés précédemment, on prend maintenant $H(p) = \frac{1}{1 + 0,005 \cdot p}$.
On sollicite le moteur avec un échelon $u_0 = 25V$.

Question 20 Déterminer alors l'expression de $\omega_m(t)$.

On donne les 2 réponses temporelles suivantes : figure 8a et figure 8b.

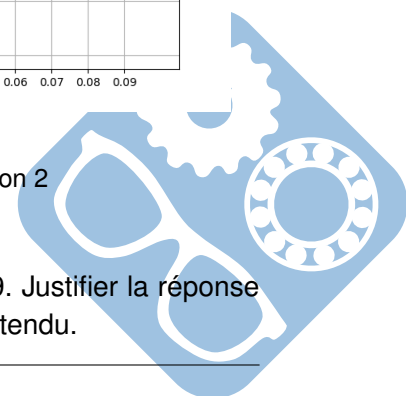


(a) Solution 1



(b) Solution 2

Question 21 Déterminer à laquelle correspond celle calculée à la question Q19. Justifier la réponse en indiquant pour chacune d'elle ce qui la différencie du résultat attendu.



V Identification d'une réponse temporelle

Soit la réponse temporelle $s(t)$ en $rad.s^{-1}$ à un échelon $u_0(t) = 12V$.

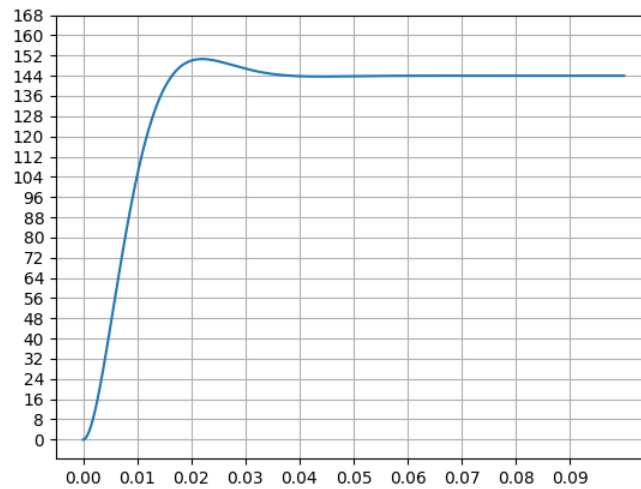
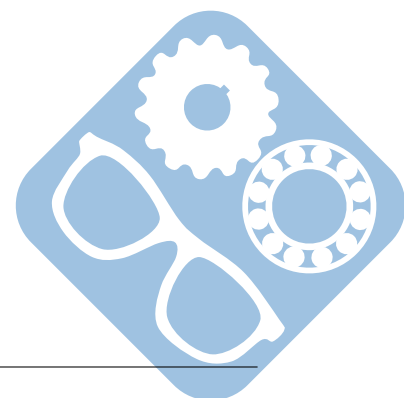


Figure 9 – Réponse à un échelon $u_0(t) = 12V$

- Question 22** Déterminer (le gain statique) K de la fonction de transfert correspondante, vous préciserez l'unité.
- Question 23** Déterminer ξ (à 0,1 près) de la fonction de transfert correspondante, vous préciserez l'unité.
- Question 24** Déterminer ω_0 de la fonction de transfert correspondante, vous préciserez l'unité.



VI Annexes

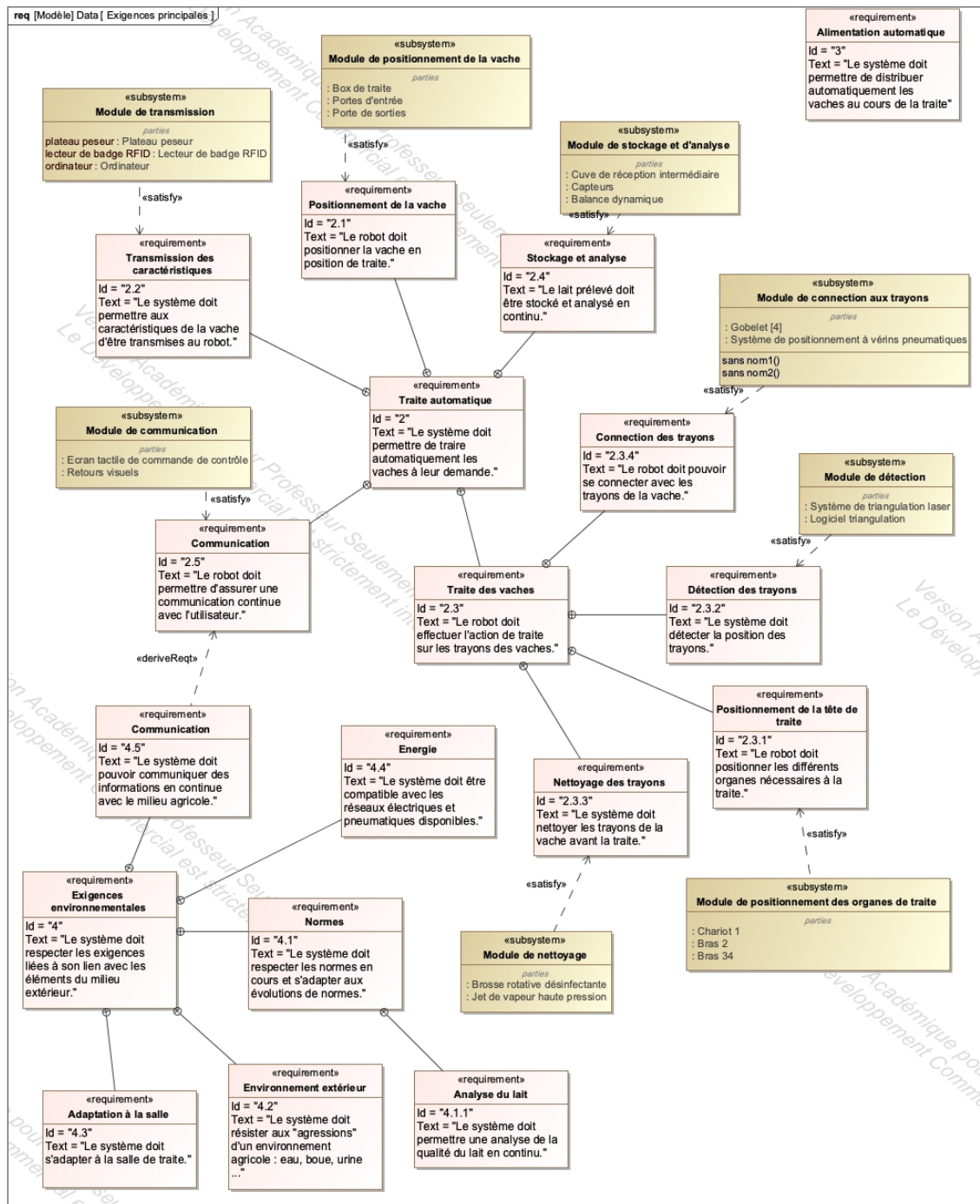
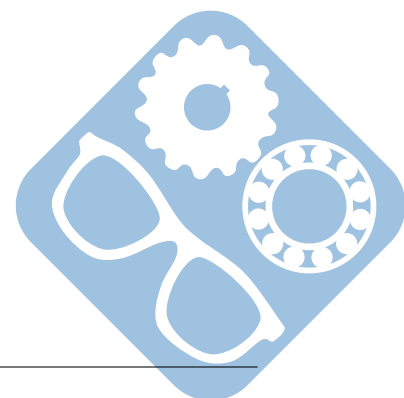


Figure 10 – Diagramme des exigences 1



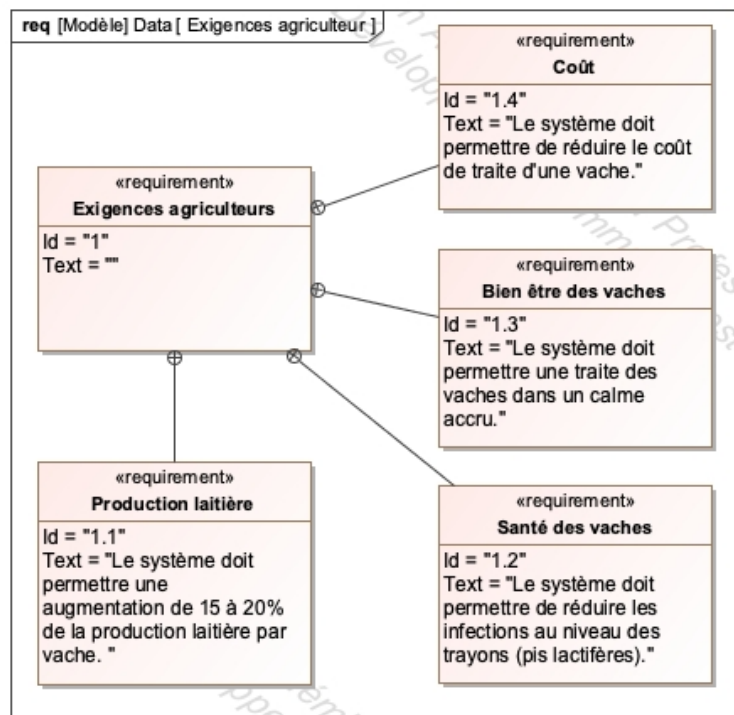
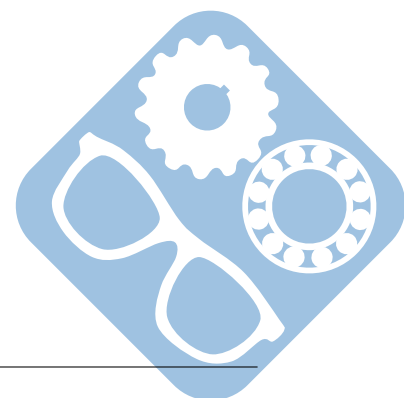


Figure 11 – Diagramme des exigences 2



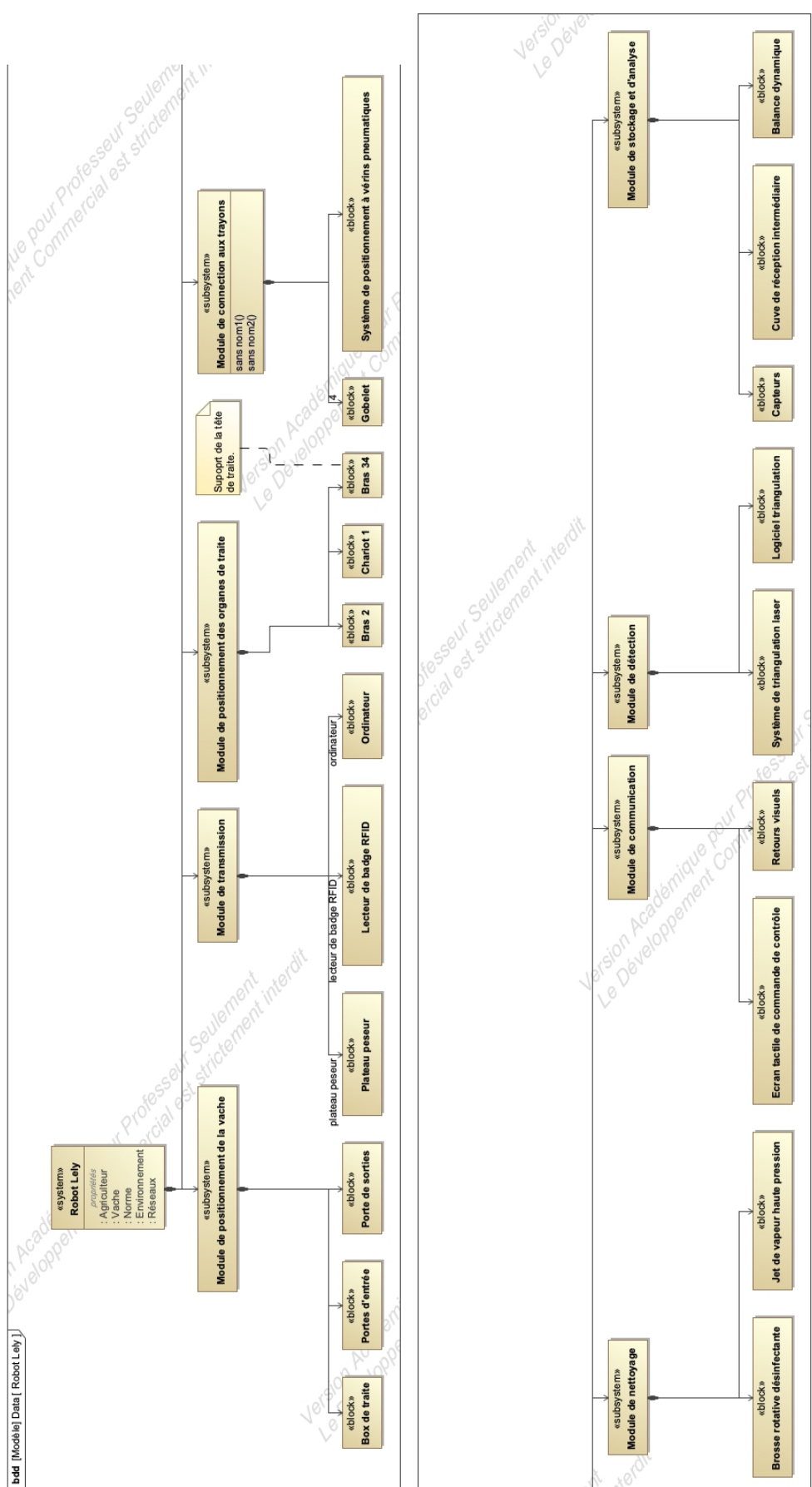
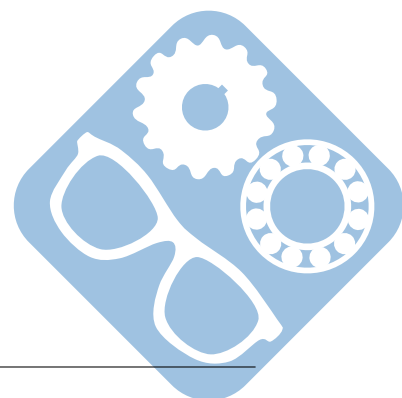


Figure 12 – Diagramme de blocs



Question 1 :

La durée d'un cycle est $d_{cycle} = 20 \cdot d_t + 3 \cdot d_{ns} + 1 \cdot d_{nc} = 20 \cdot 6 + 3 \cdot 4 + 1 \cdot 10 = 120 + 12 + 20 = 142 \text{minutes} = 2 \text{heure} 22 \text{min.}$

Question 2 :

Sur une durée quotidienne de 20h, il est possible de faire $n = \frac{20 \cdot 60}{142} = \frac{1200}{142} = 8 \text{cycles.}$

Question 3 :

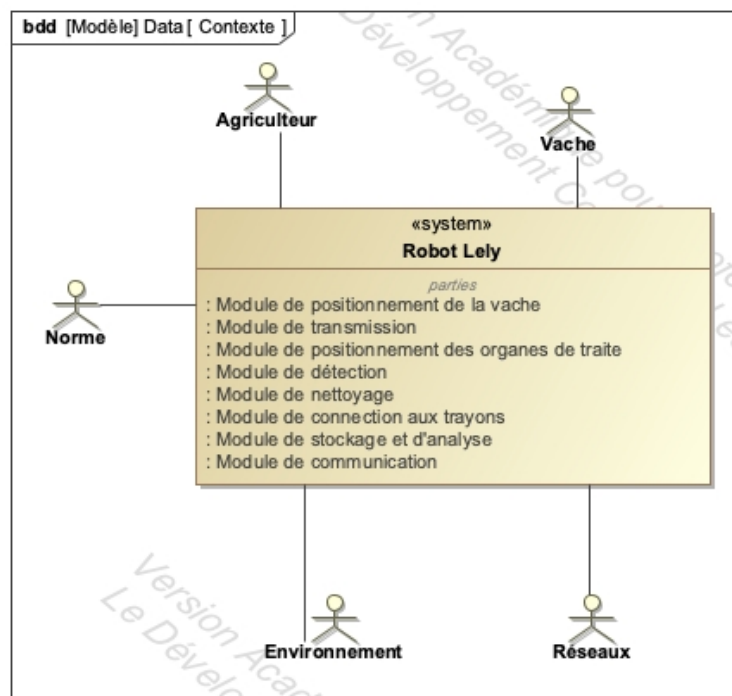
Il reste alors $t_d = 1200 - 8 \cdot 142 = 1200 - 800 - 320 - 16 = 64 \text{min.}$

Question 4 :

En 64min, il est possible de faire encore 10 traites. Donc, le total peut être porté à $n_t = 8 \cdot 20 + 10 = 170 \text{traites.}$

Question 5 :

A raison d'une moyenne de 2,5 traites par vache cela donne pour 1 robot 68 vaches.

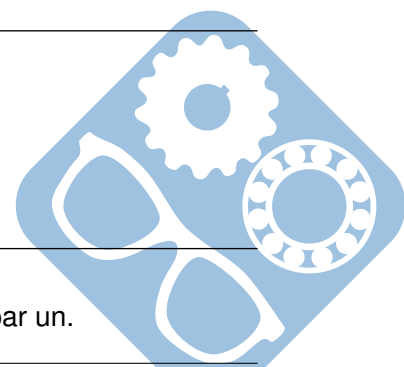
Question 6 :**Question 7 :**

Exigences :

- Traire les vaches,
- Alimenter les vaches.

Question 8 :

Le système de triangulation laser permet de positionner les gobelets trayeurs un par un.



Question 9 :

Lorsque la vache est dans le box, elle est installée sur un tapis de pesée équipé de capteurs de pesage.

Question 10 :

Toutes les vaches laitières du troupeau sont équipées d'un collier d'identification à infrarouge qu'elles portent autour du cou.

Question 11 :

$$m_{\text{tapis}} = m_{\text{revêtement}} + m_{\text{structure}} + m_{\text{grille}} = (2,5 \cdot 1 - 0,7 \cdot 0,5) \cdot 0,01 \cdot 900 + (2,5 \cdot 1) \cdot 15 = 22,5 + 37,5 + 5,25 = 56,85.$$

La masse d'une vache étant de 700kg, le tapis représente 8% de la masse ce qui ne le rend pas négligeable.

Question 12 :

$$\begin{aligned} U_m(p) &= r \cdot I_m(p) + L \cdot p \cdot I_m(p) + E(p) \\ E(p) &= K_e \cdot \Omega_m(p) \\ Cm(p) &= K_i \cdot I_m(p) \\ J \cdot p \cdot \Omega_m(p) &= Cm(p) - \mu \cdot \Omega_m(p) \end{aligned}$$

Question 13 :

$$\begin{aligned} U_m(p) &= (r + L \cdot p) \cdot \frac{Cm(p)}{K_i} + K_e \cdot \Omega_m(p) \\ U_m(p) &= (r + L \cdot p) \cdot \frac{(J \cdot p + \mu) \cdot \Omega_m(p)}{K_i} + K_e \cdot \Omega_m(p) \\ \text{Donc } H(p) &= \frac{\Omega_m(p)}{U_m(p)} = \frac{K_i}{(r + L \cdot p) \cdot (J \cdot p + \mu) + K_e \cdot K_i} \end{aligned}$$

Question 14 :

Sous la forme canonique, on obtient :

$$H(p) = \frac{\frac{K_i}{r \cdot \mu + K_e \cdot K_i}}{1 + \frac{r \cdot J + L \cdot \mu}{r \cdot \mu + K_e \cdot K_i} \cdot p + \frac{L \cdot J}{r \cdot \mu + K_e \cdot K_i} \cdot p^2}$$

La fonction de transfert est d'ordre 2 et de classe 0.

Question 15 :

$$\begin{aligned} z &= \frac{r \cdot J + L \cdot \mu}{2 \cdot \sqrt{(r \cdot \mu + K_e \cdot K_i) \cdot L \cdot J}} \\ \omega_n &= \sqrt{\frac{r \cdot \mu + K_e \cdot K_i}{L \cdot J}} \\ G &= \frac{K_i}{r \cdot \mu + K_e \cdot K_i} \end{aligned}$$

Question 16 :

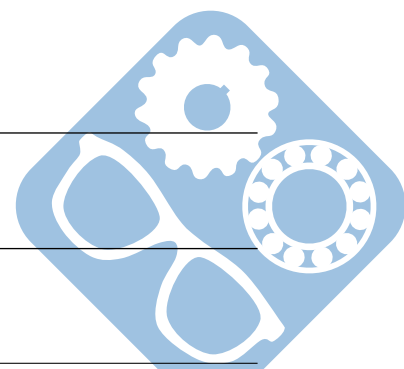
$$\begin{aligned} G &\text{ est en } V^{-1} \cdot \text{rad} \cdot s^{-1} = A \cdot N^{-1} \cdot m^{-1} = A \cdot \text{kg}^{-1} \cdot m^{-2} \cdot s^2 \\ G &= 1.52 V^{-1} \cdot \text{rad} \cdot s^{-1}. \end{aligned}$$

Question 17 :

$$w_n = 100.4 \text{rad} \cdot s^{-1} \text{ et } z = 4.7$$

Question 18 :

$z > 1$, cela signifie que les deux racines sont réelles.



Correction

$$\begin{aligned} \tau_1 \cdot \tau_2 &= \frac{1}{w_n^2} \tau_1 + \tau_2 = \frac{2z}{w_n} \\ \tau_1^2 + \tau_1 \cdot \tau_2 - \frac{2z}{w_n} \cdot \tau_1 &= 0 \\ \tau_1^2 + \frac{1}{w_n^2} - \frac{2z}{w_n} \cdot \tau_1 &= 0 \\ \tau_1^2 + 10^{-4} - 0,1 \cdot \tau_1 &= 0 \\ \Delta &= 10^{-2} - 4 * 10^{-4} = 10^{-2} \cdot (1 - 4 * 10^{-2}) \\ \tau &= \frac{0,1 \pm 0,1 \sqrt{1 - 4 * 10^{-2}}}{2} = \frac{0,1 \cdot (1 \pm 0,98)}{2} \\ \tau_1 &= 0,1s \text{ et } \tau_2 = 1ms. \end{aligned}$$

Question 19 :

$\tau_1 > \tau_2$, cela signifie qu'une des deux racines est négligeable devant l'autre.

On peut alors écrire la fonction de transfert : $H(p) = \frac{1}{1+0.005p}$

Question 20 :

$$\omega_m(t) = u_0 \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) = 25 \cdot (1 - e^{-\frac{t}{0.005}})$$

Question 21 :

Il s'agit de la courbe 8b, elle correspond bien à un premier ordre dont la constante de temps est $\tau = 0.005s$, l'autre a un temps de réponse $\tau = 0.015s$.

Question 22 :

$$K \cdot u_0 = 144 \text{ avec } u_0 = 12, \text{ donc } K = 12$$

Question 23 :

On sait que $(1 + 5\%) \cdot 144 = 144 + 7.2 = 151.2$, ce qui ressemble au dépassement de la courbe, on en déduit que $\xi = 0.69$.

Question 24 :

On sait que $t_{R5\%} \cdot \omega_0 = 0.3$, or $t_{R5\%} = 0.015s$ (graphiquement), donc $\omega_0 = \frac{3}{0.015} = 200 \text{ rad} \cdot s^{-1}$

