

PTSI

Samedi 22 avril

Table des matières

- 1 Découverte du système (20 min)
- 2 Analyse du système (20 min)
- 3 Étude de l'exigence « Guider et Entrainer les treillis »(1h20min)
- 4 Étude de l'exigence : « Entrainer les treillis »(1h)
- 5 Pilotage du moteur à courant continu (1h)
- 6 Annexes
- 7 Document réponse

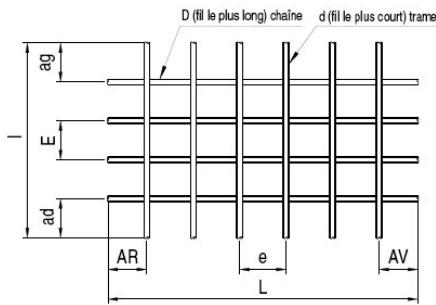
2
5
5
6
8
9
13

Système de soudage des treillis

1 Découverte du système (20 min)

1.1 Mise en situation

Les treillis soudés sont utilisés en maçonnerie pour la réalisation d'ouvrages en béton armé.



- Largeur (l) : 1200 mm,
- Longueur (L) : 6000 mm,
- Diamètre du fil longitudinal (chaine) (D) : 7 mm,
- Diamètre du fil transversal (trame) (d) : 7 mm,
- Pas transversal (E) : 150 mm,
- Pas longitudinal (e) : 300 mm,
- Départs longitudinaux (AR), (AV) : 150 mm,
- Départs transversaux (ag), (ad) : 75 mm.

Figure 1 – Treillis

Ces treillis sont fabriqués, à l'aide d'une soudeuse automatique, à partir de sections de « fils » métalliques : chaînes et trames (voir figure 1). Après positionnement, une trame (diamètre d) est soudée simultanément en chaque point de contact avec les chaînes (diamètre D). L'opération se répète sur la longueur, à chaque avance des chaînes du pas e. En sortie de soudeuse, les extrémités des trames, composant le treillis, coulissent le long de 2 cornières.

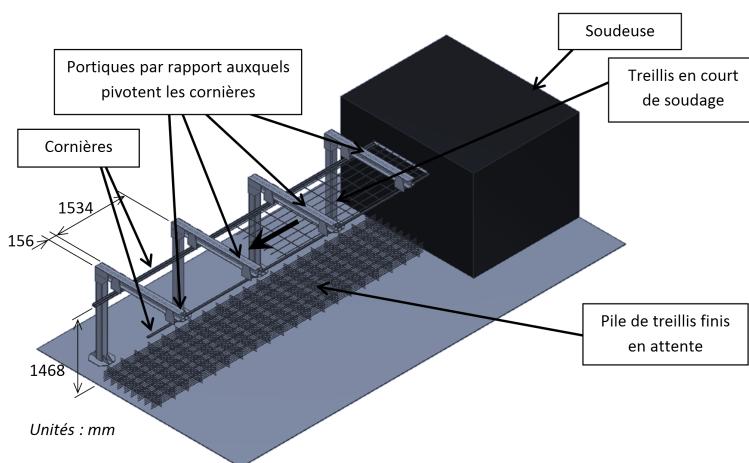


Figure 2 – Poste de soudage

Une fois finis et après le pivotement des deux cornières (les cornières sont actionnées à l'aide d'un moto-réducteur par l'intermédiaire d'un mécanisme de renvoi qui n'est pas défini ici), les treillis tombent les uns sur les autres d'une hauteur maximale de 1,4 m. Lorsque 60 treillis sont empilés, la soudeuse s'arrête, un opérateur cercle la pile de treillis et l'évacue à l'aide d'un chariot élévateur. Les opérations de cerclage et d'évacuation stoppent la production de treillis pendant 15 minutes.

Un système automatique permettant la manutention des treillis en sortie de soudeuse a été préconçu pour limiter les nuisances sonores dues à la chute des treillis et pour optimiser la production.

1.2 Diagramme de contexte (incomplet)

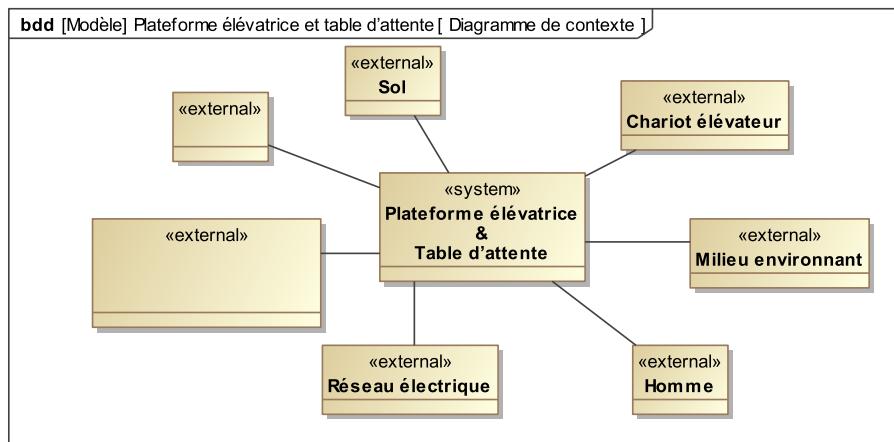


Figure 3 – Diagramme de contexte (incomplet)

1.3 Diagramme d'exigences

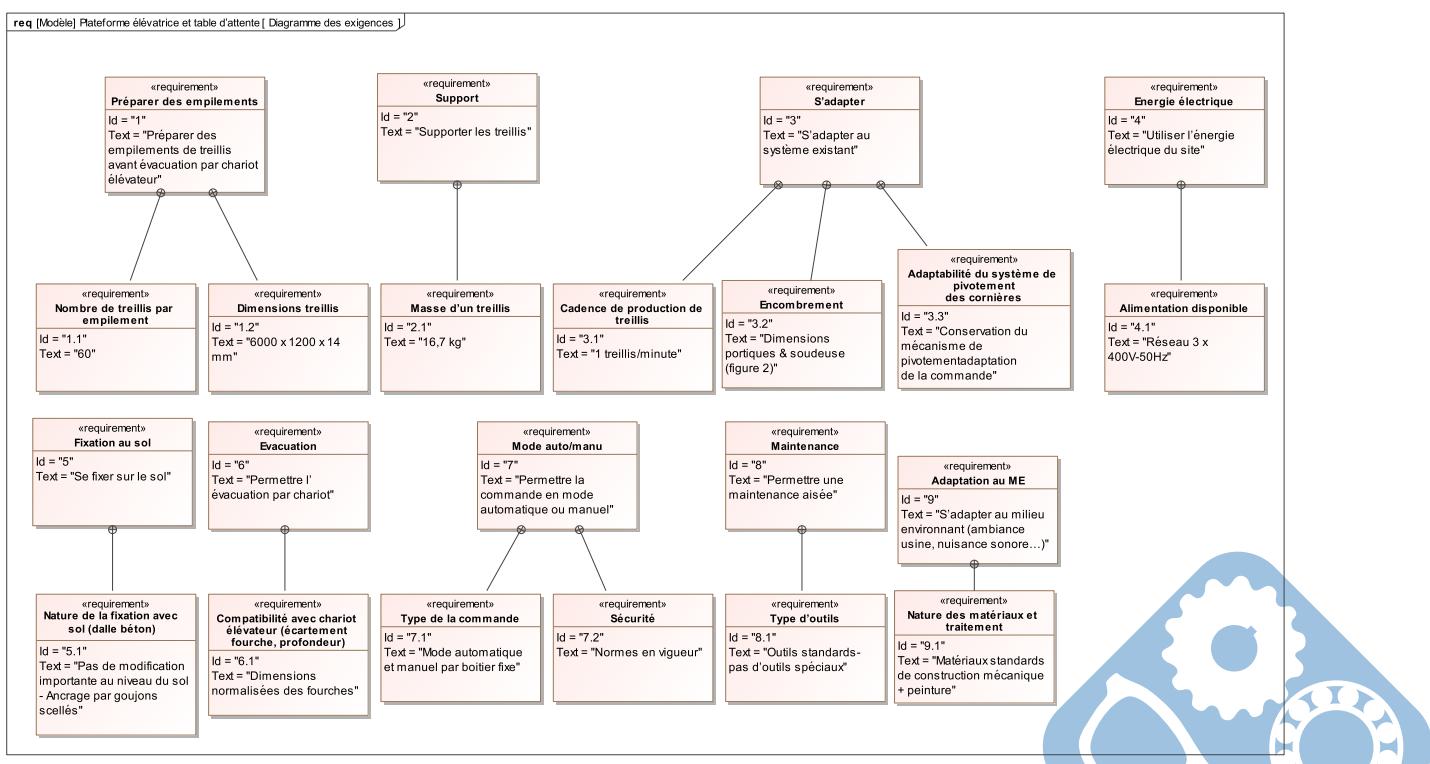


Figure 4 – Diagramme des exigences

1.4 Présentation du système préconçu

Le concepteur s'est orienté vers un système composé d'une table élévatrice et d'une table d'attente, et a conservé les portiques et les cornières.

La table élévatrice va permettre de réceptionner les treillis finis en limitant leur chute et d'évacuer la pile de 60 treillis sur la table d'attente. L'opérateur pourra ensuite cercler la pile de treillis sans arrêter la production de treillis.

La table élévatrice permet le déplacement suivant 2 axes :

- un axe vertical motorisé par l'association d'un moteur à courant continu et de 3 vérins à vis ;
- un axe horizontal composé de 2 pousseurs entraînés par 2 dispositifs pignons chaîne et motorisé par un moto-réducteur asynchrone.

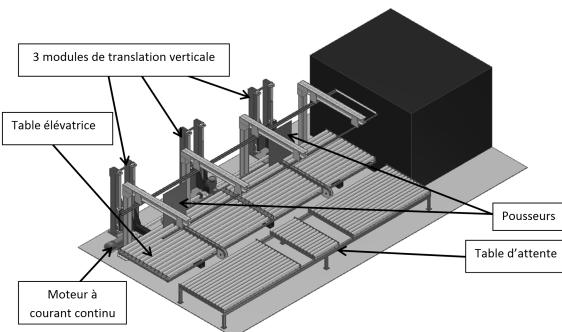


Figure 5 – Poste de soudage

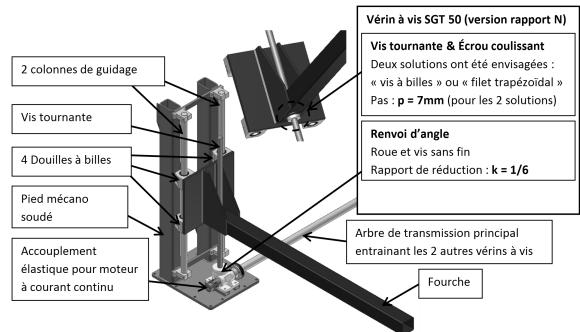


Figure 6 – Module de translation verticale

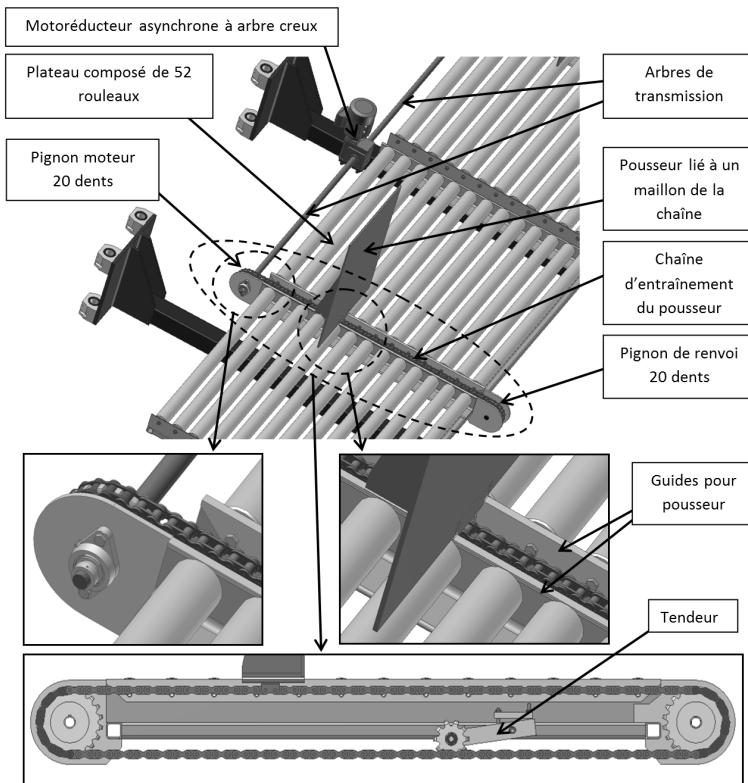


Figure 7 – Pousseurs

1.5 Problématique

L'objectif général de l'étude consiste à valider certaines solutions constructives et à définir des éléments de commande.

Le concepteur a opté pour une solution électromécanique qui doit s'intégrer au système existant. Des choix ont été faits en termes d'architecture de mécanisme qu'il convient de vérifier.

Le moteur à courant continu, qui agit sur le déplacement vertical de la table élévatrice, sera sollicité avec des régimes très variés (montée à vide, descente en charge variable, montée en charge,...). Il faut vérifier la capacité du moteur pré-sélectionné et définir sa commande.

2 Analyse du système (20 min)

Question 1 : Compléter le diagramme de contexte du document réponse.

Le système fonctionne 11h/24h, 5 jours/7, 44 semaines par an. Il est parfois arrêté à cause de pannes mais on considère qu'il n'est arrêté que 5% du temps de fonctionnement.

Question 2 : Déterminer combien de treillis sont fabriqués par an.

3 Étude de l'exigence « Guider et Entrainer les treillis »(1h20min)

3.1 Étude de l'exigence « Guider les treillis »

L'objectif de cette partie est de valider l'architecture proposée au niveau du guidage en translation de la table élévatrice par rapport au bâti et de spécifier les contraintes liées à cette solution.

Question 3 : Évaluer le degré d'hyperstatisme du mécanisme dans la boucle A d'après le schéma cinématique minimal de la figure 10.

Question 4 : Quelle(s) préconisation(s) peuvent être proposée(s) au montage pour contourner cet hyperstatisme.

Question 5 : La liaison glissière est réalisée par 4 douilles à billes et 2 colonnes de guidage. Évaluer le degré d'hyperstatisme propre à la réalisation de cette liaison glissière d'après le schéma architectural de la figure 12.

On souhaite vérifier le bon dimensionnement du vérin à vis SGT50 pour cette application. Lorsque l'écrou est en position haute, il a parcouru un peu moins de 0,9 m. Le poids de la fourche sera négligé.

Question 6 : D'après le tableau de la figure 9, justifier que le pas de la vis est bien égal à 7mm.

L'objectif de cette partie est de vérifier la capacité de charge des douilles à billes. Les douilles seront le plus sollicitées quand le chargement sera maximal (pile de treillis complète). Les accélérations de la table étant faibles lors des déplacements, on pourra, dans ce cas, négliger les composantes dynamiques et se ramener à un problème statique. Le raisonnement portera **sur un module de translation verticale**.

Le problème étant hyperstatique, il sera traité en 2 temps :

- dans un premier temps, à l'aide du schéma cinématique minimal figure 10, déterminer complètement l'action mécanique exercée par le bâti (0) sur la fourche(1),
- dans un second temps, à l'aide des documents constructeurs figure 13, déterminer les charges radiales supportées par chaque douille à billes.

Hypothèses et données :

- la liaison glissière est supposée parfaite,
- on suppose que chaque fourche d'un module de translation verticale reprend la même charge, l'action mécanique exercée par la pesanteur sur la fourche (1) avec son chargement est donc représentée par un glisseur d'axe (C, \vec{Y}) de module 5000 N (figure 10),
- l'action mécanique exercée par la vis (2) sur la fourche (1) est supposée pouvoir s'exprimer,

$$\text{d'après les dispositions constructives, par le torseur suivant : } \{T_{2 \rightarrow 1}\} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ Y_{B2 \rightarrow 1} & M_{B2 \rightarrow 1} \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{B,(\vec{X},\vec{Y},\vec{Z})}$$

Les documents constructeurs permettent de connaître les caractéristiques suivantes :

- $M_{B2 \rightarrow 1} = 0,0035.Y_{B2 \rightarrow 1}$, pour une « vis trapézoïdale »,
- $M_{B2 \rightarrow 1} = 0,0012.Y_{B2 \rightarrow 1}$, pour une « vis à billes », avec $M_{2 \rightarrow 1}$ en N.m et $Y_{2 \rightarrow 1}$ en N.
- capacité de charge statique d'une douille : $C_0 = 8,28kN$.

Question 7 : Effectuer le bilan des actions mécaniques extérieures exercées sur la fourche (1) avec son chargement. Les actions seront représentées par des torseurs sous la forme suivante :

$$\{T_{i \rightarrow j}\} = \begin{Bmatrix} X_{Oi \rightarrow j} & L_{Oi \rightarrow j} \\ Y_{Oi \rightarrow j} & M_{Oi \rightarrow j} \\ Z_{Oi \rightarrow j} & N_{Oi \rightarrow j} \end{Bmatrix}_{O,(\vec{X},\vec{Y},\vec{Z})}$$

Question 8 : Appliquer le principe fondamental de la statique à la fourche (1) avec son chargement, et en déduire les équations scalaires utiles à la résolution.

Question 9 : Déterminer les composantes du torseur représentant l'action mécanique exercée par le bâti (0) sur la fourche (1) dans les 2 configurations : « vis à billes » et « vis trapézoïdale ».

Question 10 : En exploitant la figure 13, déterminer les charges normales et transversales supportées par chaque douille dans le cas le plus défavorable et vérifier la capacité de charge des douilles en statique.

4 Étude de l'exigence : « Entrainer les treillis »(1h)

L'objectif de cette partie est d'étudier le dimensionnement du moteur d'entraînement du treillis en terme de couple.

Attention, dans cette partie, le raisonnement portera sur l'ensemble de la table élévatrice.

Hypothèses et données :

- les liaisons des différents éléments avec le bâti (0) sont supposées parfaites,
- la masse M de l'ensemble mobile verticalement noté {A}={fourches, plateau avec son chargement,...} varie de 500 kg (sans treillis) à 1500 kg (avec les 60 treillis),
- on prendra $g = 10m/s^2$ pour l'accélération de la pesanteur,



- on donne le torseur des actions mécaniques exercées par la pesanteur sur l'ensemble mobile {A} :

$$\{T_{pes \rightarrow \{A\}}\} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ -M.g & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{G,(\vec{X},\vec{Y},\vec{Z})}, G \text{ est le centre de gravité de l'ensemble mobile } \{A\},$$

- on donne le torseur cinématique de l'ensemble mobile {A} dans son mouvement : $\{V_{\{A\}/R_0}\} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & V \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{P,(\vec{X},\vec{Y},\vec{Z})}$, P est un point quelconque de l'ensemble mobile {A},

- caractéristiques des vérins à vis :

- Pas (p) : 7mm,
- Rapport de réduction (k) : $\frac{1}{6}$,
- Rendement $\eta_r = 0,5$ (dispositif avec vis à billes).

- le moteur fournit un couple Cm_m pour la montée et un couple Cm_d pour la descente,
- l'étude s'effectuera dans le pire des cas,
- la vitesse angulaire du moteur sera notée ω_m et l'accélération angulaire sera notée $\dot{\omega}_m$,
- l'inertie équivalente ramenée sur l'arbre moteur est $J_{eq} = 5.42 * 10^{-2} kg.m^2$.

On donne le théorème du moment du principe fondamental de la dynamique appliqué sur l'arbre moteur : $J_{eq} \cdot \frac{d\omega_m(t)}{dt} = C_m(t) - C_p(t)$, avec $C_p(t)$ couple lié au poids ramené à l'arbre moteur, déterminé par l'équation $C_p(t) = \frac{\eta.M.g.p.k}{2.\pi}$.

Le profil de vitesse souhaité est présenté à la figure 8, il permet en théorie un déplacement de 0,9m.

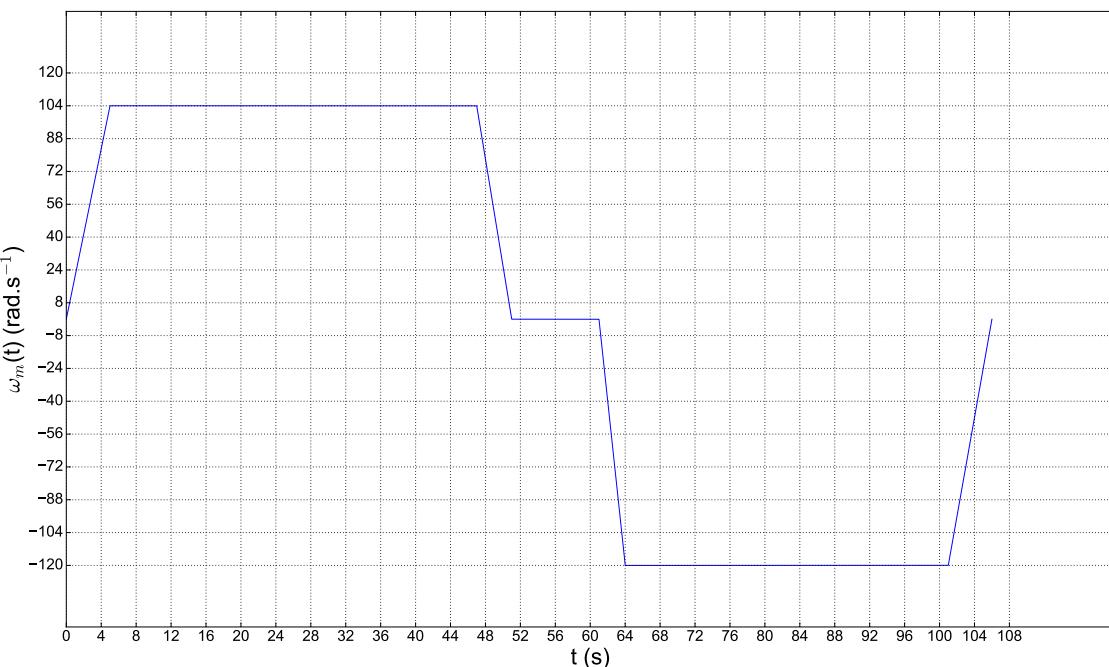
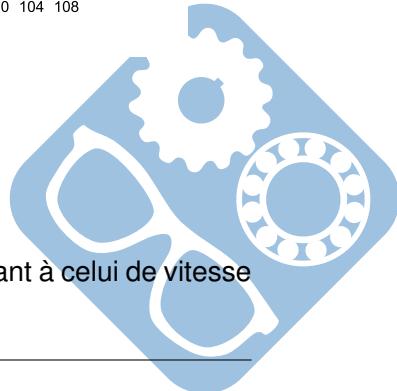


Figure 8 – Profil de vitesse

Question 11 : Tracer sur le document réponse le profil d'accélération correspondant à celui de vitesse de la figure 8.



Question 12 : En utilisant le théorème du moment du principe fondamental de la dynamique, tracer sur le document réponse l'allure du couple moteur $C_m(t)$. Justifier la réponse.

Les caractéristiques nominales du moteur à courant continu choisi sont répertoriées dans le tableau 1.

| P (kW) | N (tr.min ⁻¹) | C (N.m) | U (V) | I (A) | R (Ω) | Ke (V.rad ⁻¹ .s) |
|--------|---------------------------|---------|-------|-------|----------------|-----------------------------|
| 0,73 | 1080 | 6,46 | 230 | 4 | 5,22 | 1,6 |

Table 1 – Caractéristiques du moteur électrique

Question 13 : Justifier que le moteur choisi correspond aux performances attendues.

Question 14 : Tracer sur le document réponse le profil du déplacement de la table $d_t(t)$. La position initiale sera nulle $d_t(0) = 0$.

Question 15 : Justifier que le déplacement correspond à celui du cahier des charges.

5 Pilotage du moteur à courant continu (1h)

L'objectif de cette partie est de déterminer le profil de tension à soumettre au moteur électrique afin de générer le mouvement souhaité.

Question 16 : Déterminer les équations électriques du moteur liant, $u_m(t)$, $i(t)$, $e(t)$, $C_m(t)$ et $\omega_m(t)$ en fonction de R , L , K_e et K_c .

Question 17 : En déduire $u(t)$ en fonction de $C_m(t)$ et $\omega_m(t)$ et des caractéristiques électriques du moteur.

Pour la suite, on va considérer la valeur de l'inductance L comme négligeable.

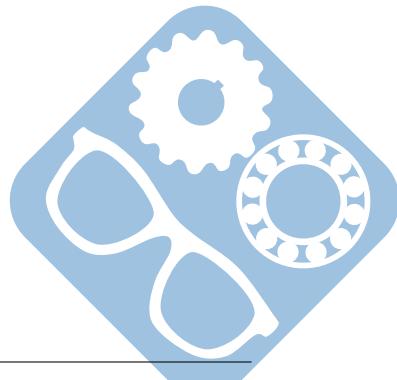
Question 18 : Donner la nouvelle équation de $u(t)$.

Question 19 : Tracer $u(t)$ sur le document réponse.

Question 20 : Cette valeur est-elle compatible avec les caractéristiques nominales du moteur ?

Question 21 : Les questions 18 et 19 auraient-elles été possibles sans l'hypothèse de l'inductance nulle $L = 0$?

Question 22 : Critiquer alors le modèle du profil donné sur la figure 8.



6 Annexes



| Type | F _{max} [kN] | Rapport N (Normal) | | | Puissance d'entraînement (54-20%) | Couple maxi. transmissible par la vis ² | Couple maxi. au niveau de l'arbre d'entraînement ³) | Taille de la vis | Rendement de la vis | Quantité de lubrifiant | Masse avec course=0 m [kg] | Masse de la vis/mètre m [kg/m] |
|----------|--------------------------|--------------------|-----------------------------|------------------------|--------------------------------------|---|--|------------------|---------------------|------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| | | Rapport N | Course par tour [mm/tr.] | Rendement total [-] | | | | | | | | |
| SGT 5 | 5 | 10 | 0,6 | 0,21 | 0,18 | 9 | 12 | 20x6 | 0,51 | 0,1 | 1,5 | 1,76 |
| SGT 20 | 20 | 6 | 1 | 0,26 | 0,51 | 43 | 29 | 26x6 | 0,44 | 0,2 | 8 | 3,22 |
| SGT 30 | 30 | 6 | 1 | 0,24 | 0,6 | 71 | 48 | 30x6 | 0,40 | 0,2 | 8 | 4,44 |
| SGT 50 | 50 | 6 | 1,17 | 0,23 | 1,1 | 151 | 95 | 40x7 | 0,37 | 0,3 | 18 | 8,13 |
| SGT 150 | 150 | 8 | 1,5 | 0,20 | 2,8 | 710 | 192 | 60x12 | 0,40 | 0,5 | 28 | 17,94 |
| SGT 200 | 200 | 8 | 1,5 | 0,20 | 3,9 | 999 | 283 | 65x12 | 0,38 | 0,7 | 40 | 21,40 |
| SGT 300 | 300 | 10,66 | 1,5 | 0,19 | 5 | 2050 | 478 | 90x16 | 0,37 | 1,0 | 75 | 41,13 |
| SGT 350 | 350 | 10,66 | 1,5 | 0,18 | 6,2 | 2572 | 732 | 100x16 | 0,35 | 1,8 | 91 | 51,78 |
| SGT 500 | 500 | 10,66 | 1,5 | 0,15 | 7,8 | 4191 | 862 | 120x16 | 0,30 | 2,0 | 180 | 76,76 |
| SGT 750 | 750 | 10,66 | 1,5 | 0,14 | 9,4 | 7060 | 1750 | 140x16 | 0,27 | 4,0 | 365 | 106,70 |
| SGT 1000 | 1000 | 12 | 1,67 | 0,13 | 12,7 | 10995 | 2780 | 160x20 | 0,29 | 4,0 | 545 | 138,00 |

¹La force max. de levage mentionnée, est uniquement à prendre en considération pour la présélection du vérin à vis. La force de levage réelle dépend directement de la version et des conditions d'utilisation du vérin à vis.

² Couple maxi. admissible, qu'il est possible de transmettre à la vis.

³ Important en cas de synchronisation mécanique de plusieurs vérins à vis ayant par exemple des vitesses identiques ou différentes.

Figure 9 – Vérins électriques

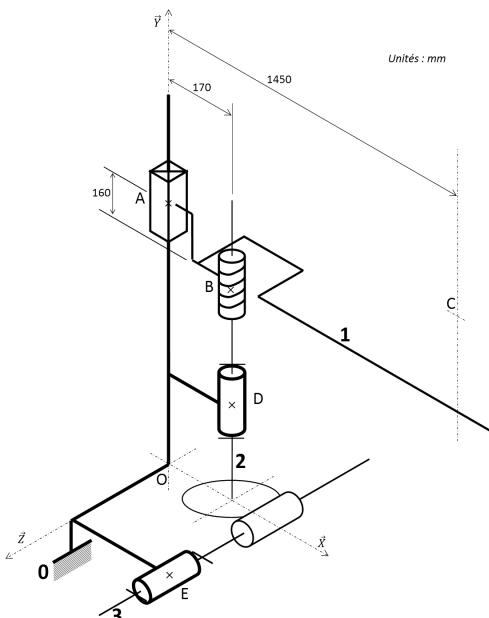


Figure 10 – Schéma cinématique

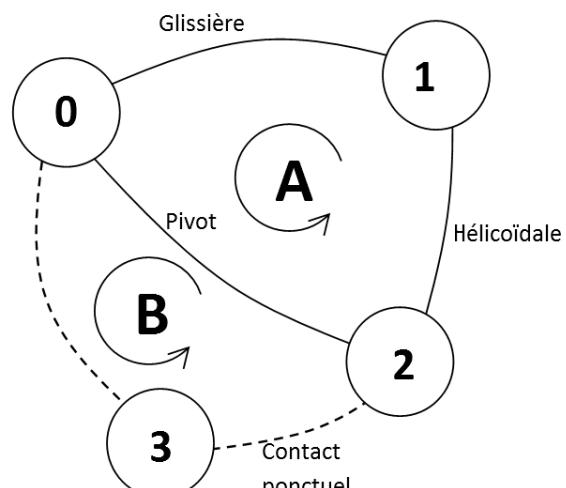


Figure 11 – Graphe des liaisons

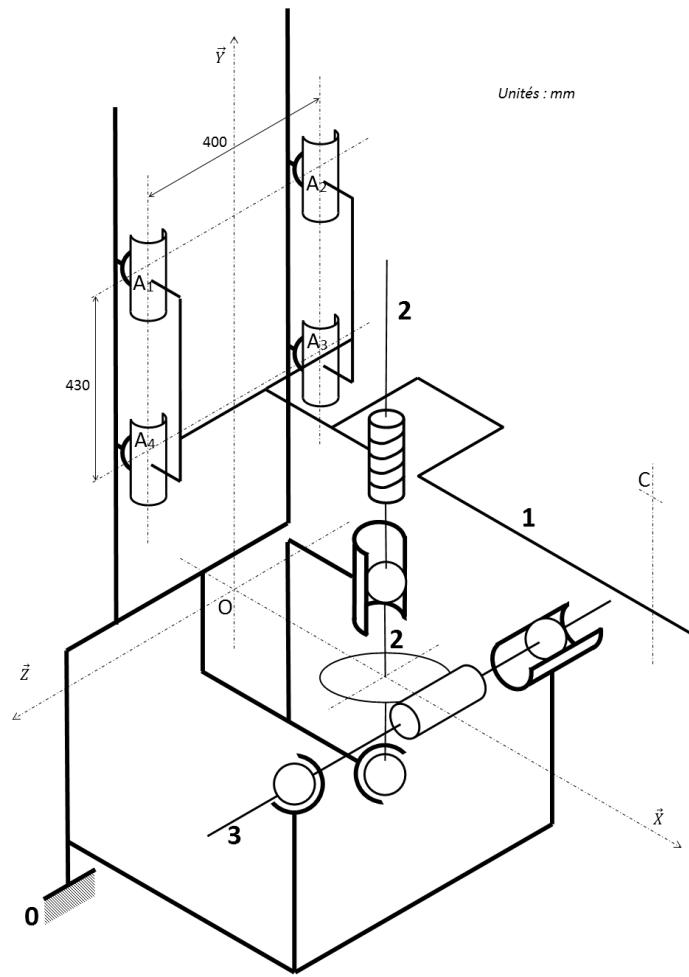


Figure 12 – Schéma architectural

Action transmissible dans la liaison glissière d'axe (O, \vec{Y}) réalisée par 4 douilles à billes :

$$\{T_{0 \rightarrow 1}\} = \begin{Bmatrix} X & L \\ 0 & M \\ Z & N \end{Bmatrix}_{O, (\vec{X}, \vec{Y}, \vec{Z})}$$

Chaque douille à billes est modélisable par une liaison sphère cylindre, soit

$$\{T_{0 \rightarrow 1}\}_1 = \begin{Bmatrix} O_{1X} & 0 \\ 0 & 0 \\ O_{1Z} & 0 \end{Bmatrix}_{O_1, (\vec{X}, \vec{Y}, \vec{Z})}, \{T_{0 \rightarrow 1}\}_2 = \begin{Bmatrix} O_{2X} & 0 \\ 0 & 0 \\ O_{2Z} & 0 \end{Bmatrix}_{O_2, (\vec{X}, \vec{Y}, \vec{Z})},$$

$$\{T_{0 \rightarrow 1}\}_3 = \begin{Bmatrix} O_{3X} & 0 \\ 0 & 0 \\ O_{3Z} & 0 \end{Bmatrix}_{O_3, (\vec{X}, \vec{Y}, \vec{Z})}, \{T_{0 \rightarrow 1}\}_4 = \begin{Bmatrix} O_{4X} & 0 \\ 0 & 0 \\ O_{4Z} & 0 \end{Bmatrix}_{O_4, (\vec{X}, \vec{Y}, \vec{Z})}$$

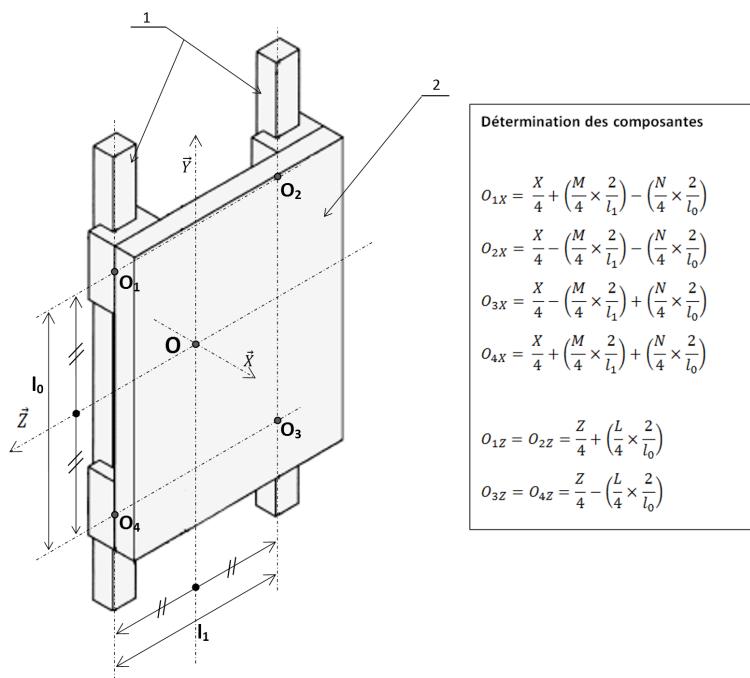
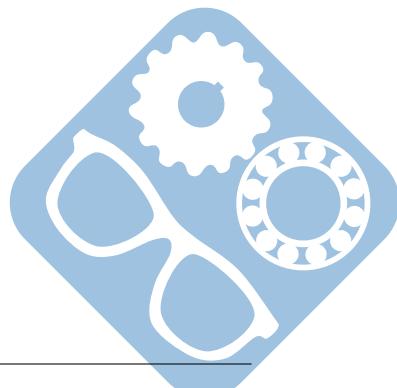
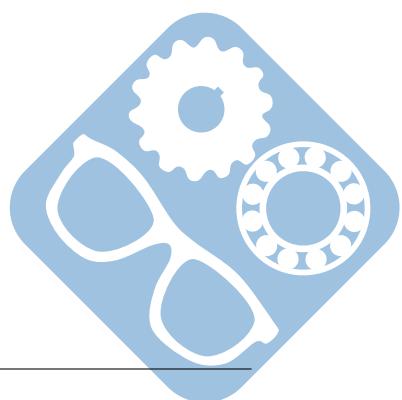


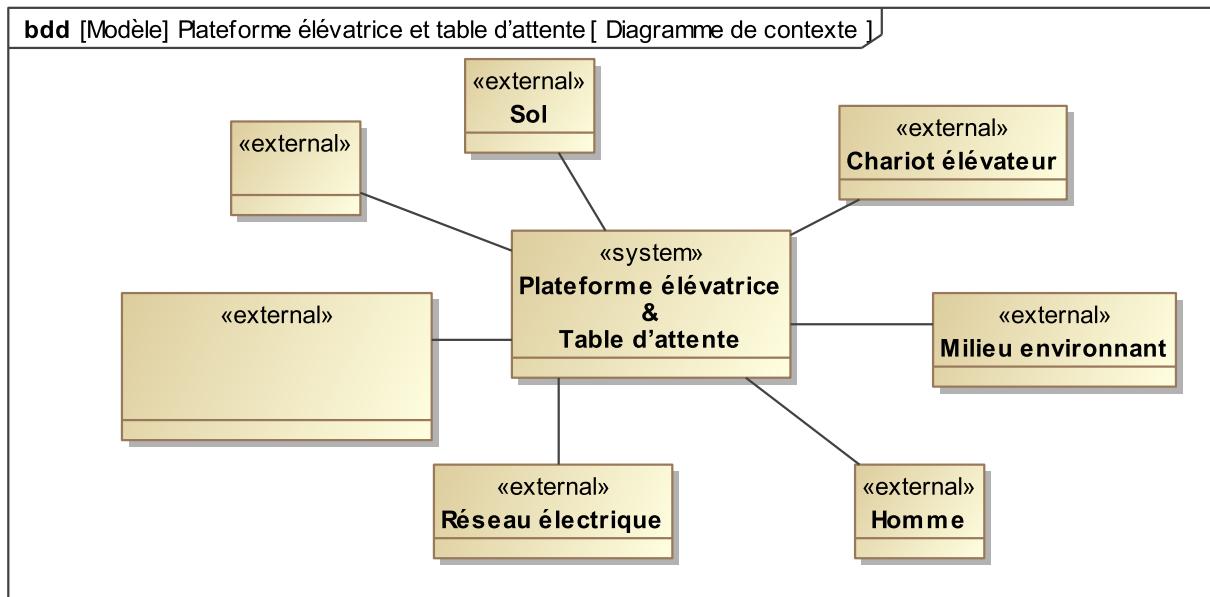
Figure 13 – Détermination des charges radiales dans les douilles à billes





7 Document réponse

Question 1:

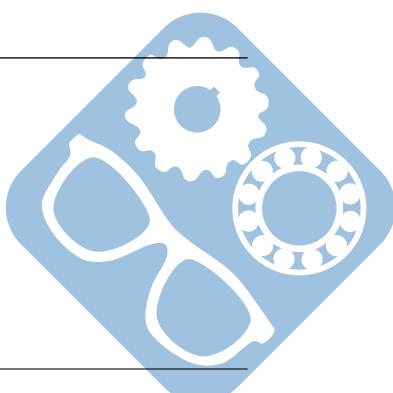


Question 2:

Question 3:

Question 4:

Question 5:



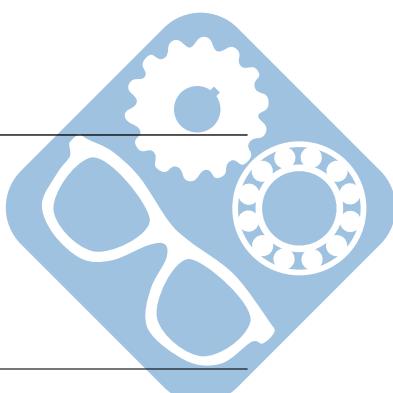
Nom : Prénom :

Question 6:

Question 7:

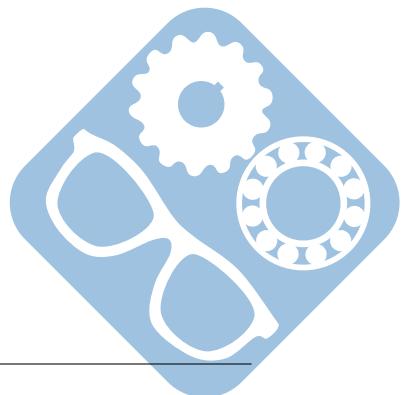
Question 8:

Question 9:

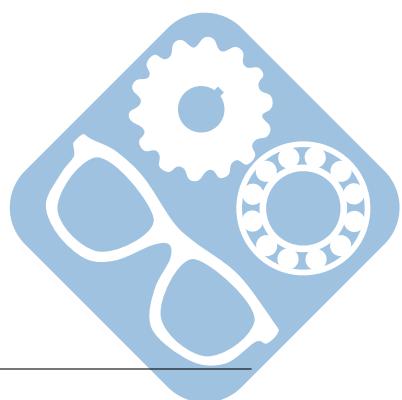


Nom : Prénom :

Question 10:

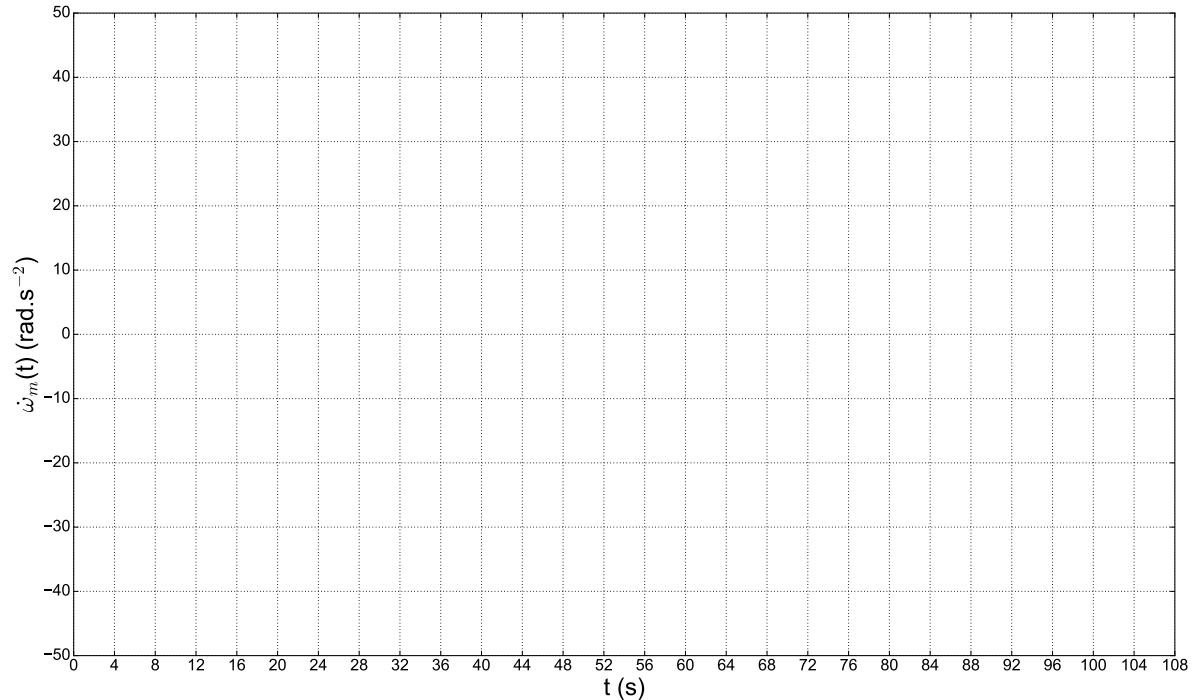


Nom : Prénom :

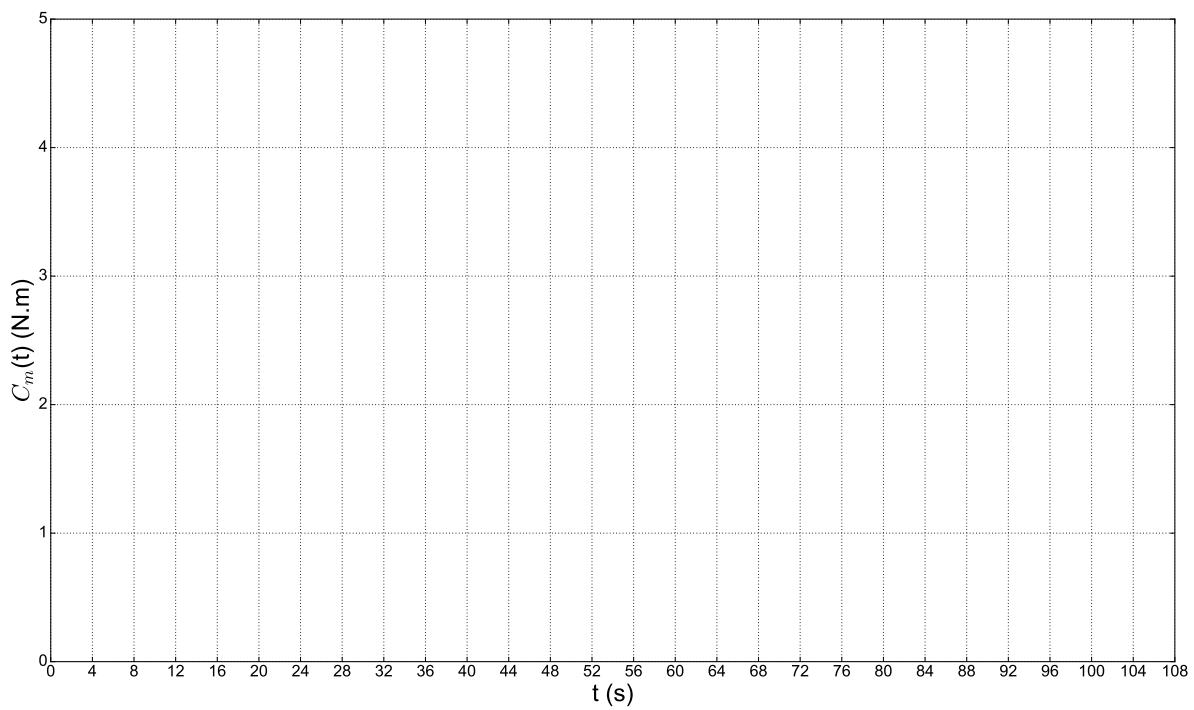


Nom : Prénom :

Question 11:



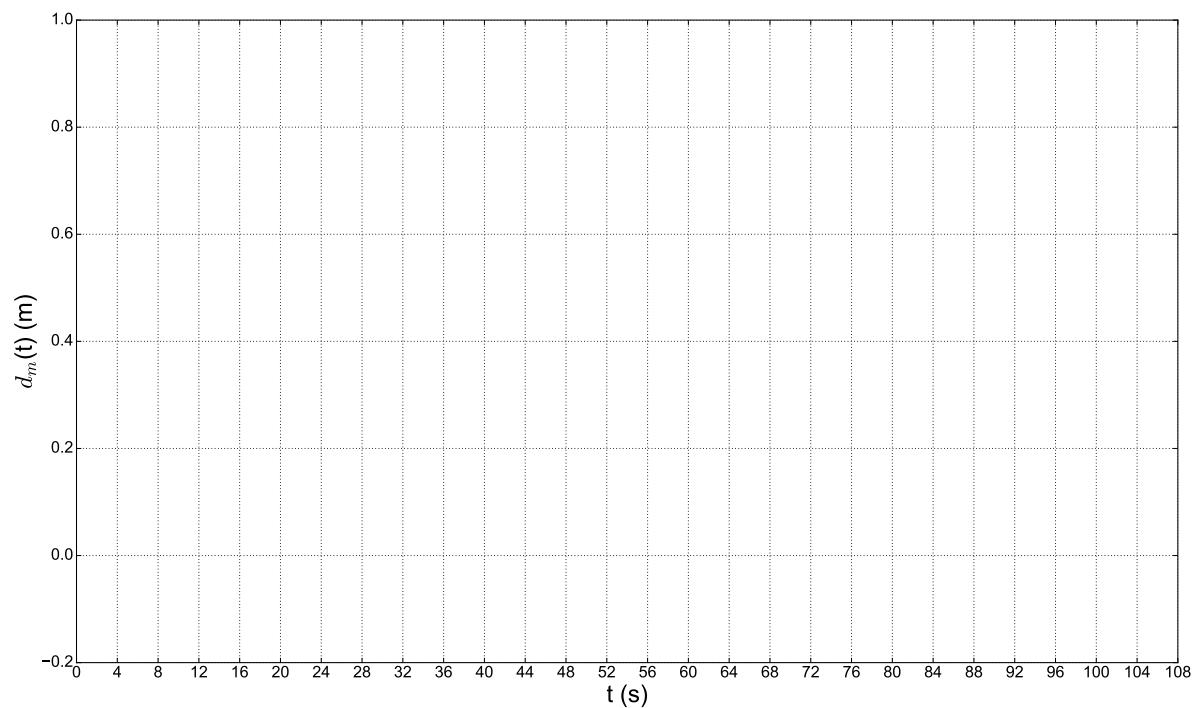
Question 12:



Question 13:

Nom : Prénom :

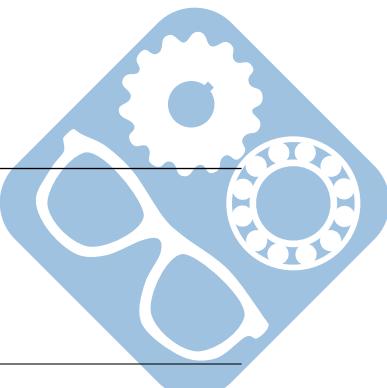
Question 14:



Question 15:

Question 16:

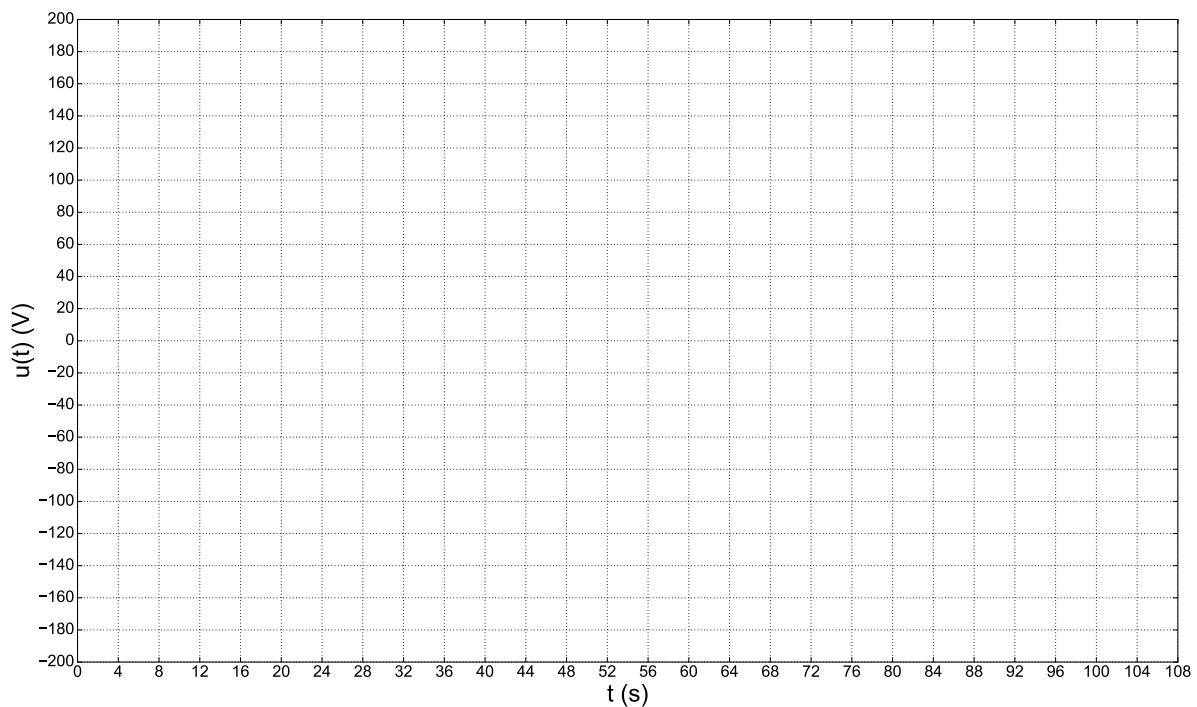
Question 17:



Nom : Prénom :

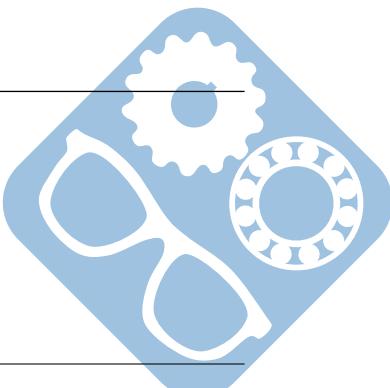
Question 18:

Question 19:



Question 20:

Question 21:



Nom : Prénom :

Question 22:

