

Partie 1 : Robot SPHERO



I Présentation du support

I. A - Description du robot Sphero

Une nouvelle génération de robots à mobilité non conventionnelle a vu le jour avec la conception de robots en forme de sphère. Ces robots commencent à être utilisés dans des environnements difficiles (centrale nucléaire, terrain irrégulier) pour des missions d'inspection et de surveillance. Ce type de robot est aussi présent dans l'industrie du divertissement sous la forme d'objets connectés contrôlables avec un smartphone (ou tablette). C'est le cas du robot Sphero créé par la société Orbotix et qui sert de support d'étude pour ce sujet.

Créé pour le loisir et l'éducation, le robot Sphero roule sur lui-même pour se déplacer. Une base robotique appelée module interne et dite différentielle (plateforme munie de deux roues motrices indépendantes, de même axe) est placée dans une sphère (le corps du robot) qui sert de liaison au sol et permet le déplacement (figure 1). Le Sphero est commandé par un smartphone avec lequel l'utilisateur guide le robot.



Figure 1 Constitution du Sphero

Même si les consignes de l'utilisateur correspondent au comportement attendu du Sphero (cap et vitesse du corps sphérique), c'est en réalité le module interne que l'utilisateur commande grâce à son smartphone. Le principe de déplacement du Sphero peut être comparé à celui d'une roue de hamster : quand l'animal court à l'intérieur, il déplace le centre de gravité du système, ce qui fait tourner la roue. Ainsi, les deux roues motrices du module interne créent le roulement du corps sphérique du Sphero.

I.B - Manipulation et déplacement du robot Sphero

Pour commander le robot l'utilisateur dispose d'une application sur son smartphone (ou sa tablette). Une fois la connexion bluetooth établie entre le Sphero et le smartphone, l'utilisateur peut mettre en mouvement le robot grâce à une interface tactile (figure 2). L'utilisateur place son doigt au centre du cadran (sur le curseur ayant le sigle Sphero) puis le déplace dans le cadran. La position du doigt sur le cadran fournit une consigne de cap (par rapport à la marche avant) et de vitesse au robot : plus le doigt est éloigné du centre du cadran plus le robot va vite.



Figure 2 Interface homme-machine (IHM) de commande du Sphero

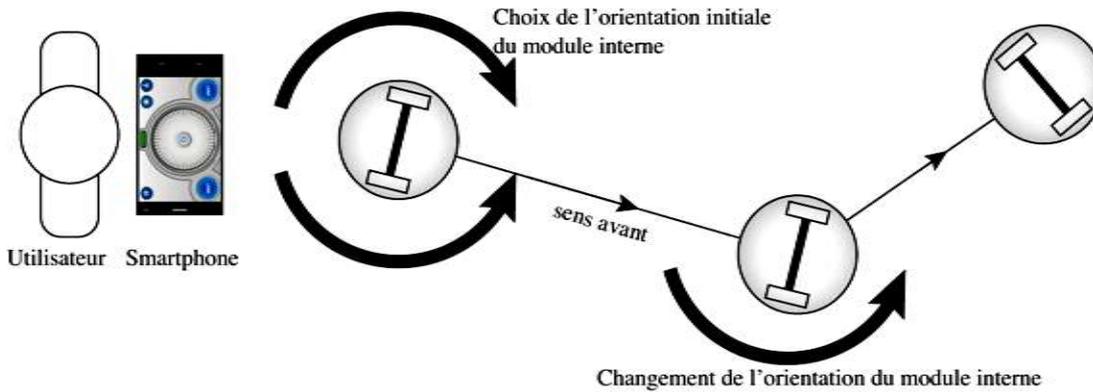


Figure 3 Déplacement du robot

Un exemple de déplacement du robot Sphero est décrit par la figure 3. Pour un cap donné le Sphero se déplace selon une trajectoire rectiligne. Lorsque le cap est changé par l'utilisateur, le module interne change son orientation autour d'un axe vertical de lacet et une nouvelle direction est ainsi imposée au Sphero. Ce dernier reprend un déplacement en ligne droite suivant le nouveau cap. Afin que l'utilisation du robot soit à la hauteur des attentes de l'utilisateur, le robot Sphero doit satisfaire les exigences définies figure 4 .

II Étude préliminaire et respect de l'exigence 2 de maniabilité

Cette partie préliminaire propose de mener une analyse comportementale du Sphero afin de mettre en évidence la problématique qui sera traitée dans ce sujet. Cette analyse permettra de définir l'objectif du sujet. Un essai est réalisé avec le Sphero en mode non asservi. Les capteurs du robot ne sont pas utilisés pour la commande de ce dernier (figure 5). La figure 5 montre la trajectoire suivie par le Sphero lors de l'essai. Le Sphero est en mode non asservi et connecté à un ordinateur (liaison sans fil). À l'écran de l'ordinateur est affiché un parcours délimité par deux lignes et l'utilisateur peut cliquer à l'écran pour imposer au Sphero une consigne de cap. Celle-ci correspond à la direction du vecteur ayant pour origine la position mesurée du Sphero au moment du clic et pour extrémité le point cliqué à l'écran. L'expérimentation est réalisée en intérieur et sans aucune perturbation pouvant altérer le fonctionnement du robot. La vitesse du robot est volontairement limitée à 50% de sa vitesse maximale afin de rendre la manipulation plus aisée pour l'utilisateur.

- Q 1.** En considérant le Sphero comme parfaitement asservi aux consignes de clic de l'utilisateur, quel serait le nombre minimal de consignes de changement de cap nécessaire pour faire évoluer le robot selon la trajectoire théorique ? Pour chacune de ces consignes de changement de cap quelle est la valeur du cap imposé (à l'instant initial le cap est de 0 deg) ?
- Q 2.** D'après l'expérimentation, l'exigence 2 de maniabilité est-elle respectée ? Justifier la réponse à partir du nombre d'actions de changement de cap réalisées par l'utilisateur lors de l'expérimentation.

Au vu de l'essai analysé précédemment il apparaît que sans commande spécifique le robot Sphero n'atteint pas toutes les exigences attendues. Le comportement précédemment observé impose à l'utilisateur de compenser sans cesse les défauts de trajectoire du Sphero, ce qui rend ce dernier difficilement maniable et donc inutilisable. La suite du sujet vise à résoudre ce problème.

Objectif

Évaluer les solutions techniques mises en jeu dans la conception du Sphero et déterminer une commande du Sphero permettant à ce robot d'atteindre les exigences de stabilité, de maniabilité et de respect des consignes de l'utilisateur.

Deux aspects de la commande du robot Sphero seront étudiés : la génération des consignes de cap et de vitesse envoyées au Sphero et le principe de commande de la chaîne d'énergie du Sphero.

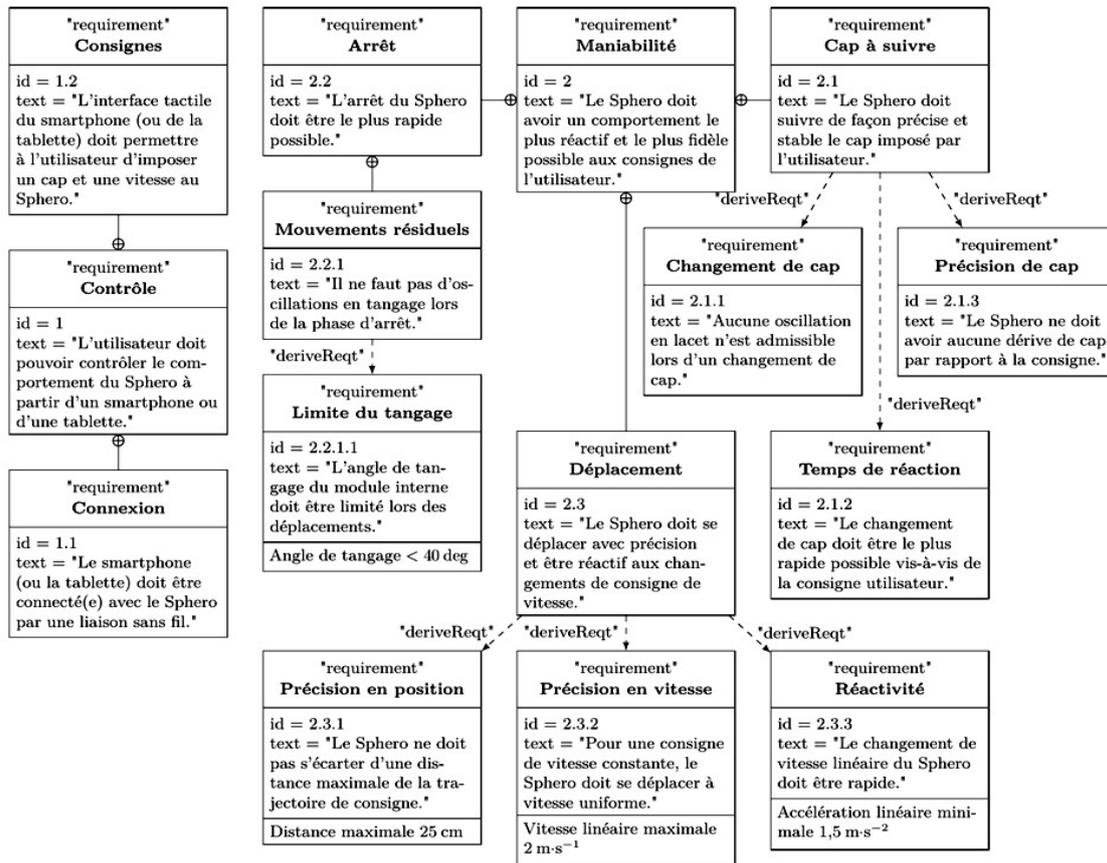


Figure 4 Diagramme des exigences du Sphero

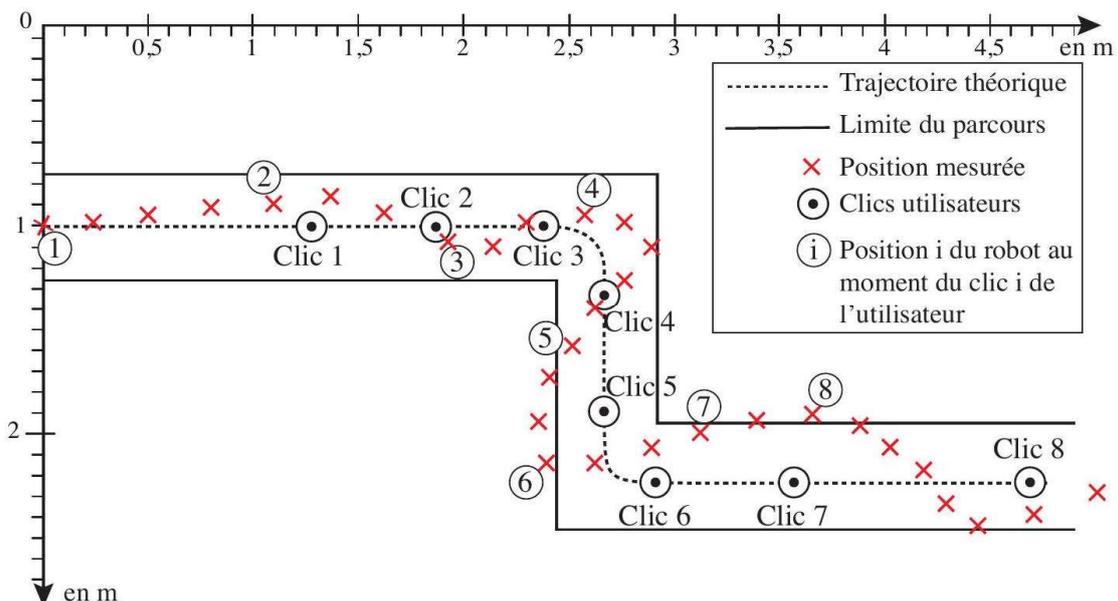


Figure 5 Trajectoire du Sphero

III Architecture détaillée du robot Sphero

La composition du robot est fournie par le diagramme de définition des blocs figure 5.

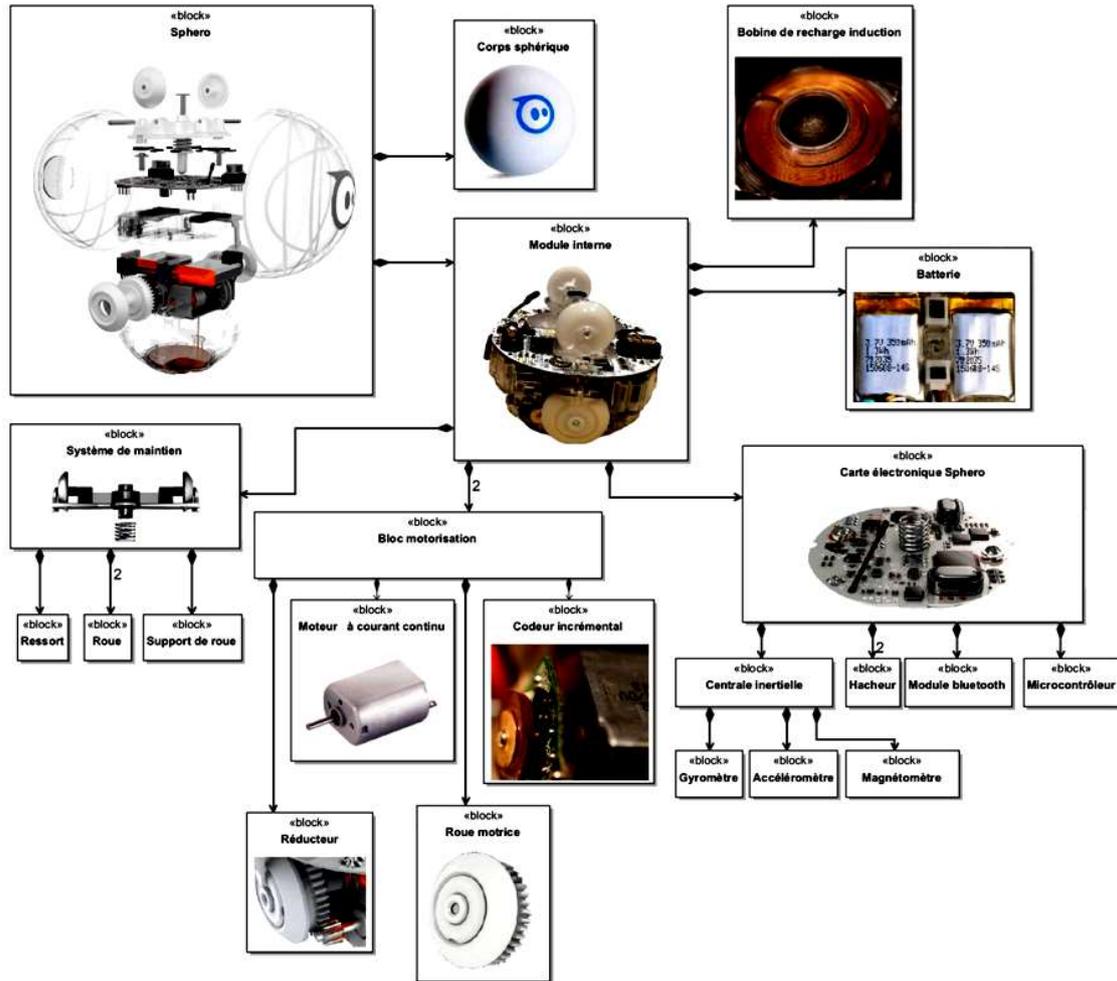


Figure 6 Diagramme de définition des blocs du Sphero

L'avance et l'orientation du robot sont créées par le module interne qui possède deux blocs de motorisation identiques et indépendants (comprenant chacun en particulier une roue motrice et un moteur). Le module interne est également équipé d'une centrale inertielle composée d'un magnétomètre (mesure du champ magnétique terrestre), d'un accéléromètre numérique (qui calcule les déplacements selon trois axes par double intégration des accélérations mesurées) ainsi que d'un gyromètre (mesure des vitesses de rotation en deg.s^{-1} autour de trois axes) permettant d'acquérir les informations décrites par la figure 7 .

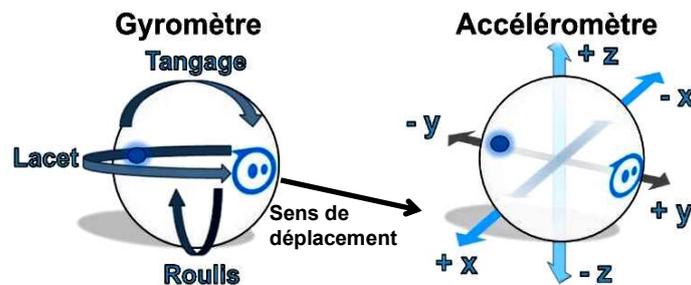


Figure 7 Illustration des informations acquises par la centrale inertielle

Q 3. Compléter sur la figure A du document réponse la description chaîne d'information/chaine de puissance du robot Sphero.

Partie 2 : Fauteuil dynamique de cinéma

Fauteuil dynamique de cinéma

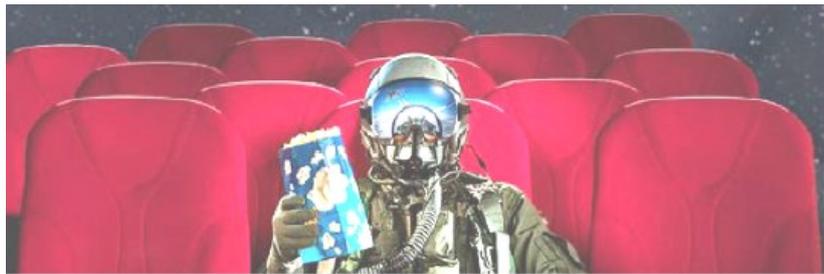
Présentation du système

Contexte

Ce concept a été inventé au Canada en 2008, et s'est étendu à toute l'Amérique du Nord avant de traverser l'Atlantique pour proposer un cinéma dynamique avec une quantité d'effets spéciaux et spatiaux. Le fauteuil dynamique de cinéma est principalement destiné à l'industrie du divertissement et de la simulation. Un train filant à vive allure, une poursuite à moto ou en avion de chasse dans un canyon, autant de scènes fréquentes dans le cinéma d'action du xxiesiècle. Pour ressentir au mieux ces sensations, la technologie permet désormais de ressentir dans son fauteuil les différents mouvements, par de fortes vibrations et accélérations. Ce système repose sur la post-synchronisation des films. Comme pour un doublage ou un sous-titrage, les mouvements du film sont transmis au fauteuil. Le fauteuil dynamique permet de compléter la palette sensorielle offerte au spectateur afin d'accroître le réalisme de son environnement. Les mouvements qui en résultent sont parfaitement synchronisés avec le visuel à l'écran, créant ainsi une expérience immersive d'un grand réalisme. Si la plate-forme à six degrés de liberté s'est imposée dans le cas des simulateurs de vols, elle ne répond pas aux exigences plus étendues des fauteuils dynamiques. Des solutions spécifiques à un environnement de simulation aussi réaliste que possible nécessitent le recours à un système de restitution des mouvements. Le système étudié est une évolution en cours d'étude des fauteuils dynamiques actuellement commercialisés, qui s'inspire des sièges dynamiques utilisés pour l'entraînement des pilotes d'avion de chasse (voir **figure 8**).



Fauteuil dynamique de cinéma actuellement commercialisé



Publicité annonçant l'évolution des fauteuils dynamiques



Sièges dynamiques de différents constructeurs mondiaux pour l'entraînement des pilotes d'avion de chasse

Figure 8

Mise en situation

Le siège dynamique est constitué :

- du dossieret (voir **figure 9**) qui permet d'agir directement sur la tête du spectateur afin d'amplifier la sensation d'accélération (via l'oreille interne). Le point de contact entre le dossieret et la tête du spectateur est matérialisé par le point D;
- de l'assise du siège (voir **figure 10**) qui permet d'obtenir un mouvement de tangage et un mouvement de roulis du spectateur.

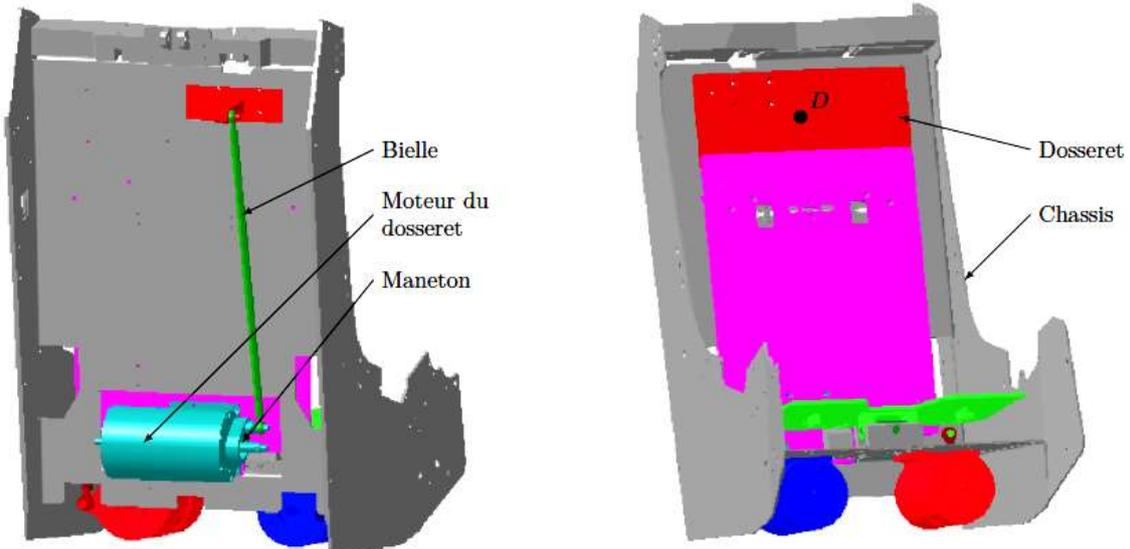


Figure 9 Dossieret

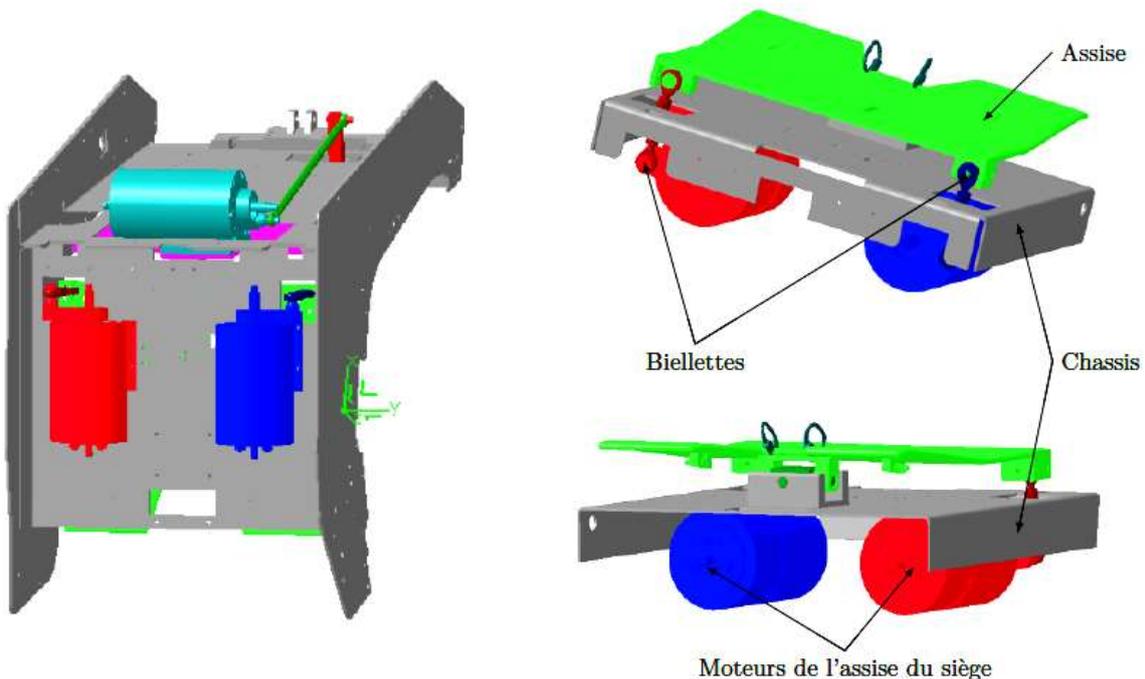


Figure 10 Assise du siège

Les trois motorisations (une pour le dossieret et deux pour l'assise) sont composées chacune d'un moteur à courant continu à aimants permanents et d'un réducteur de vitesse. Chaque moteur est alimenté par un variateur de vitesse dont la structure de puissance est un hacheur. Un capteur de courant interne au variateur est utilisé par ce accouplée à l'axe de chaque moteur est utilisée par le variateur correspondant pour réaliser un asservissement de vitesse. Un codeur incrémental accouplé aussi sur l'axe de chaque moteur est utilisé par une carte à base de microcontrôleur pour réaliser un asservissement de position, une sortie analogique de cette carte étant reliée à l'entrée de consigne du variateur de vitesse.

Le modèle cinématique et le paramétrage de la transformation de mouvement du dossier est fourni figure 11. θ_d est l'angle de rotation du dossier et θ_r est la rotation à la sortie du motoréducteur.

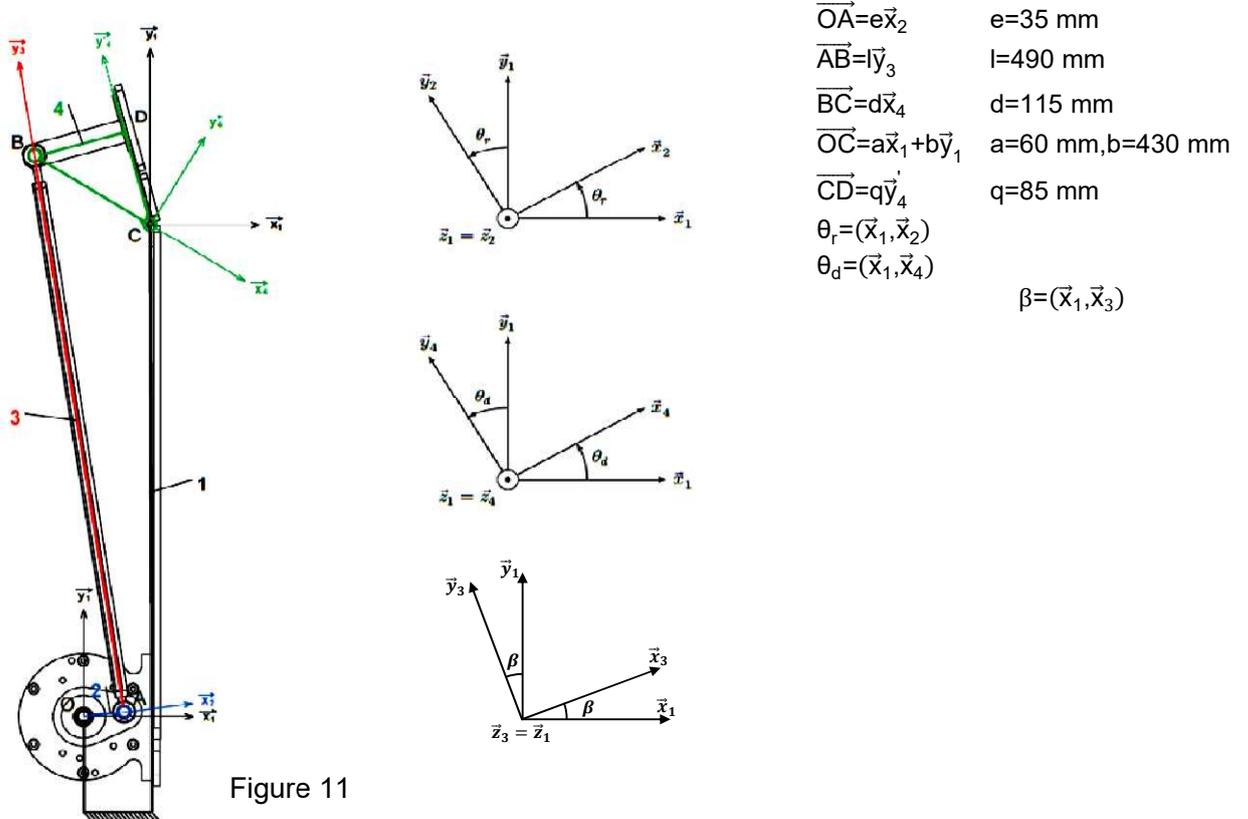
- Q4 : Dessiner la chaîne de puissance de ce mécanisme pour la motorisation du dossier.
- Q5 : Quelle est la grandeur physique d'entrée de ce mécanisme ? Quelle est la grandeur physique de sortie ?
- Q6 : Ecrire la fermeture géométrique vectorielle sur les solides 1, 2, 3 et 4 en partant du point O.
- Q7 : Projeter la fermeture géométrique vectorielle sur les axes (O, \vec{x}_1) et (O, \vec{y}_1) , en déduire deux équations scalaires
- Q8 : En éliminant le paramètre inutile, exprimer littéralement l'angle θ_d en fonction de l'angle θ_r . Mettre l'expression sous la forme :

$$\cos\theta_d(E+F\cos\theta_r)+\sin\theta_d(G+F\sin\theta_r)=H+(I\cos\theta_r+J\sin\theta_r)$$

- Q9 : Donner les expressions de E, F, G, H, I et J

Une simulation numérique a permis d'obtenir le tracé représenté sur la figure 12. Afin d'obtenir un modèle linéaire de la caractéristique $\theta_d=f(\theta_r)$, l'étude se fait autour de son point de fonctionnement statique pour de petites variations.

- Q10 : En dessinant une droite au plus près de la courbe réelle (figure 12) autour du point de fonctionnement $\theta_r=0^\circ$, déterminer la valeur numérique du coefficient de proportionnalité entre θ_d et θ_r .



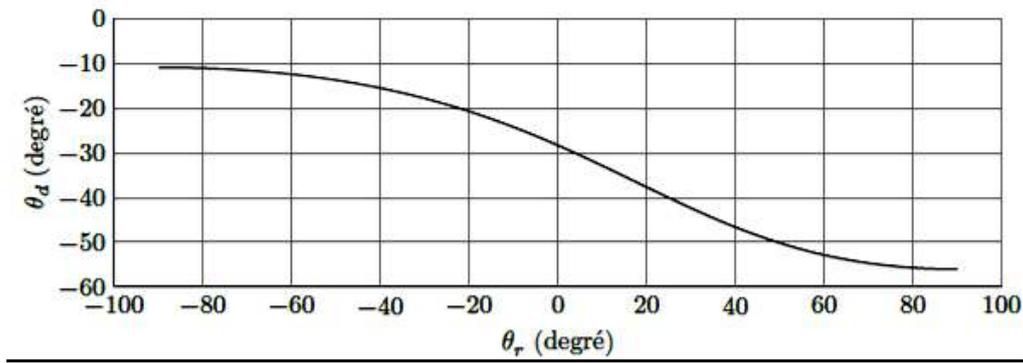


Figure 12

Partie 3 : Etude de réponse temporelle de système asservis

Asservissement de position :

Cahier des charges

Critères Niveaux

Stabilité Le système doit être stable

Précision Erreur statique inférieure à 5%

Rapidité Temps de réponse à 5% inférieur à 50 ms

Dépassement Premier dépassement inférieur à 10%

Ce système est soumis à une consigne en échelon. La réponse temporelle de cet essai est proposée figure 13.

Réponse à un échelon d'amplitude unitaire

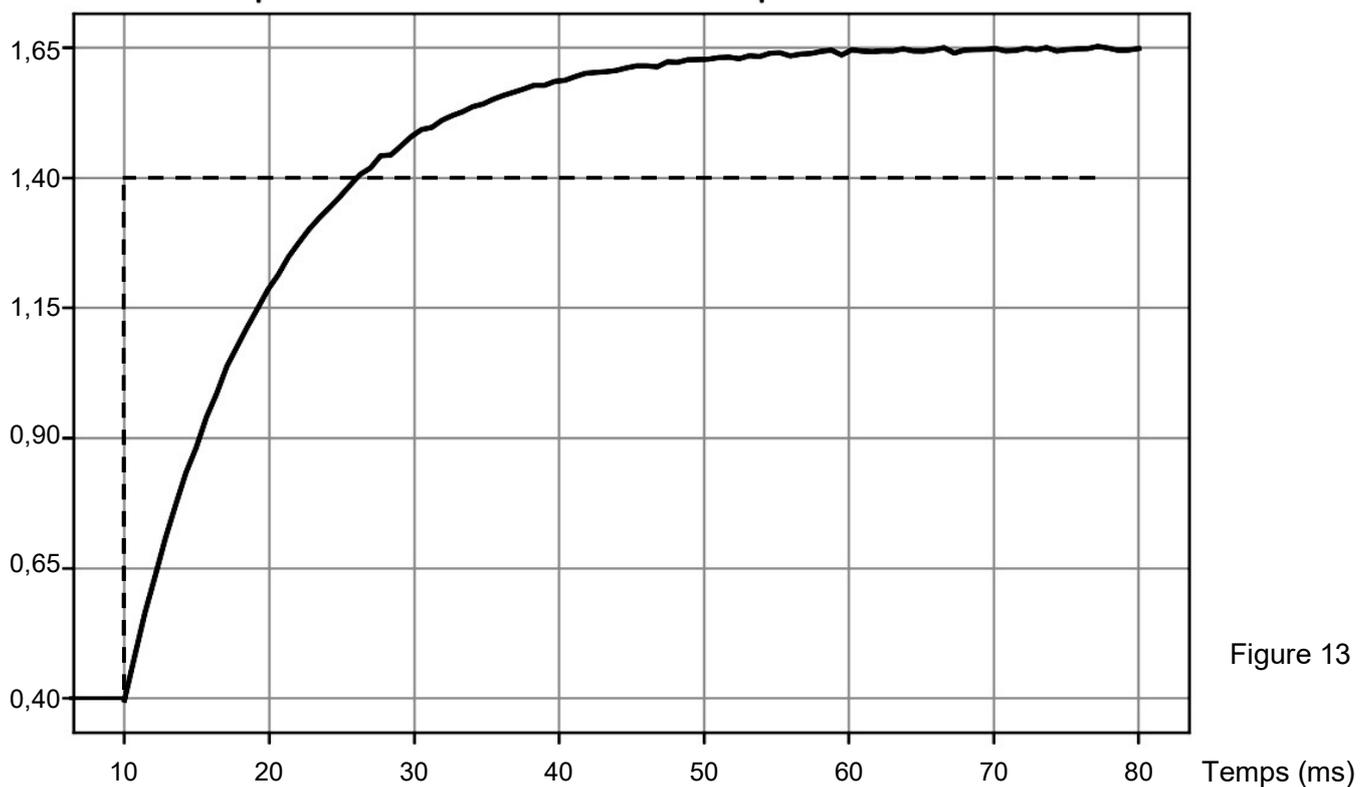


Figure 13

Q11 : Déterminer pour chaque critère si le cahier des charges est respecté. Dessiner sur la figure13 toutes les constructions utiles pour étayer les réponses.

Asservissement de vitesse :

Cahier des charges

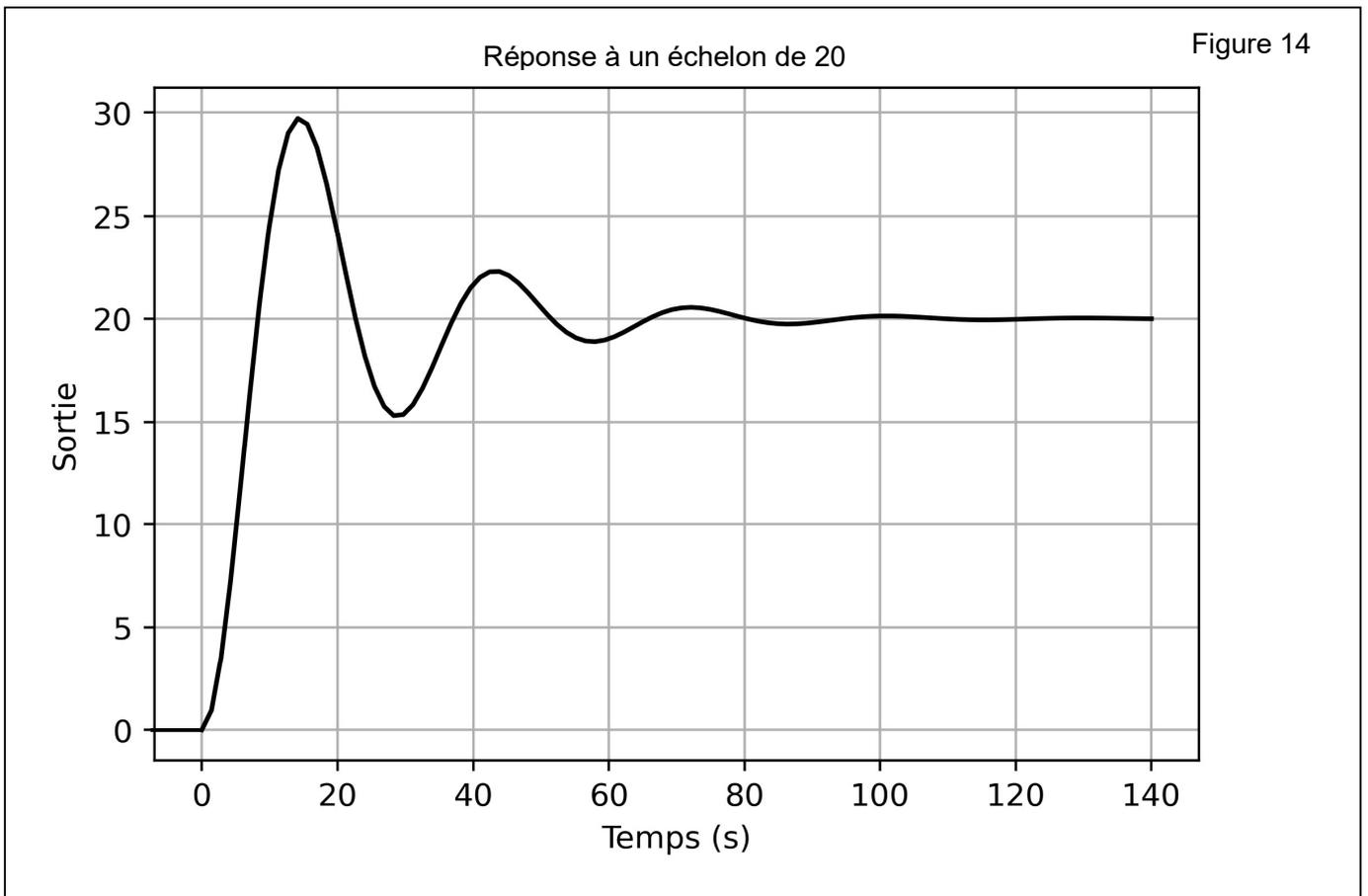
Critères Niveaux

Stabilité Le système doit être stable

Précision Erreur statique inférieure à 10%

Rapidité Temps de réponse à 5% inférieur à 25 s

Dépassement Premier dépassement inférieur à 50%



Q12 : Déterminer pour chaque critère si le cahier des charges est respecté. Dessiner sur la figure14 toutes les constructions utiles pour étayer les réponses.

Partie 4 : Etude de la loi entrée sortie d'un volet générateur de

Modélisation :

La modélisation cinématique du système de génération de la houle est donnée Figure 11. La tige de vérin (8), mise en mouvement par rapport au corps du vérin (9) à partir de la puissance hydraulique fournie par le groupe hydraulique, va mettre en mouvement de rotation (alternatif) le volet (7) par rapport au bâti (0).

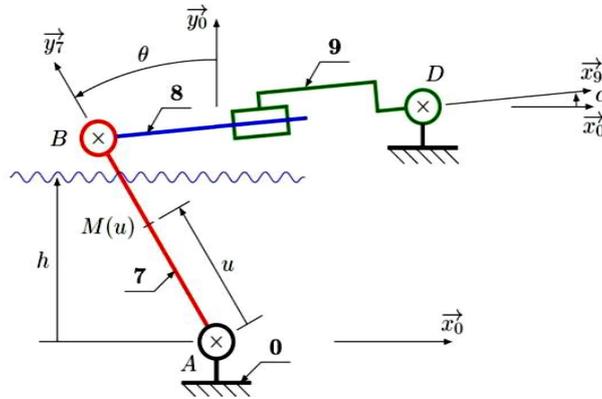


Figure 15 : Schéma cinématique du batteur

On donne :

$$\begin{aligned} \overrightarrow{AB} &= b \cdot \overrightarrow{y_7} \\ \overrightarrow{BD} &= \lambda(t) \cdot \overrightarrow{x_9} \\ \overrightarrow{AD} &= d \cdot \overrightarrow{x_0} + b \cdot \overrightarrow{y_0} \\ \theta &= (\overrightarrow{x_0}, \overrightarrow{x_7}) = (\overrightarrow{y_0}, \overrightarrow{y_7}) \\ \alpha &= (\overrightarrow{x_0}, \overrightarrow{x_9}) = (\overrightarrow{y_0}, \overrightarrow{y_9}) \end{aligned}$$

Le plan $(A, \overrightarrow{x_0}, \overrightarrow{y_0})$ est un plan de symétrie pour le volet (7) de largeur $l=5\text{m}$ suivant $\overrightarrow{z_0}$.

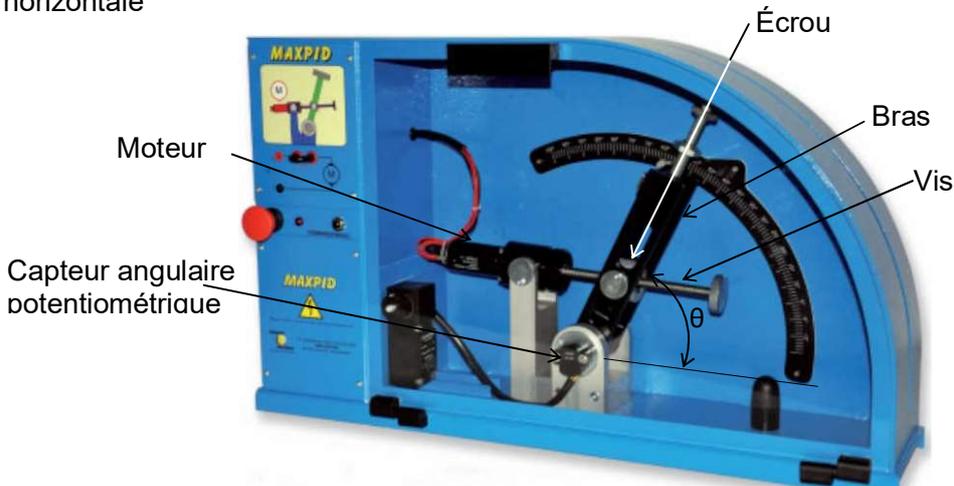
Le volet (7) est partiellement immergé dans une hauteur d'eau notée h . Dans son mouvement, il va comprimer l'eau qui se trouve en aval et détendre celle du coté amont. Le coté comprimé, appelé coté aval, sera celui qui se trouve dans le sens de déplacement du volet.

Q13 : Dessiner les figures de changement de base pour les angles θ et α .

Q14 : A l'aide d'une équation de fermeture géométrique, déterminer l'expression de l'allongement du vérin $\lambda(t)$ en fonction de l'angle du volet $\theta(t)$, de d et de b .

Partie 5 : Schéma bloc de l'asservissement du MAXPID

Le MAXPID est une maquette de bras de robot, la grandeur asservie est l'angle θ de rotation du bras par rapport à l'horizontale



- L'actionneur du système est un moteur à courant continu,
- La vis est liée à l'arbre moteur et tourne dans un écrou (système vis écrou) qui agit sur le bras,
- La mesure de l'angle θ est réalisée par un capteur potentiométrique qui donne une tension $U_{mesurée}$ proportionnelle à l'angle.
- La consigne θ_c est donnée au travers d'une application qui convertit θ_c en une tension de consigne u_c .

Une carte électronique contient :

- Un module de puissance qui module l'énergie entrant dans le moteur,
- Un module de traitement qui réalise la comparaison et la correction.

Q15 : Ajouter sur le schéma ci-dessous le ou les élément(s) qui manque(nt) pour que le schéma d'asservissement soit fonctionnel.

Q16 : Compléter la fonction de chacun des blocs, et indiquer sous le bloc l'élément technologique qui réalise la fonction.

Q17 : Indiquer dans les bulles entre les blocs la grandeur physique ou l'énergie transmise.

