Objectifs :

Décrire le comportement global du système asservi.
Identifier les sous-ensembles fonctionnels avec le modèle réel du système asservi.
Évaluer les performances d'un système commandé linéairement à travers un modèle numérique.

Organisation et conditions de réalisation

Durée : séance de 2 heures en travail expérimental et prise de note puis une séance d'une heure pour synthèse et rédaction.
Ressources : Vidéo, cours, dossier ressources, modèle Simulink, didacticiel 'Simscape-Simulink-MATLAB'
Restitution : Rédaction d'un document contenant les réponses au questionnaire
Organisation : Travail en binôme avec rédaction d'un compte rendu

Critères d'évaluation :

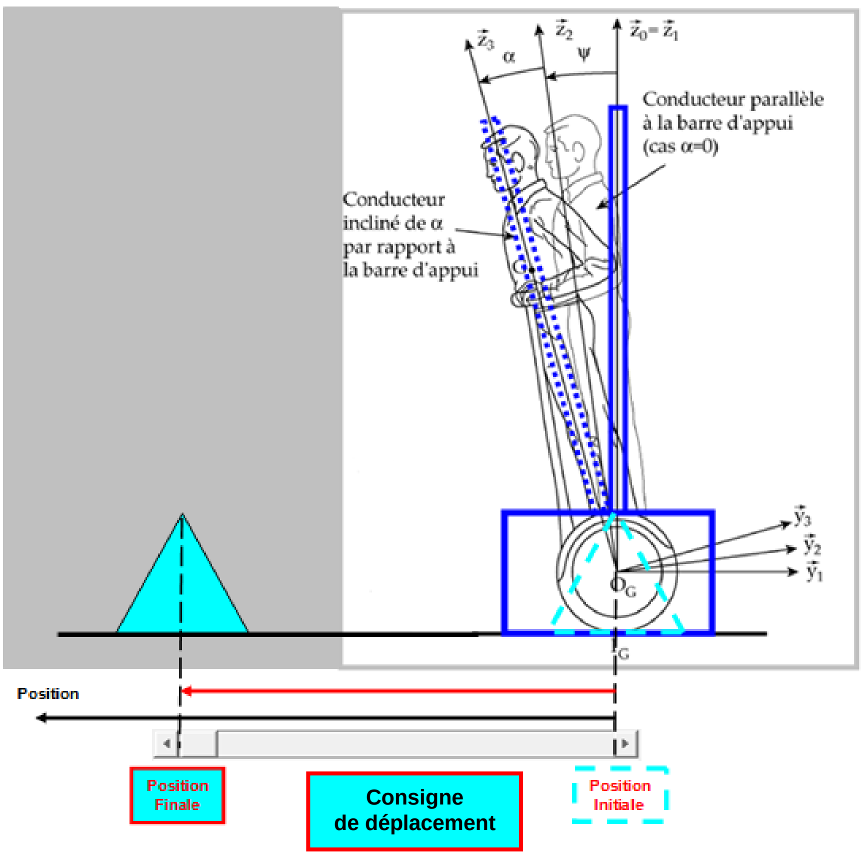
- Pertinence des réponses apportées
- Soin apporté à la rédaction
- Comportement durant la séance et participation au travail demandé
- Autonomie et respect des consignes

1 PROBLEMATIQUE

Un système peut être naturellement instable et s'équilibrer par un système d'asservissement. C'est le cas des gyropodes qui utilisent le principe du pendule inversé, un peu comme si on tenait en équilibre un balais à l'envers. Ce système doit alors s'équilibrer dans une position normalement instable.

2 MISE EN SITUATION

Sur un gyropode l'utilisateur est debout et n'a pas besoin de poser le pied par terre ni pour trouver son équilibre ni pour avancer. C'est le premier moyen de transport à deux roues qui a une stabilisation dynamique, assurée par un système d'asservissement des roues grâce à des capteurs d'inclinaison (utilisant des gyroscopes vus dans la séance de lancement). On peut noter trois avantages remarquables : la marche avant et marche arrière, la rotation sur place (rayon de braquage nul) et le maintien de l'équilibre en position stationnaire.
Ce système est naturellement instable et s'équilibre par un système d'asservissement.



$\chi(t) = \alpha(t) + \psi(t)$.

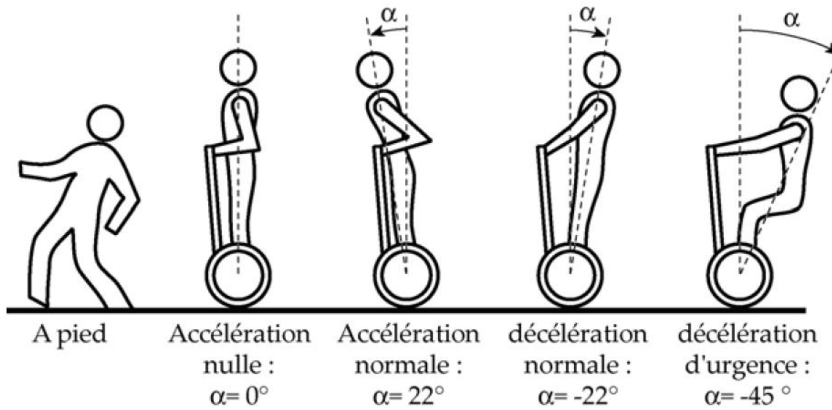
$\chi(t)$: Représente l'angle d'inclinaison du conducteur par rapport à la verticale.

$\alpha(t)$: Représente une consigne d'accélération vue comme une perturbation dans la chaîne d'asservissement.

$\chi(t) = \psi(t)$ lorsque le conducteur est à vitesse constante.

Figure1 : Modèle réel et pendule inversé

Définition des angles α et ψ :



L'angle α vu comme une perturbation dans la chaîne d'asservissement permet au gyropode d'accélérer ou de décélérer.
Une fois acquise, la vitesse est maintenu constante pour α=0.

Figure 2 : Configuration angulaires

Le conducteur agit directement sur la valeur de α(t) pour accélérer ou décélérer. Pour le système Segway®, conducteur exclu, le paramètre α(t) peut être considéré comme une perturbation.
Ψ : Représente l'angle d'inclinaison du châssis par rapport à la verticale

3 ETUDE COMPORTEMENTALE DU PENDULE INVERSE VIA UNE APPROCHE EXPERIMENATLE ET UN SUMILATION SOUS SIMULINK:

On souhaite étudier le comportement de l'asservissement d'un gyropode basé sur le principe du pendule inversé. Pour cette activité, on se limitera à une étude de la partie commande au travers de l'asservissement du système.

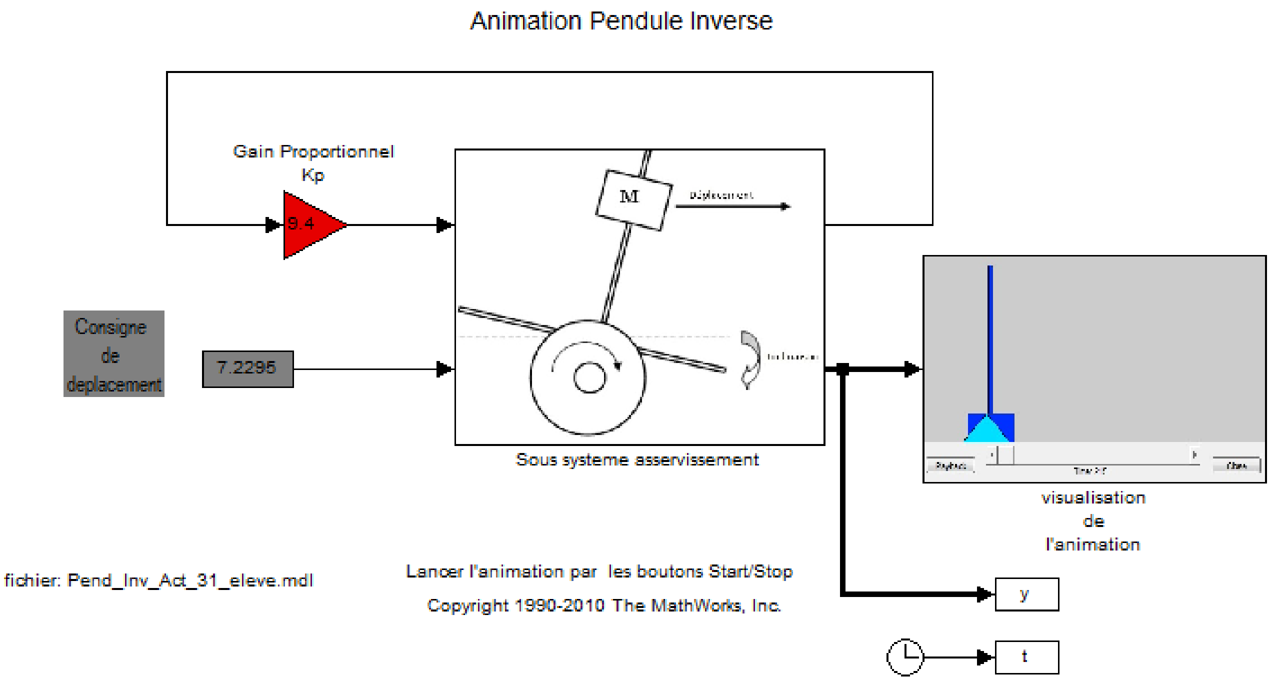


Figure 3 : Modèle Simulink

1- Lancer le logiciel Matlab puis la plateforme multi-domaine Simulink

2- Charger le modèle à l'aide du fichier 'pendule_inverse_eleve.mdl' sous Simulink

3- Lancer l'animation à l'aide du bouton 'Start'

4- Positionner la consigne de déplacement au minimum, à la valeur -9.

5- La consigne de déplacement correspond à la variation du curseur de déplacement dont les valeurs sont comprises entre -9 et +9.
Effectuer plusieurs modifications de la consigne de déplacement entre -9 et +9 observé, rédiger le comportement du pendule inversé.

On souhaite étudier qualitativement l'influence du paramètre "gain proportionnel" sur le système asservi.
Ce paramètre Kp est communément désigné par le terme de "correcteur proportionnel" de l'asservissement.
6- Pour chaque valeur du gain proportionnel du tableau, effectuer des petits déplacements et un déplacement maximum au moyen de la consigne de -9 à +9 et conclure sur le comportement, l'erreur statique (valeur finale de la sortie par rapport à la réponse indicielle), la rapidité et la stabilité.

Gain Proportionnel	Comportement (Rapidité, précision,…)	Stable / Instable
1		
2		
5		
9		
10		
12		

Rédiger une conclusion sur l'effet de l'augmentation du gain proportionnel sur le comportement du système. Quelle action rend le système instable ?

4 ETUDE THEORIQUE DE LA MODELISATION DE LA CHAINE D'ASSERVISSEMENT:

4.1 CHAINE D'ASSERVISSEMENT:

On souhaite étudier le modèle de régulation de l'inclinaison du Segway.
Sur la première figure 1, on désigne par ψ : l'angle d'inclinaison du châssis par rapport à la verticale. L'asservissement consiste à maintenir cet angle nul. L'angle α représente l'inclinaison arrière avant du conducteur.
On extrait des besoins du confort les conditions à satisfaire dans le tableau :

Fonction de Service	Critère	Niveau
Donner au conducteur une sensation de stabilité	Temps de réponse de 0 à 5 km/h	1 s maximum
	Dépassement d'inclinaison	<30%
	Inclinaison du châssis par rapport à la verticale	Nulle à convergence $\lim_{t \to \infty} \psi(t) = 0$

La régulation du Segway est réalisée par :
Un motoréducteur qui permet de délivrer un couple $C_m(t) = K_m u(t)$ ou $u(t)$ désigne une grandeur de commande et $K_m = 24 N.m/V$
Le système mécanique dont les équations ont été déterminées et qui peuvent, dans le cas où l'angle $\alpha(t)$ n'est pas supposé constant, se mettre sous la forme :

$$(D.A - B^2)\frac{d^2\chi(t)}{dt^2} = 2.(\frac{B}{R} + D).C_m(t) + D.C.\chi(t)$$

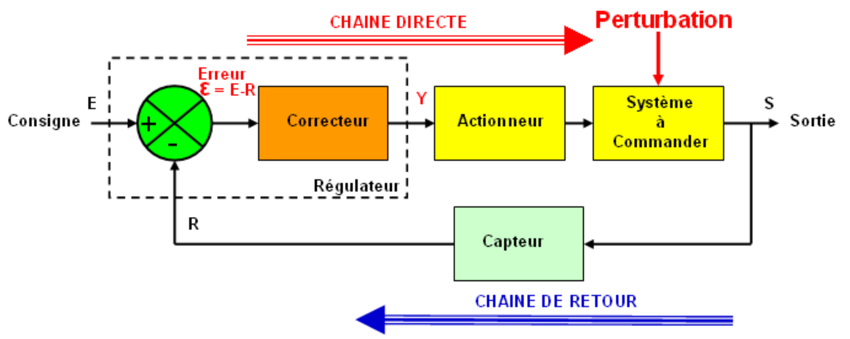
Avec $\chi(t) = \alpha(t) + \psi(t)$

Les conditions initiales sont toutes nulles.

$A = 90 kg.m^2$
$B = 75 kg.m$
$C = 750 kg.m^2.s^{-2}$
$D = 125 kg$
$R = 0,240 m$

4.2 SCHEMA FOCNTIONNEL DU MODELE ET IDENTIFICATION DES FONCTIONS SUR LE SYSTEME REEL:

Schéma fonctionnel du modèle et identifications des fonctions sur le système réel :
Le schéma fonctionnel d'un système asservi fait apparaitre un 'dispositif de commande' dont l'entrée est une consigne, un 'comparateur' qui permet d'élaborer en sa sortie une **erreur** entre l'image de la consigne et l'image de la grandeur mesurée en sortie, un système commandé matérialisant la **chaîne directe**, et un dispositif d'observation constituant le **chaîne de retour.**
L'objectif de ce dispositif (matériel, ou logiciel) qui détermine le signal de commande de l'actionneur en recherchant à annuler l'écart entre la grandeur réglée et la consigne.



Si la chaine de retour est unitaire alors on note Erreur : ε=E-R, sinon on note Ecart : ε=E-R

Figure 4 : Modélisation d'une chaîne d'asservissement avec entrée de perturbation

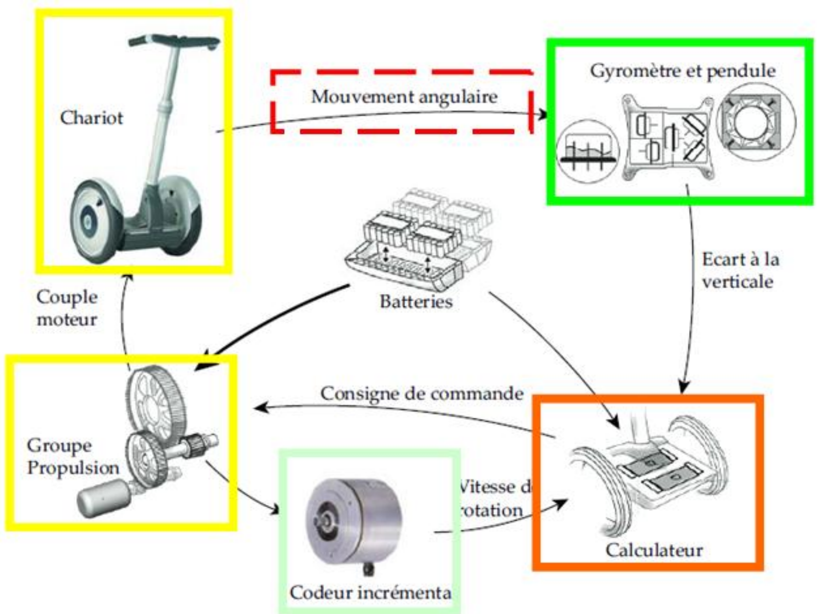


Figure 5 : Identification des éléments de la chaîne d'asservissement

La régulation de l'inclinaison du Segway peut se mettre sous la forme d'u schéma fonctionnel suivant :
On considère l'étude du système en dynamique et on notera (*ΔU=U, Δα=α, ΔCm=Cm, Δ χ = χ , Δψ=ψ*).

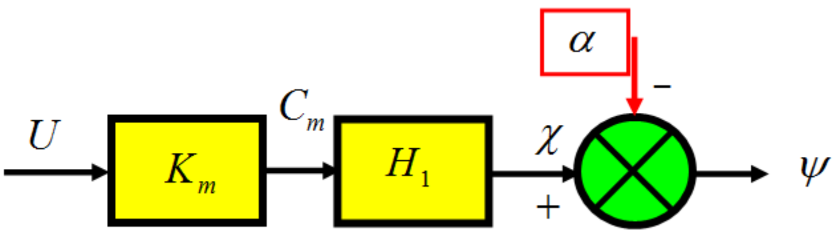


Figure 6 : Régulation de l'inclinaison du gyropode

7- Etablir les expressions de Cm en fonction de U et K_m et l'expression de χ en fonction de C_m et H_1.

8- En déduire l'expression de χ en fonction de H_1, K_m et U

9- Identifier la nature des parties mécaniques et électriques sur le schéma fonctionnel figure5.

On montre que la réponse $\psi(t)$ peut se mettre sous la forme $\psi(t) = A.e^{-4,08.t} + B.e^{+4,08.t}$.

10- A partir de l'expression de $\psi(t)$, étudier la stabilité du système en faisant tendre t vers l'infini.

Une simulation sous Matlab montre la courbe de réponse indicielle ci-dessous.

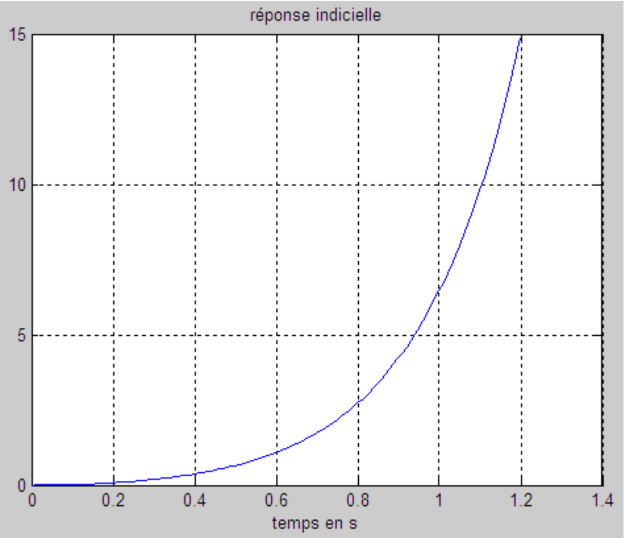


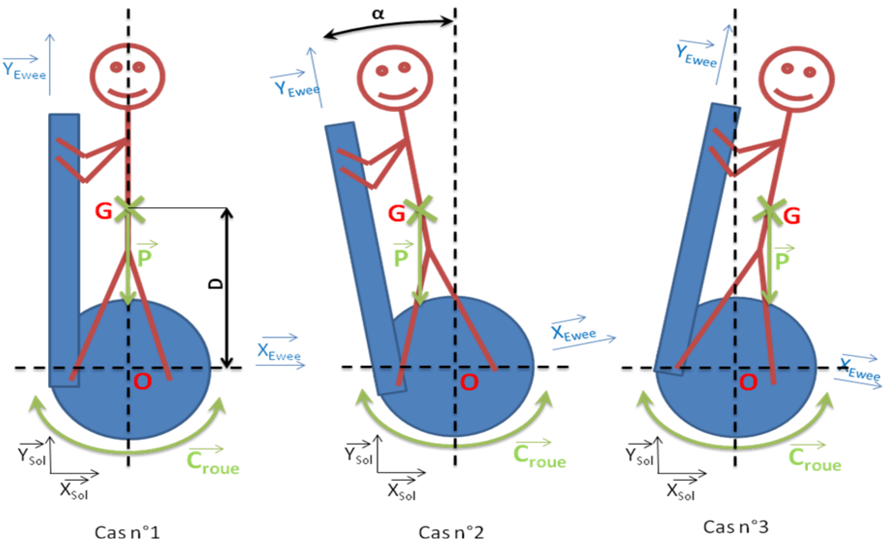
Figure 7 : Courbe de réponse indicielle de $\psi(t)$

11- Décrire brièvement l'allure de la courbe de la réponse indicielle et indiquer sa signification physique.

12- A partir de l'étude analytique et graphique, déduire si le système est stable ou instable.

5. CONCLUSION:

5.1. ETUDE DE L'EQUILIBRE



13- En considérant la position stationnaire du cas n°1. Une perturbation peut amener le conducteur à se trouver dans les cas n°2 et n°3. Décrire en cinq lignes la réaction du couple moteur pour regagner la situation d'équilibre du cas n°1. En déduire alors l'utilité du système asservi.

14- A l'aide de la figure précédente, et dans chacun des cas, déterminez en écrivant l'équation des moments au point O, la relation entre le couple à fournir par les roues en fonction de l'angle α et du poids P de l'utilisateur. Pour l'application numérique on considérera un utilisateur moyen de masse m=75kg dont le centre de gravité G est situé à une distance D=85cm du centre O de la roue.
Sachant que la réduction moteur – roue est r=0.18 et que le moteur ne peut fournir qu'un couple maximum C_{max}=1 N.m avec un rendement de la transmission de 1. Déterminer à partir de quel angle l'ensemble ne sera plus à l'équilibre.

5.2. COMPARAISON DU REEL AVEC LE MODELE NUMERIQUE

14- Reporter sur la courbe ci-dessous la valeur de l'angle α et en déduire l'instant du déséquilibre.