

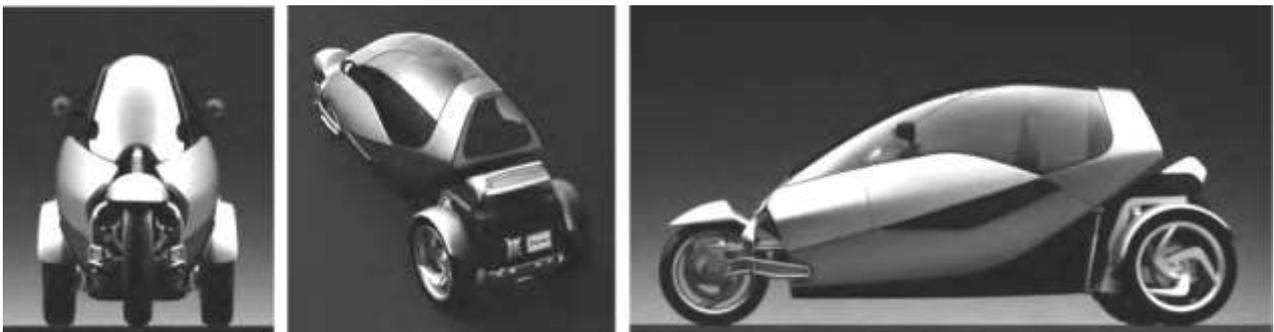
COMPOSITION DE SCIENCES DE L'INGENIEUR (DS1)

Evaluation des cycles :

- Cy1 : Réaliser l'analyse fonctionnelle et structurelle des systèmes asservis
- Cy2 : Déterminer les lois de pilotage en mouvement

Support :

- Véhicule à trois roues Clever



AUCUN DOCUMENT N'EST AUTORISE

INSTRUMENT DE CALCUL AUTORISE

Consignes :

*Il est fortement conseillé de **lire la totalité du sujet** avant de démarrer votre travail.*

*L'utilisation du crayon papier est **interdite** sur la copie.*

*La rédaction des réponses sera **la plus concise possible** : on évitera de trop longs développements de calculs en laissant subsister les articulations du raisonnement.*

Chaque réponse ne pourra se limiter à une suite d'expressions mathématiques sans justification.

On encadrera obligatoirement les résultats.

Le non respect de ces consignes entraînera des points de pénalisation.

N.B. : le candidat attachera la plus grande importance à la clarté, à la précision et à la concision de la rédaction. Si un candidat est amené à repérer ce qui peut lui sembler être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et devra poursuivre sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

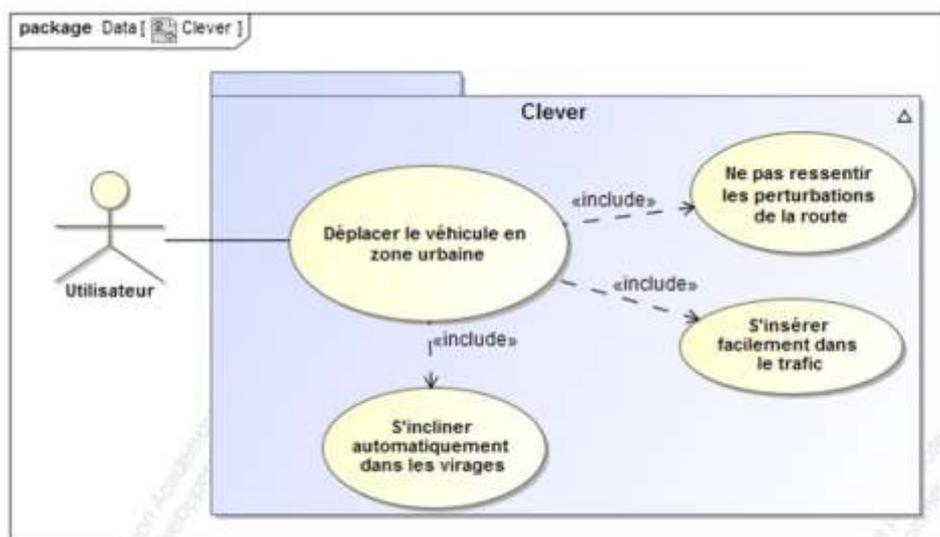
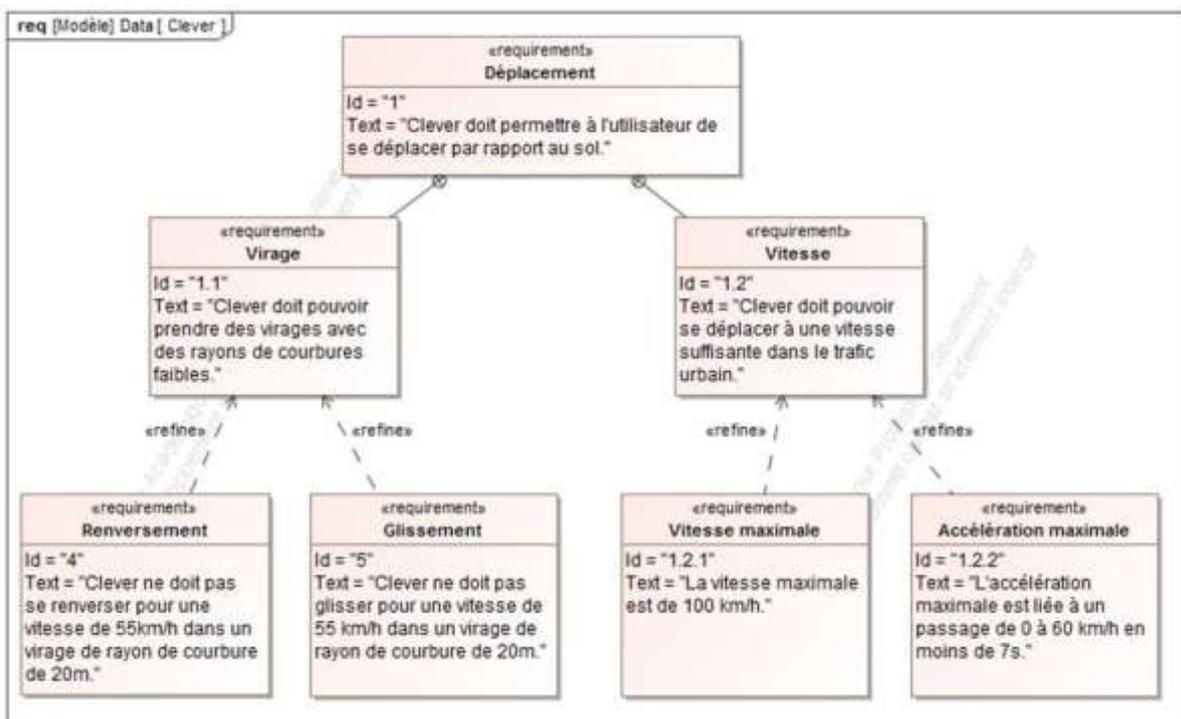
Véhicule à trois roues Clever

1 – Introduction



Le Clever, présenté sur la photo ci-contre, est un démonstrateur technologique développé par un tissu d'industriels européens - dont BMW, l'Institut Français du Pétrole (IFP) et de nombreux équipementiers - grâce au financement de l'Union Européenne. Clever est la contraction de Compact Low Emission VEHICLE for uRban tRansportation (véhicule compacte à faibles émissions pour le transport urbain) car, avec une consommation de seulement 2,5 L/100 km, il s'annonce très écologique. Les premiers prototypes ont vu le jour en 2006. Ce type de véhicule pourrait être un des prochains commercialisés par BMW si le prix de vente peut être ramené sous la barre des 10 000 euros.

La figure ci-dessous présente un diagramme des exigences dans la phase d'utilisation normale (véhicule Clever utilisé pour se déplacer) liée au cas d'utilisation donné.

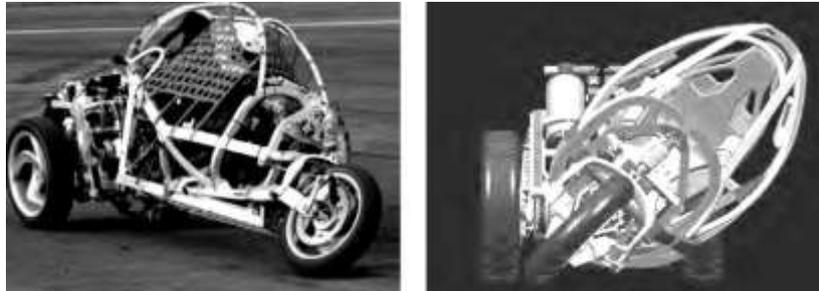


2 – Présentation du véhicule Clever

2-1 – Description globale

Pour répondre à ces exigences, et notamment la gestion des virages la solution qui a été retenue est la suivante : **un système de pendulation.**

Le Clever se présente comme un véhicule à trois roues pouvant embarquer deux personnes assises en tandem. Il adopte une architecture pendulaire, c'est-à-dire qu'il se penche dans les virages :



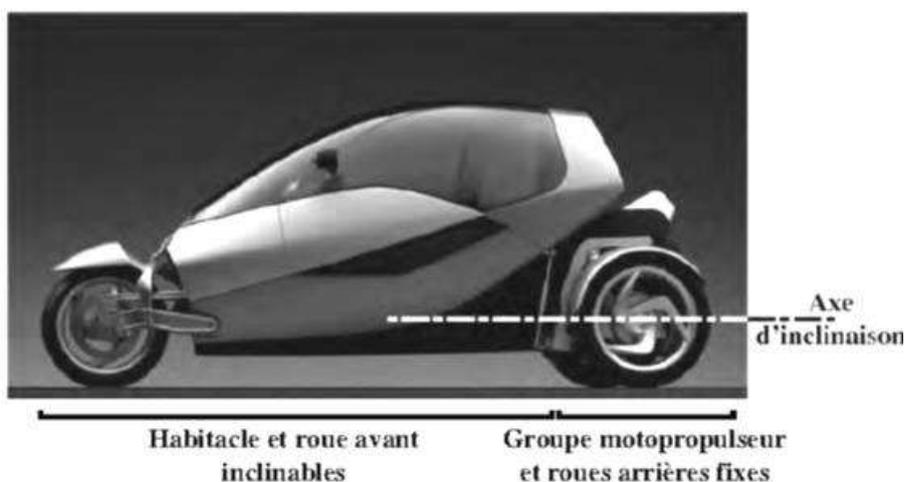
Le déplacement du centre de gravité qui en résulte lui confère une grande stabilité malgré une faible largeur du véhicule (légèrement inférieure à 1 m, contre 60 à 75 cm pour une moto, et 1,5 m pour une petite voiture). Cette étroitesse se veut une réponse aux problèmes d'encombrement dans les villes mais permet aussi une surface frontale moins importante que sur une voiture conventionnelle et donc des pertes aérodynamiques réduites. En outre, les sensations de conduite sont semblables à celle d'une moto mais avec un pilotage, à l'aide d'un volant, propre à un véhicule à 4 roues. Le moteur est un monocylindre à gaz naturel qui a été développé par l'IFP et dont les performances permettent d'atteindre une vitesse de pointe de 100 km/h avec une accélération en phase avec les attentes pour un véhicule urbain.

2-2 – Description partielle de la chaîne de puissance et d'information du module de pendulation

Du point de vue de l'architecture cinématique, le groupe motopropulseur est placé à l'arrière. À l'avant, l'habitacle repose sur une roue de moto et pivote par rapport au bloc arrière autour d'une liaison pilotée angulairement par le biais de deux vérins hydrauliques. L'inclinaison est contrôlée par un ordinateur de bord en fonction de l'angle au volant et de la vitesse.

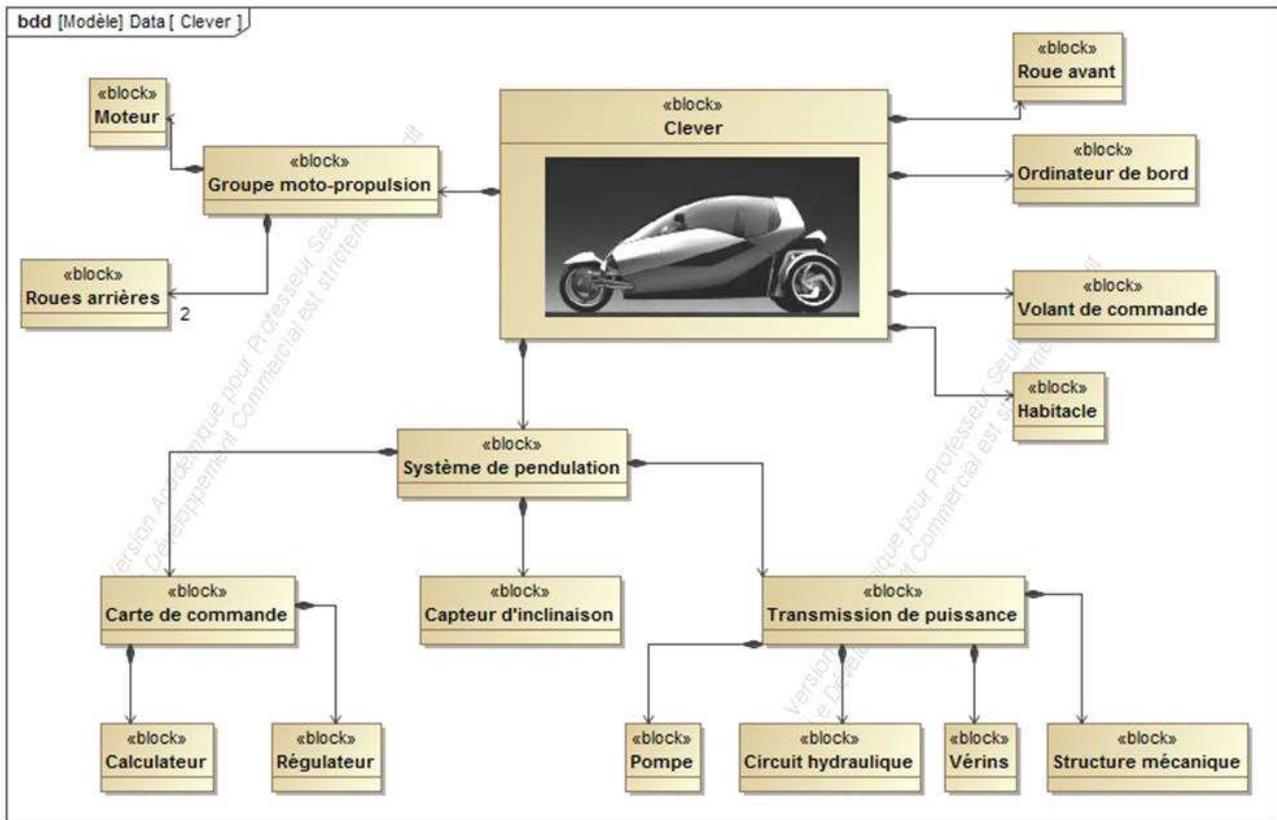
On se propose maintenant d'étudier la structure du mécanisme d'inclinaison de l'habitacle du Clever, que l'on nomme système de pendulation.

Le mécanisme de pendulation peut être décrit globalement comme ci-dessous :



Le groupe motopropulseur, comportant entre autres le moteur et les roues arrière, reste en permanence perpendiculaire au sol. La partie avant, constituée de l'habitacle et de la roue avant, peut au contraire s'incliner dans les virages grâce à un mécanisme hydraulique au cœur de cette étude. Les deux parties du Clever sont reliées par une liaison pivot d'axe parallèle au sol, schématisée ci-dessus.

On fournit le diagramme de block (bdd) suivant recensant les éléments importants pour cette étude :



Comme le bdd le précise, le système de pendulation de l'habitacle est assuré par un système constitué :

- d'une carte de commande comprenant un calculateur qui détermine le mouvement et la position à donner à l'habitacle en fonction des conditions d'utilisation et d'un régulateur qui compare consigne et position réelle de l'habitacle et génère la commande à destination du circuit hydraulique ;
- d'un système de transmission de puissance (hydro-mécanique) et d'adaptation de mouvement ;
- d'un capteur permettant la mesure de l'inclinaison de l'habitacle.

La chaîne de transmission de puissance et d'adaptation de mouvement est composée :

- d'une pompe actionnée par le moteur à gaz permettant d'alimenter le circuit hydraulique ;
- d'un circuit hydraulique permettant de moduler l'énergie à destination des vérins ;
- de 2 vérins hydrauliques permettant de convertir l'énergie hydraulique en énergie mécanique ;
- d'une structure mécanique d'adaptation de mouvement afin de transformer le mouvement de translation des tiges des vérins en rotation de l'habitacle.

PARTIE A

Etude des performances du système de pendulation

3 – Analyse système

3-1 – Description SysML

On donne en document réponse un diagramme d'exigence partiel.

- Q1/ Compléter** le diagramme d'exigences partiel sur le DR 1 à partir d'un bloc intervenant dans le bdd précédent.
- Q2/ Donner** les 4 exigences du système ainsi que leurs niveaux associés et **proposer** pour l'exigence sur la vitesse une plage de flexibilité acceptable d'un point de vu pénal.
- Q3/ Dans ce système étudier préciser** si « la route, le pilote, le moteur, le réservoir d'essence, les roues » du CLEVER sont à intégrer dans la frontière de cette étude.

3-2 Description structurelle de Clever (ibd et bdd)

On donne en document réponse un diagramme d'interaction de blocs (ibd) incomplet.

- Q4/** A partir des informations données précédemment, **compléter** l'ibd du DR 1. Pour cela, **préciser** soit la nature du flux entre bloc, soit le nom du bloc. Sur ce même diagramme, **surligner** en rouge les flux d'énergie et en bleu les flux d'information.
- Q5/** Pour le seul système de pendulation et sur le DR 1, **encadrer** en vert les blocs faisant partie de la chaîne d'énergie et en noir ceux faisant partie de la chaîne d'information.
- Q6/** **Réaliser** à main levée une chaîne fonctionnelle minimale du système étudié quand il réalise la fonction « basculer dans un virage ».
- Q7/** **Expliquer** quels types de causes (conditions d'utilisation, éléments extérieurs, performance éléments internes, etc....) peuvent empêcher les performances attendues du véhicule. Prendre l'exemple d'exigence référencée 1.2.2

A noter :

La réussite aux questions précédentes n'est en rien obligatoire pour faire la suite du sujet.
Les parties A et B sont totalement indépendantes.

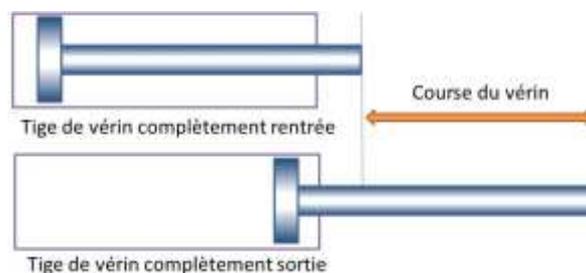
PARTIE B

Etude des exigences liées à la géométrie du système de pendulation

On s'intéresse dans un premier temps à la validation des performances géométriques du système de pendulation rappelées sur le tableau ci-dessous :

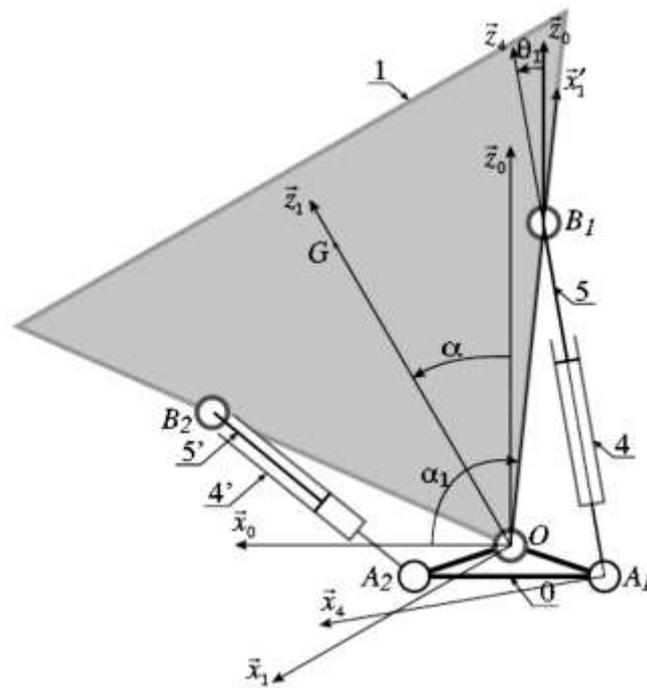
Exigence	Critère	Niveau	Flexibilité
Exigence de virage	Angle de pendulation α	-45° à $+45^\circ$	Non définie
	Course d'un vérin	200 mm	Non définie

Rappel : la course d'un vérin est la distance que peut parcourir la tige d'un vérin entre sa position complètement rentrée et sa position complètement sortie.



1 – Structure et modélisation de la géométrie

On suppose que le mécanisme étudié admet $(O, \vec{z}_0, \vec{x}_0)$ comme plan d'étude. Le modèle cinématique adopté est précisé par le schéma cinématique ci-dessous, sur laquelle sont aussi représentées les données géométriques et les paramètres de mouvements qui seront utilisés dans la question suivante.

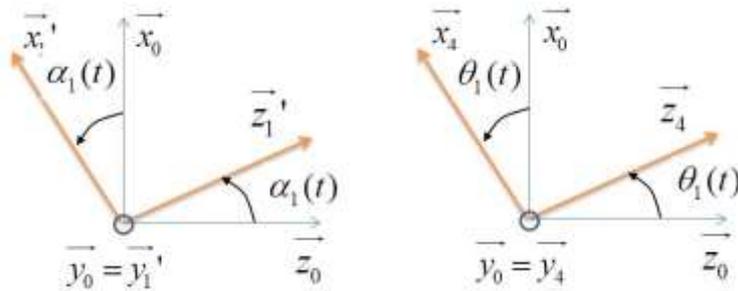


Paramétrage cinématique adopté pour l'étude analytique

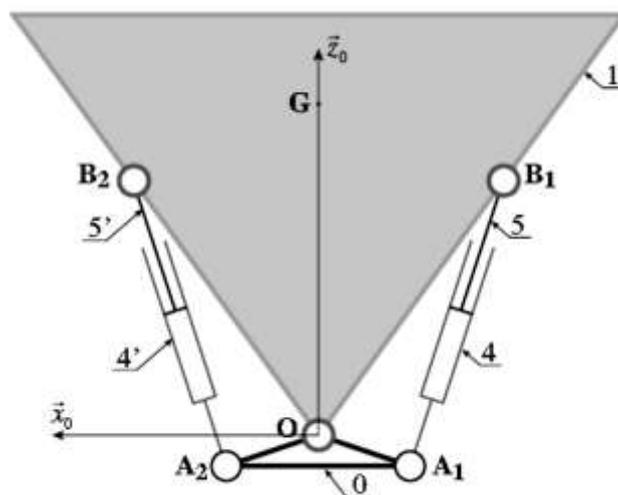
On donne :

$$\overrightarrow{OA_1} = -a\vec{x}_0 - b\vec{z}_0 \quad \overrightarrow{A_1B_1} = \lambda_1(t)\vec{z}_4 \quad \overrightarrow{OB_1} = L\vec{x}_1'$$

On donne également ci-dessous les seules figures de calcul utiles pour cette partie :



Remarque : Lorsque l'habitacle est en position centrale, les tiges de vérin sont en position médiane comme défini ci-dessous.



On rappelle l'équation dite de fermeture géométrique : $\overrightarrow{OA_1} + \overrightarrow{A_1B_1} + \overrightarrow{B_1O} = \vec{0}$

Q8/ *Écrire* cette équation sous forme vectorielle en fonction de a , b , L et λ_1 et des vecteurs de base $\vec{x}_0, \vec{z}_0, \vec{z}_4, \vec{x}_1'$.

Q9/ *Projeter* \vec{z}_4 puis \vec{x}_1' sur \vec{z}_0 et \vec{x}_0 (ie dans la base liée à ces vecteurs).

Q10/ A l'aide de ces 2 questions, en **déduire** les deux équations projetées issues de la fermeture géométrique.

Dans la suite du problème nous chercherons une relation qui doit mettre en relation λ_1 et α_1 .

Q11/ A l'aide des 2 équations de la question 6, **éliminer** θ_1 . En **déduire** l'expression de λ_1 en fonction uniquement de α_1 et des longueurs a , b et L :

Pour la suite du problème vous prendrez la relation suivante :

$$\lambda_1 = \sqrt{(a + L \cos \alpha_1)^2 + (b - L \sin \alpha_1)^2}$$

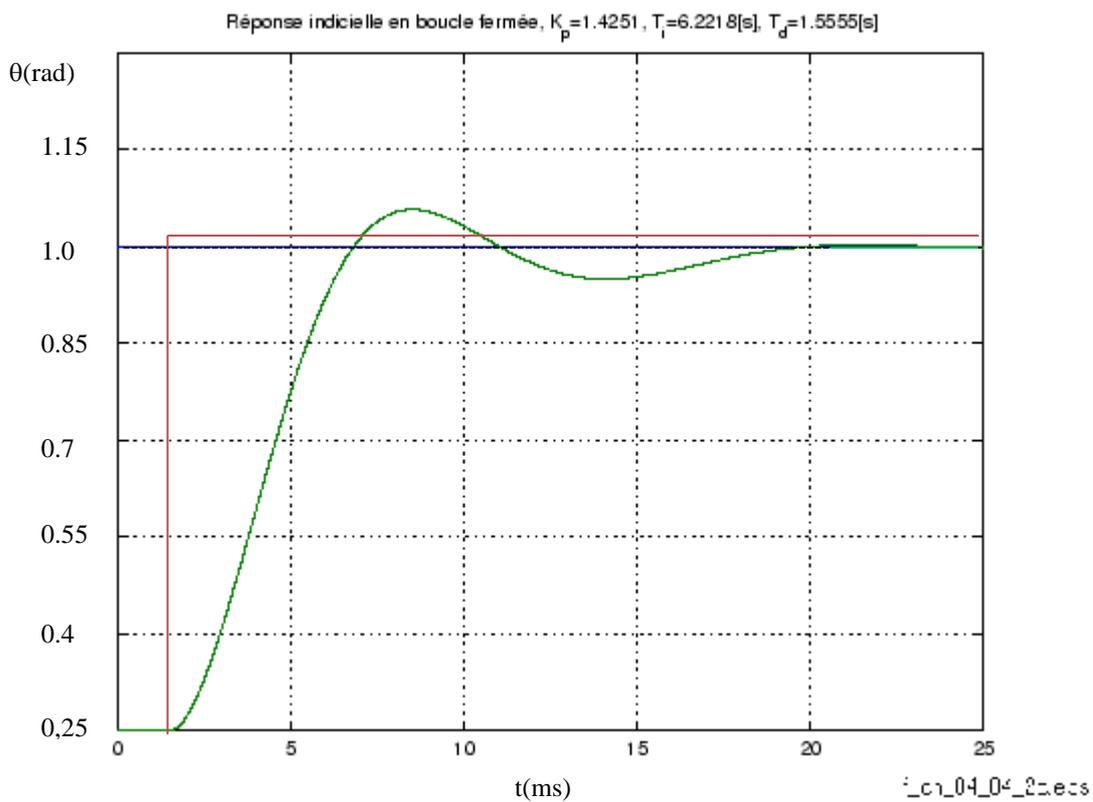
Q12/ Application numérique : $OB_1 = OB_2 = B_1B_2$, $L = 1\text{m}$, $a = 0,5\text{ m}$, $b = 0,25\text{ m}$, A partir des valeurs extrêmes de α **donner** les valeurs extrêmes de α_1 en **déduire** à l'aide du Document Ressource 1, l'amplitude de λ_1 .

Q13/ **Conclure** quant à la capacité du système à répondre au cahier des charges.

Q14/ A partir du Document Technique DT 1, **calculer** les amplitudes de mesure du capteur proposé qui va enregistrer la position angulaire du système quand il sera à un angle de $1,03\text{ rad}$.

Un asservissement à correcteur PID, permet de piloter en position angulaire le système en fonction de la vitesse du véhicule. Ci-dessous l'évolution de l'angle de Roulis du Clever en fonction du temps et de la consigne en rouge (échelon de $1,03\text{ rad}$). A $t=0\text{ s}$, le système a déjà un angle de Roulis non nul. (cf graphique).

Q15/ A partir du graphique suivant, **donner** la performance de l'asservissement (rapidité, précision, stabilité). Veuillez justifier vos résultats à l'aide de tracé sur le Graphique (DR 2).



*Document Réponse DT1***TMS88B-ACC360 | TMS/TMM88**

CAPTEURS D'INCLINAISON



illustration non contractuelle

Informations de commande

Type	Référence
TMS88B-ACC360	1073788

Autres modèles d'appareil et accessoires → www.sick.com/TMS_TMM88

Caractéristiques techniques détaillées

Performance

Nombre d'axes	1
Plage de mesure	360°
Résolution	0,01°
Précision	Typ. $\pm 0,15^\circ$, max. $\pm 0,25^\circ$
Coefficient thermique (point zéro)	Typ. $\pm 0,008^\circ/\text{K}^{1)}$
Fréquence limite	0.1 Hz ... 25 Hz, 8. Ordre (avec filtre numérique)
Période d'échantillonnage	80 Hz
Durée d'initialisation	80 ms

¹⁾ Par rapport à la température de référence de 25 °C.

Interfaces

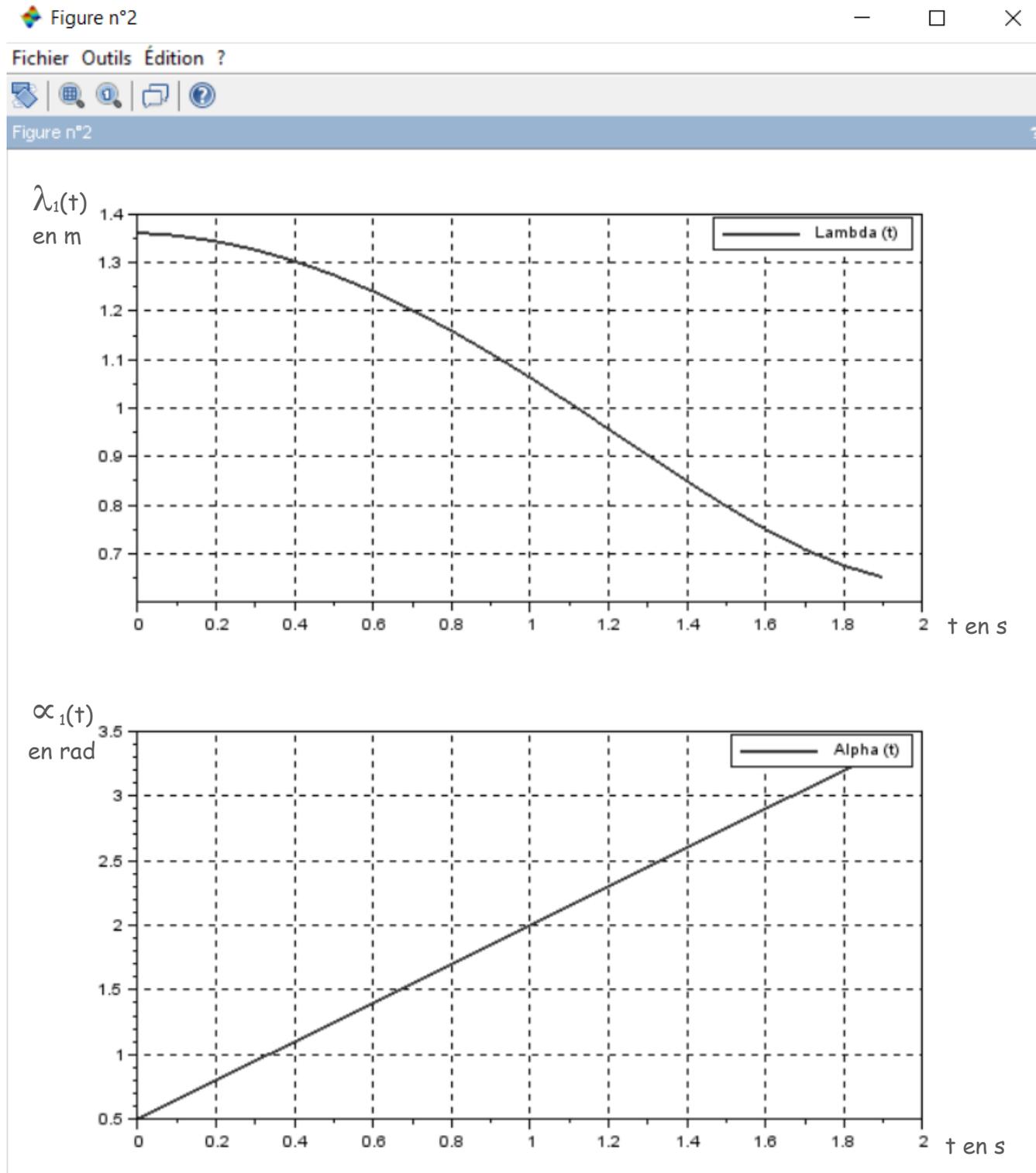
Interface de communication	CANopen
Profil d'appareil	CiA DS-301, DS-410 v4.2.0 CiA (profil d'appareil pour capteurs d'inclinaison) CiA DSP-305 (Layer Setting Service (LSS) et protocoles)
Réglage d'adresses	0...127, default: 10
Taux de transfert des données (débit en bauds)	10 kbit/s ... 1.000 kbit/s. Par défaut : détection automatique de la vitesse de transmission
Informations d'état	État CANopen via LED d'état
Terminaison de bus	Par résistance de terminaison externe
Données de configuration	Point zéro Fréquence limite Valeur prédéfinie Inversion du sens de comptage
Programmable/configurable	Via PGT-12-Pro

Caractéristiques électriques

Mode de raccordement	Connecteur mâle, M12, 5 pôles
Plage de tension de service	8 V DC ... 36 V DC
Consommation	< 16 mA @ 24 V
Protection contre l'inversion de polarité	✓

Document Ressource 1 : Tracé¹ de la réponse λ_1 en fonction de la consigne α_1

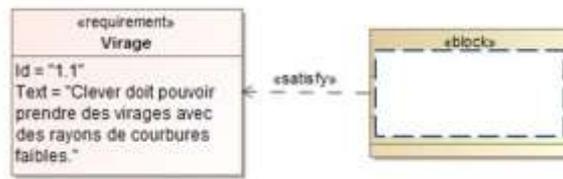
$$\lambda_1 = \sqrt{(a + L \cos \alpha_1)^2 + (b - L \sin \alpha_1)^2}$$



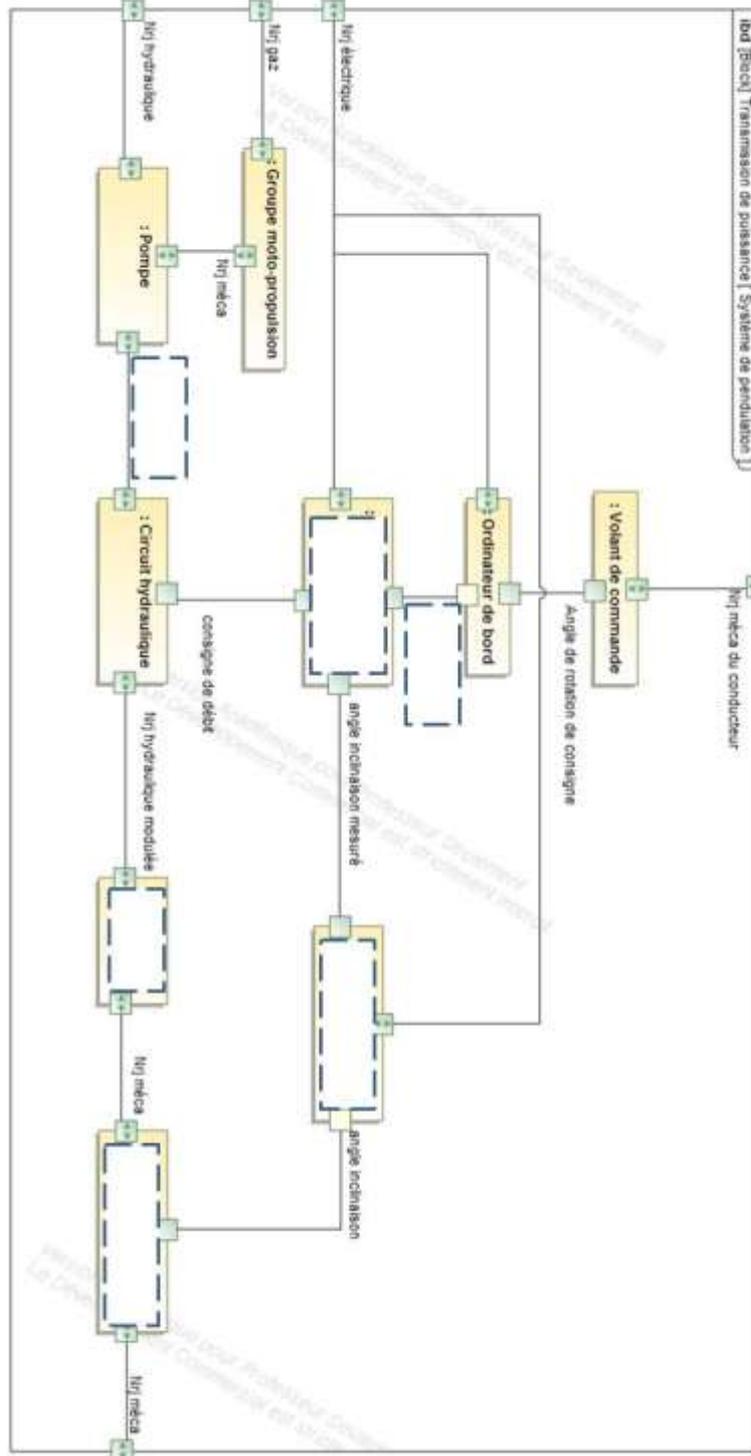
¹ Tracé issu d'une simulation sur le module Xcos de Scilab.

Document Réponse DR1

Question 1: Diagramme d'exigence partiel à compléter par le bloc associé



Question 4 & 5: Diagramme d'interaction de bloc du système de pendulation à compléter



Nom :

Prénom :