CONCOURS ARTS ET MÉTIERS ParisTech - ESTP - POLYTECH

Épreuve de Sciences Industrielles MP

Durée 3 h

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, d'une part il le signale au chef de salle, d'autre part il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en indiquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.

L'usage de calculatrices est autorisé.

Composition du sujet :

- 1 cahier de 15 pages de texte numérotées de **1 à 15**.
- **1 document réponse impression recto verso à rendre en fin d'épreuve.**

AVERTISSEMENT

La **présentation**, la lisibilité, l'orthographe, la qualité de la **rédaction, la clarté et la précision** des raisonnements entreront pour une **part importante** dans **l'appréciation des copies**. En particulier, les résultats non justifiés ne seront pas pris en compte. Les candidats sont invités à encadrer les résultats de leurs calculs.

A

Il est interdit aux candidats de signer leur composition ou d'y mettre un signe quelconque pouvant indiquer sa provenance.

EM 5.7

1. INTRODUCTION

Moto de trial électrique Electric Motion EM 5.7

La motorisation électrique fait désormais partie intégrante du paysage des deux-roues motorisés.

A l'image de l'industrie automobile, la propulsion électrique est le nouveau cheval de bataille de nombreux constructeurs de 2 roues, voire l'unique alternative aux soucis de pollution qu'elle soit chimique ou sonore. La culture d'entreprise d'Electric-Motion est essentiellement tournée vers l'électrique.
A l'heure actuelle l'offre moto électrique est réduite et les gammes sont plus que restreintes.
Electric-Motion étend la gamme des possibilités offertes aux amateurs de 2 roues en proposant un modèle trial aux adeptes de « green motorcycle ».

Après plusieurs réalisations pour des constructeurs établis, Electric Motion s'est lancé dans la conception de la EM 5.7, une moto de trial loisir électrique.

La conception d'une moto de trial entièrement électrique est une réalisation qui a permis de faire des prouesses d'adaptations en termes de poids, volume, puissance et d'autonomie dans l'environnement particulièrement exiguë qu'est un cadre de moto de trial. Les performances atteintes sont en adéquation avec les besoins d'utilisation et la EM 5.7 est un modèle technologique dans son domaine qui allie performances et respect de l'environnement devenant ainsi la première moto de trial électrique produite en série.

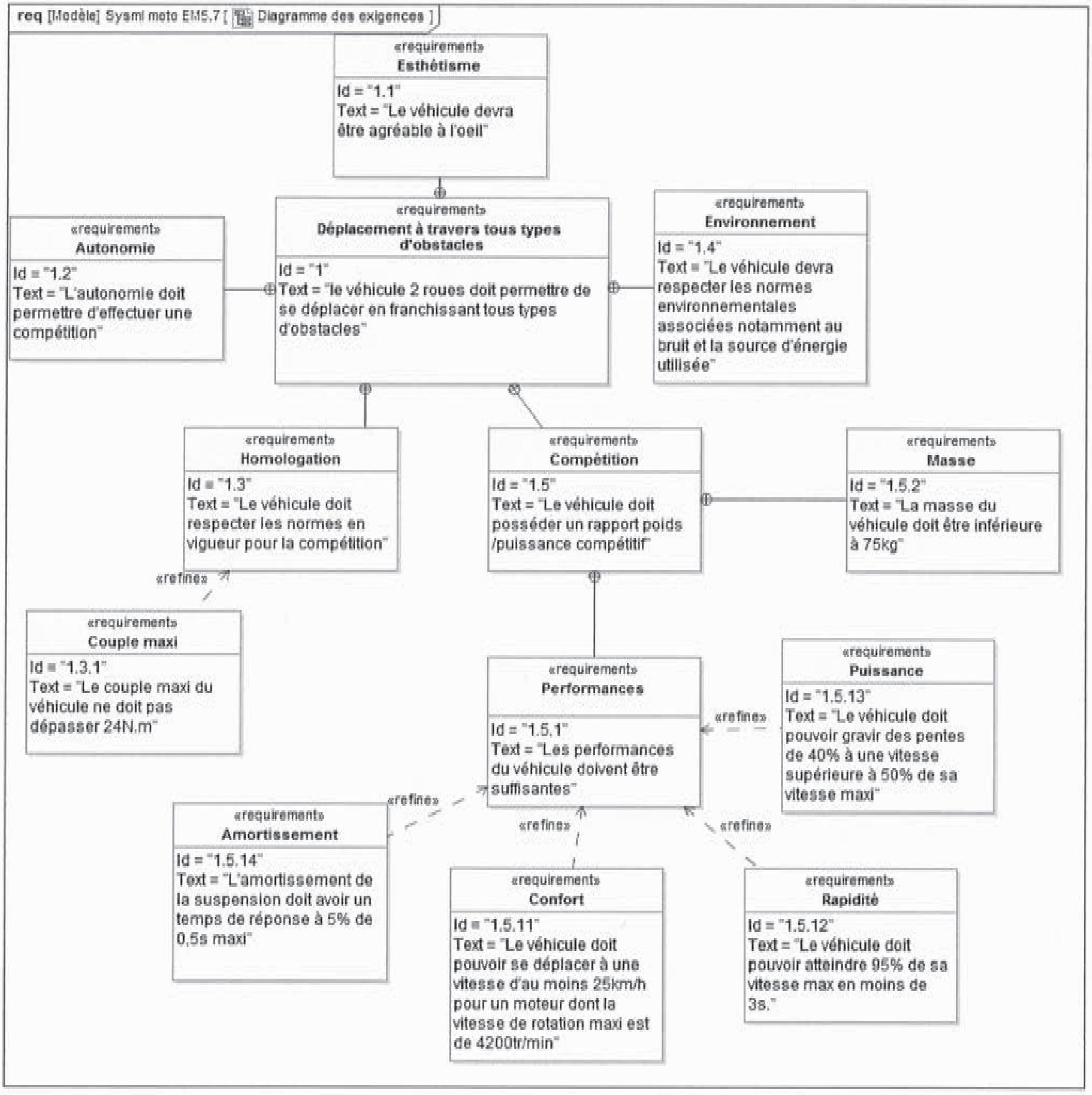
Aux Championnats de France de Trial 2014, catégorie Senior 2, Bastien Hieyte & son EM 5.7 a pris la première place.

Pour la toute première fois, un pilote remporte un titre national sur une moto à propulsion électrique, et ce, contre des motos thermiques.

Un titre historique puisqu'il s'agit d'une première dans le monde des sports mécaniques !

1. Description du système

Extrait des exigences fonctionnelles



Tournez la page S.V.P.

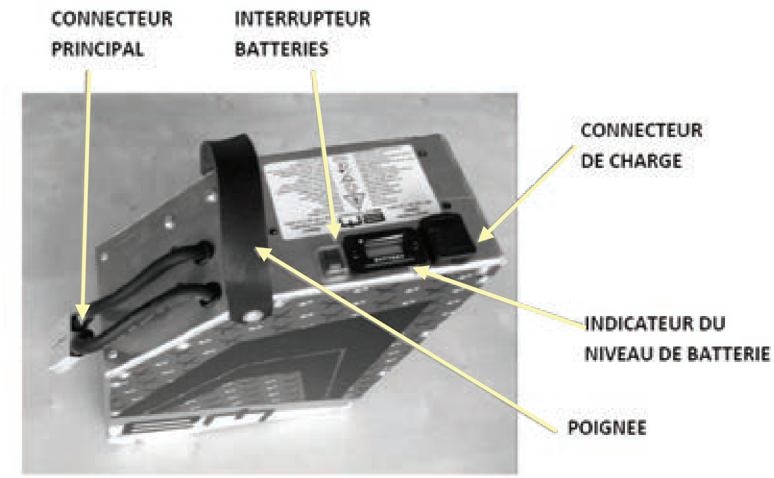
2. *Caractéristiques de la moto*

Le moteur électrique

Il s'agit d'un moteur électrique de type Brushless
Puissance : 5kW en continu (12kW en pic)
Couple : 16Nm en continu (24Nm en pic)

La batterie

La batterie de 48V et 25Ah délivre une puissance de 1,2 KW/h.
Allant de 50 à 150 minutes, suivant l'utilisation, l'autonomie de cette batterie permet une plage de liberté pour l'utilisateur.
Le temps de recharge complète est de 110 min (80% de charge en 40 minutes)
La batterie dispose d'un BMS (Battery Manager System), cerveau de la batterie qui permet de contrôler et équilibrer la charge et la décharge. Son utilisation permet d'augmenter la durée de vie de la Batterie Lithium Polymère.



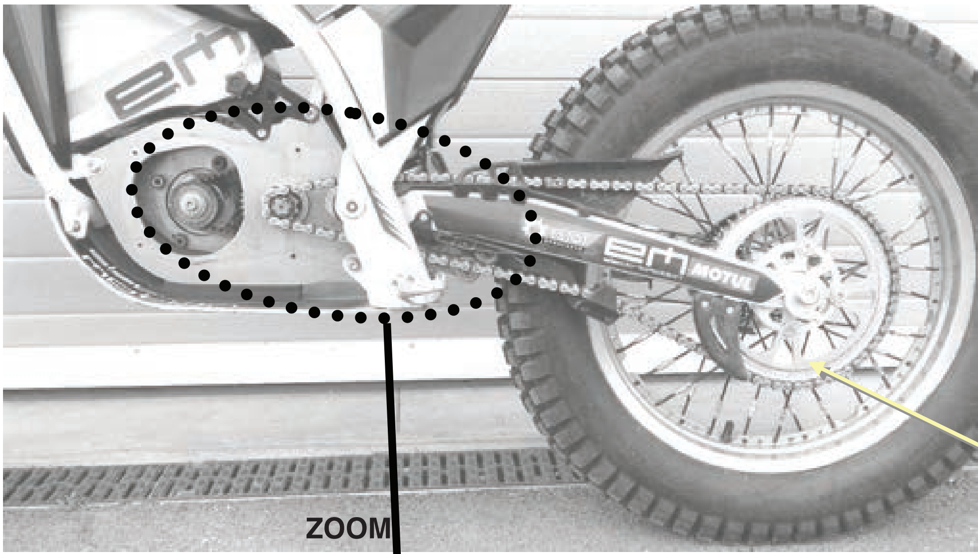
Le contrôleur

Dans une motorisation électrique le contrôleur joue le même rôle que le carburateur pour une motorisation thermique, et constitue le cerveau de la propulsion, afin de :
- contrôler la puissance maximum,
- paramétrer l'accélération,
- paramétrer le frein moteur,
- gérer le comportement du véhicule,
- récupérer l'énergie.

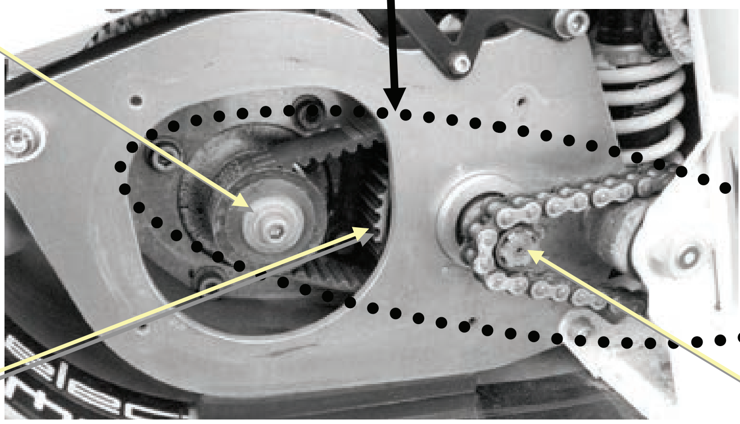
3. Transmission

La moto est équipée de 2 transmissions en série, la transmission PRIMAIRE par courroie crantée, et la transmission SECONDAIRE par chaîne.
A partir des rapports suivants :

Courroie primaire :	Z_{P1} = 20 dents	Z_{P2} = 44 dents
Chaine secondaire :	Z_{S1} = 9 dents	Z_{S2} = 57 dents



Transmission



2. Vérification de la vitesse de la moto

Problématique : *bien que la moto soit un modèle trial, une vitesse minimale doit être atteinte pour un minimum de confort lors des courts déplacements. Nous allons vérifier cette performance.*

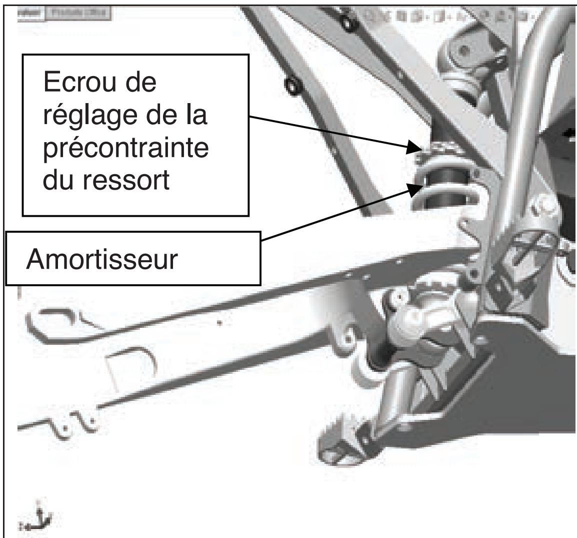
Le rayon de la roue arrière est R_1=345mm (pneu compris)

La fréquence de rotation maxi du moteur vaut : N_{max}=4200tr/min

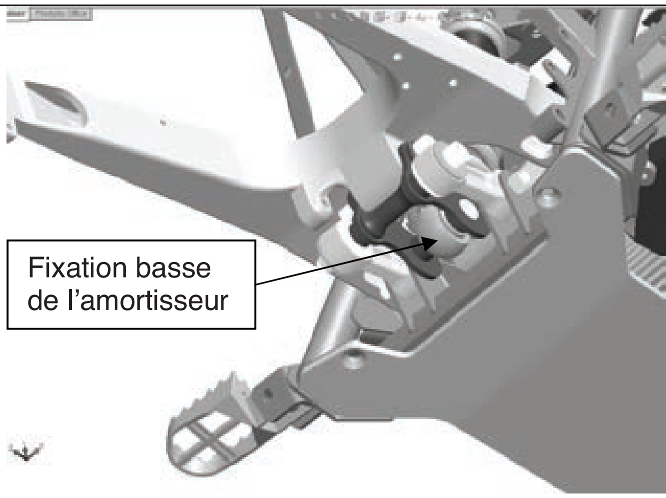
Q1. Déterminer la vitesse de la moto en m/s puis en km/h, conclure vis-à-vis des exigences fonctionnelles.

3. Vérification des performances de la suspension

Problématique : *justifier le choix par le constructeur de l'amortisseur arrière et de son réglage.*

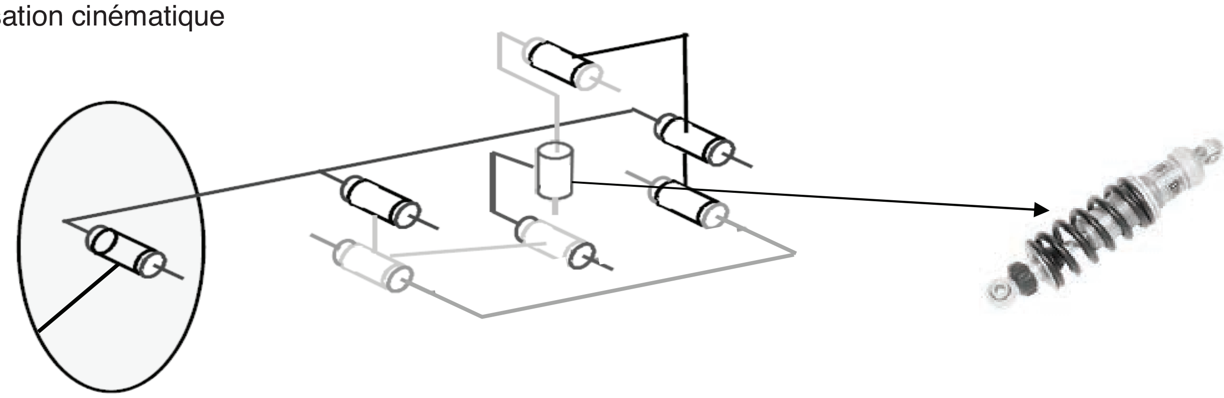


Vue de coté de la moto



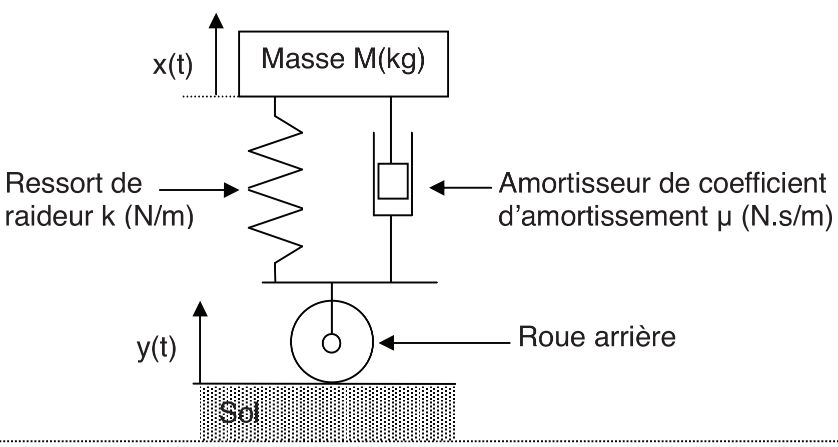
Vue de dessous

Modélisation cinématique



1. Modélisation

Dans une première approche nous allons modéliser la suspension de la façon suivante :



On suppose que l'origine de x(t) correspond à la situation où la moto roule avec un pilote dessus, en l'absence de défaut de la route. y(t) caractérise le profil de la route.
L'équation de la résultante dynamique appliquée à la masse donne donc :

$$M.\ddot{x}(t) = -k.[x(t) - y(t)] - \mu.[\dot{x}(t) - \dot{y}(t)]$$

On notera f(t) en temporel, et F(p) sa transformée dans le domaine de Laplace.

Q2. **Exprimer la fonction de transfert de l'amortisseur** $H(p) = \dfrac{X(p)}{Y(p)}$ **sous forme canonique.**

Pour la suite, on néglige le terme en p du numérateur.

Q3. **Déterminer la pulsation propre du système ω_0, le gain Ka et le facteur d'amortissement z en fonction de M, k et μ.**

Lors de l'étude de l'équilibre de la moto, la masse de l'ensemble est répartie équitablement entre la roue avant et la roue arrière. On donne la masse M=70kg de l'ensemble comprenant la moitié de la masse moto+pilote, et la raideur du ressort k=70000N/m.

Q4. **Choisir le coefficient d'amortissement μ pour avoir un temps de réponse à 5% minimal.**

2. Réponse de la suspension à un obstacle

La moto rencontre un obstacle modélisé par un échelon y_0 de 50 mm du profil de la route. On cherche à en tracer la réponse.

Données numériques :
On donne M=70kg, k=70000N/m et μ=3000N.s/m

$$M.\ddot{x}(t) = -k.[x(t) - y(t)] - \mu.[\dot{x}(t) - \dot{y}(t)] + k.y_0$$

Q5. **Déterminer a, b et c numériquement tel que :** $\ddot{x}(t) = a.\dot{x}(t) + b.x(t) + c$

Pour tracer la réponse, nous allons utiliser la fonction **odeint** pour python ou **ode** pour scilab.

Rappel de l'utilisation de odeint du langage Python

On considère une fonction vectorielle $X(t) = \begin{bmatrix} x(t) \\ x'(t) \end{bmatrix}$, on a alors $X'(t) = \begin{bmatrix} x'(t) \\ x''(t) \end{bmatrix}$

Si par exemple on a à résoudre $\ddot{x}(t) = -2.\dot{x}(t) - 5.x(t)$ alors $X'(t) = \begin{bmatrix} x'(t) \\ -2.x'(t) - 5.x(t) \end{bmatrix}$

Si on utilise un tableau nommé xv (pour x vectoriel), pour représenter X, la fonction x sera représentée par xv[0], et la dérivée x' par xv[1].
La fonction f(xv, t) décrivant le lien entre X' et X est alors la fonction python suivante :

```
def f(xv,t) :
        return [ xv[1] , -2*xv[1] -5*xv[0] ]
```

La syntaxe de la commande odeint(f,x0,t) est :

- la fonction f est une fonction à deux arguments dont le deuxième est le temps
- on doit indiquer une condition initiale donnant la valeur de X en t_0, $x(t_0) = x_0$ et $\dot{x}(t_0) = \dot{x}_0$
- t=[t_0, t_1,…..,t_n] est un tableau de type numpy.array

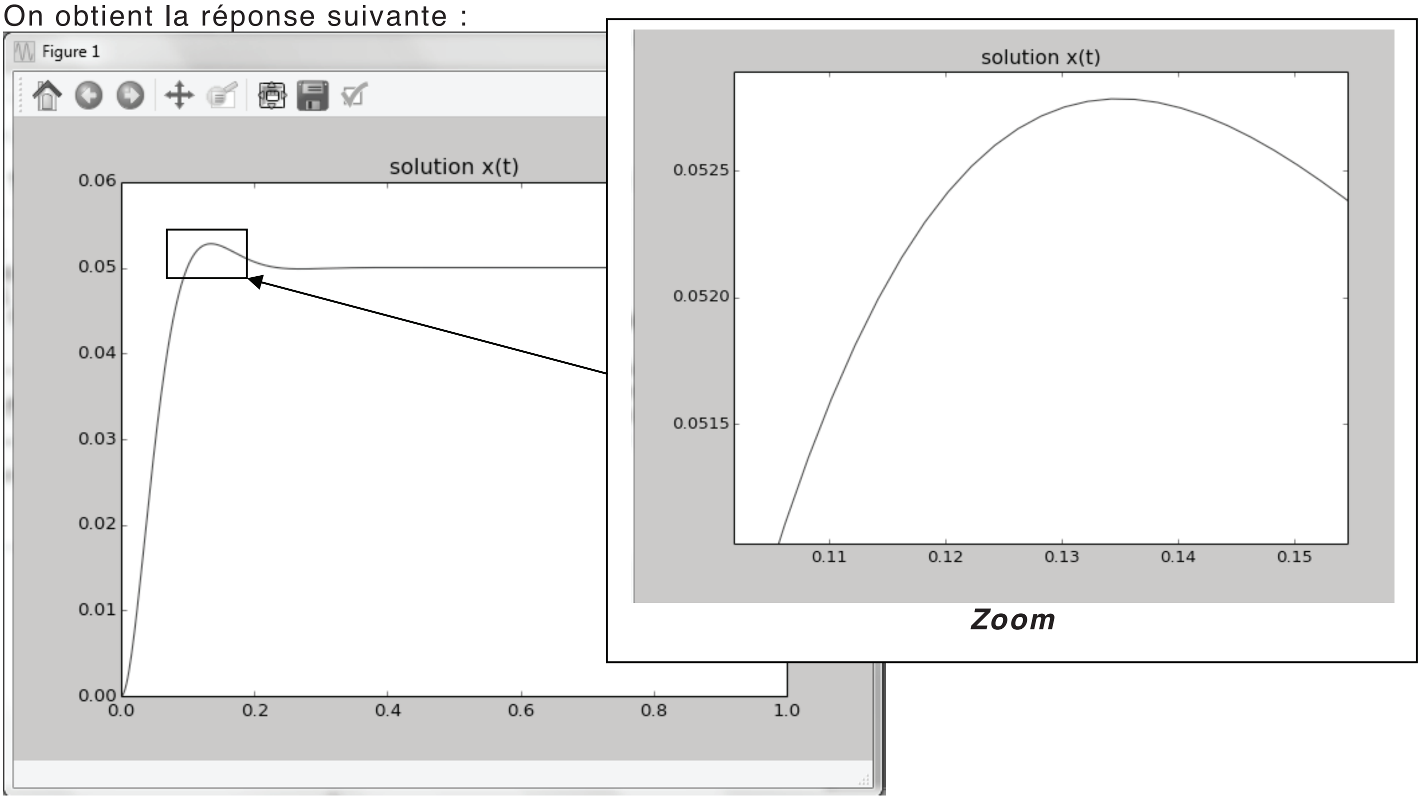
Rappel de la fonction **linspace** :
numpy.linspace (*point de départ, point d'arrivée*, *nombre de points*)

On souhaite une simulation sur une durée de 1s avec 500points de calculs.

On donne sur le **document réponse 1** le programme partiel qui à partir d'une équation différentielle, trace la solution.

Q6. Compléter le programme sur le document réponse 1 en python ou en scilab.

On obtient la réponse suivante :



Q7. Evaluer le temps de réponse à 5% et conclure quand au choix de l'amortisseur avec cette modélisation.

4. Limite au basculement de la moto

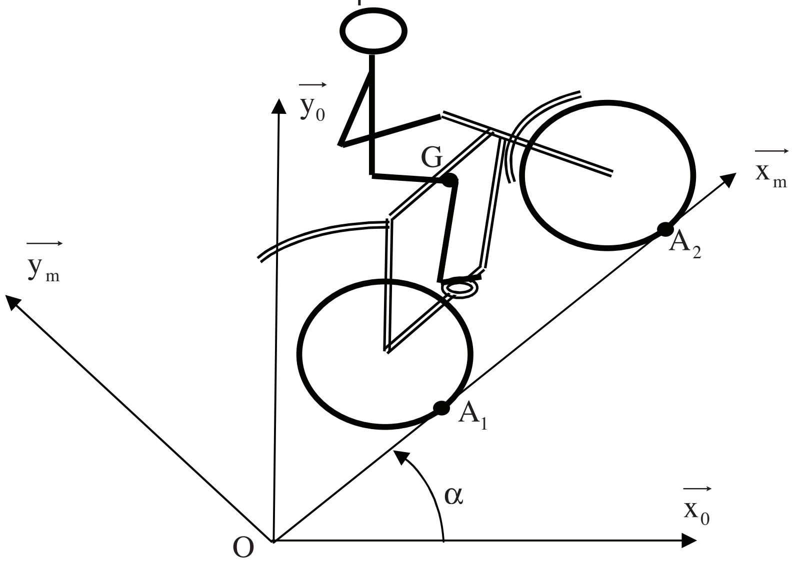
Problématique : *montrer l'intérêt d'un centre de gravité bas*

Soit G le centre de gravité de l'ensemble ∑={moto + pilote}
Soit M la masse de l'ensemble ∑.
On donne $\overrightarrow{A_1A_2} = L.\overrightarrow{x_m}$, $\overrightarrow{A_1G} = c.\overrightarrow{x_m} + d.\overrightarrow{y_m}$., $\overrightarrow{OA_1} = a.\overrightarrow{x_m}$
Soit l'angle $\alpha = (\overrightarrow{x_0}, \overrightarrow{x_m}) = (\overrightarrow{y_0}, \overrightarrow{y_m})$ l'inclinaison du sol par rapport à l'horizontale sur lequel la moto est posée.

Hypothèses :
On suppose qu'il y aura basculement avant glissement de la roue arrière.
Le contact des roues avec le sol s'effectue avec adhérence. Le facteur de frottement est f=tan φ.
Les actions du sol sur les roues sont donc modélisées par le torseur suivant :

$$\{F_{(sol \to \Sigma)}\} = \left\{ \begin{array}{l} \overrightarrow{R_{sol \to \Sigma}} = Ti.\overrightarrow{x_m} + Ni.\overrightarrow{y_m} \\ \overrightarrow{M_{(Ai, sol \to \Sigma)}} = \vec{0} \end{array} \right\}_{Ai}$$

On suppose la moto à l'arrêt et freinée donc l'étude est une étude statique.



Q8. Réaliser le bilan des actions mécaniques extérieures appliquées à ∑ sous forme de torseurs.

Q9. Ecrire les 3 équations scalaires issues de l'application du PFS à ∑ dans la base $B_m=(\overrightarrow{x_m}, \overrightarrow{y_m}, \overrightarrow{z_m})$, on calculera les moments des forces en A_1 .

Q10. Déterminer à la limite du basculement (rupture du contact en A_2), une relation exprimant tan α=f(c, d).

Q11. Calculer dans ce cas le produite scalaire: $\overrightarrow{A_1G}.\overrightarrow{x_0}$ et conclure.

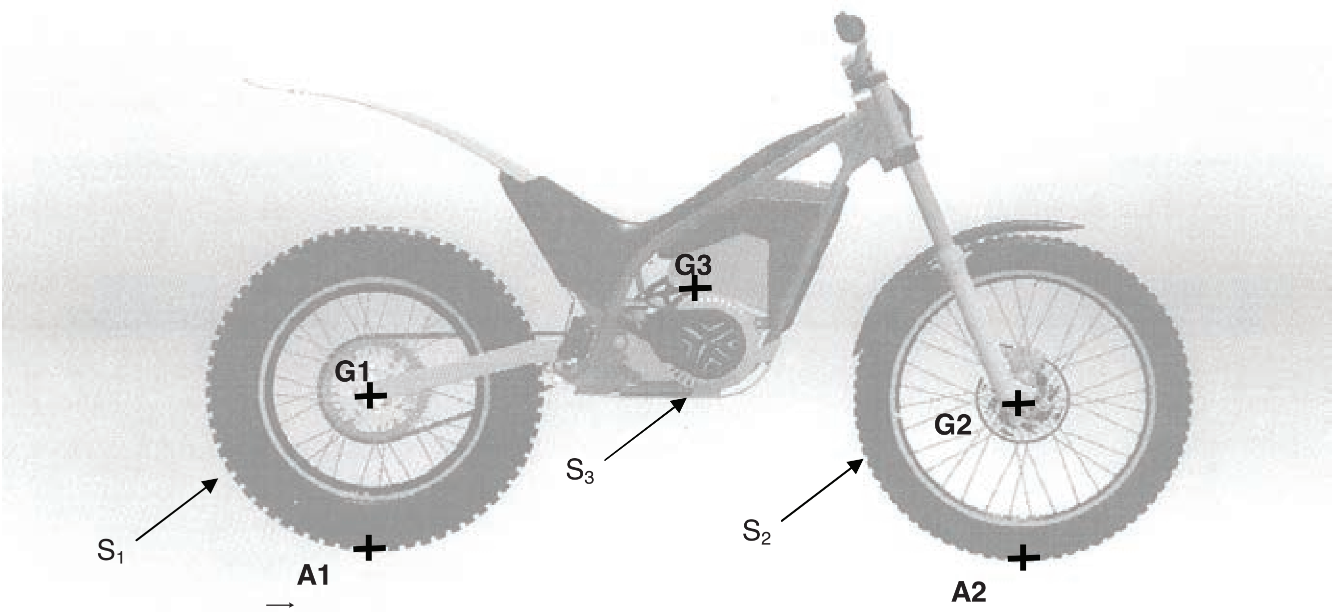
Q12. Quelle est la valeur minimale de φ dans cette situation pour assurer l'adhérence ?

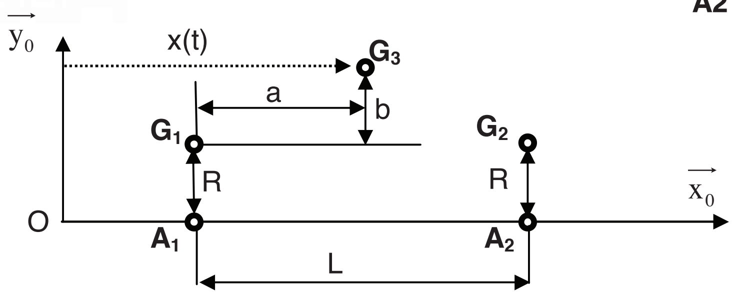
Dans le cas d'une moto de trial, le centre de gravité est très bas.

Q13. Expliquer l'intérêt d'abaisser le centre de gravité par rapport à un franchissement où l'inclinaison α est grande.

5. Vérification du couple transmissible par le moteur

Problématique : *nous cherchons à évaluer si le couple moteur est suffisant pour mettre la moto en mouvement sur la roue arrière (wheeling) sans effort du pilote lors d'une approche d'obstacle.*





La moto est modélisée par 3 solides, la roue arrière S_1, la roue avant S_2 et l'ensemble cadre-moteur-pilote S_3. Les roues sont en liaison avec le cadre par des liaisons pivot parfaites.

On suppose le problème plan $(O, \overrightarrow{x_0}, \overrightarrow{y_0})$ dans le repère $R_0(O, \overrightarrow{x_0}, \overrightarrow{y_0}, \overrightarrow{z_0})$, $\overrightarrow{x_0}$ étant horizontal.

Roue arrière S_1 : masse m_1, de rayon R et de centre de masse G_1 et de moment d'inertie J_1
Roue arrière S_2 : masse m_2, de rayon R et de centre de masse G_2 et de moment d'inertie J_2
Ensemble S_3 : masse m_3, centre de masse G_3

On repère la position de la moto par le paramètre x(t) correspondant à l'abscisse de G_3.
On désigne par θ_i l'angle de rotation de la roue i par rapport au repère R_3 lié à S_3.

Le moteur M_e exerce sur la roue arrière par la transmission complète, un couple C_{m1} pouvant être modélisé par le torseur suivant :

$$\left\{F_{(Me\rightarrow S_1)}\right\} = {}_{G_1}\left\{\begin{array}{l} \overrightarrow{R_{M_e\rightarrow S1}} = \vec{0} \\ \overrightarrow{M_{(G_1, Me\rightarrow S1)}} = -C_{m1}.\vec{z} \end{array}\right\}$$

$$\left\{F_{(sol\rightarrow Si)}\right\} = {}_{Ai}\left\{\begin{array}{l} \overrightarrow{R_{sol\rightarrow Si}} = Ti.\overrightarrow{x_0} + Ni.\overrightarrow{y_0} \\ \overrightarrow{M_{(Ai, sol\rightarrow Si)}} = \vec{0} \end{array}\right\}$$

Le contact roue i /sol se fait par des liaisons ponctuelles avec frottements aux points Ai. Les actions du sol sur les roues sont modélisées par le torseur suivant :

Hypothèses :

- On suppose dans un premier temps que les deux roues sont en contact avec le sol et que ce contact roue/sol aux points A_1 et A_2 se fait sans glissement.
- La moto est en mouvement de translation rectiligne.

Q14. Déterminer l'expression littérale de la vitesse $\overrightarrow{V_{(A_1 \in S_1/S_3)}}$ **.**

Q15. Déterminer l'expression littérale de la vitesse $\overrightarrow{V_{(A_1 \in S_3/R_0)}}$ **en fonction de** $\dot{x}(t)$

Q16. En exprimant le roulement sans glissement au point A_1, en déduire une relation entre $\dot{x}(t)$ **et** $\dot{\theta}_1(t)$ **puis entre** $\ddot{x}(t)$ **et** $\ddot{\theta}_1(t)$ **.**

Q17. Déterminer les expressions littérales des accélérations $\overrightarrow{A_{(G_1 \in S_1/R_0)}}$ **,** $\overrightarrow{A_{(G_2 \in S_2/R_0)}}$ **et** $\overrightarrow{A_{(G_3 \in S_3/R_0)}}$ **.**

Q18. Déterminer l'expression littérale du moment dynamique $\overrightarrow{\delta_{(G_1 \in S_1/R_0)}}$ **.**

Q19. En déduire l'expression littérale du moment dynamique $\overrightarrow{\delta_{(G_3 \in S_1/R_0)}}$ **.**

Q20. Déterminer l'expression littérale du moment dynamique $\overrightarrow{\delta_{(G_2 \in S_2/S_0)}}$ **puis en déduire le moment dynamique** $\overrightarrow{\delta_{(G_3 \in S_2/R_0)}}$ **.**

Q21. Après avoir déterminé le moment dynamique $\overrightarrow{\delta_{(G_3 \in S_3/R_0)}}$ **., en déduire l'expression du torseur dynamique de l'ensemble ∑={S_1,S_2,S_3} par rapport au repère R_0.**

Q22. Etablir le bilan des actions mécaniques extérieures appliquées au système ∑ isolé, sous forme de torseur.

On donne les 3 équations issues du principe fondamental de la dynamique :

$$(m_1 + m_2 + m_3)\ddot{x} = T_1 + T_2$$

$$N_1 + N_2 - (m_1 + m_2 + m_3)g = 0$$

$$J_1.\ddot{\theta}_1 + J_2.\ddot{\theta}_2 + b.\ddot{x}.(m_1 + m_2) = g.[a.m_1 + (a-L).m_2] + (b+R).(T_1 + T_2) - a.N_1 + (L-a).N_2$$

Notre recherche se base sur une situation de début de wheeling (moto en appui uniquement sur la roue arrière)

Hypothèses :

- on suppose que l'angle que fait la moto avec le sol pendant le début de wheeling est constant et très petit ;
- on suppose que l'inertie de la roue arrière vaut $J_1=m_1.R^2$;
- on prendra a=L/2, b=L/4
- on suppose que la roue 2 ne tourne plus soit $\dot{\theta}_2 = 0$

Q23. Simplifier les trois équations à l'instant où la moto commence le wheeling.

La condition de roulement sans glissement au point nous donne : $-R.\ddot{\theta}_1 = \ddot{x}$

On donne les valeurs numériques suivantes :
m_1=9kg, m_2=7kg, m_3= 54kg, $R=R_1=R_2$=0.34m, a=L/2, b=L/4, L=1300mm

Q24. Déterminer l'accélération de la moto $\ddot{x}$ dans ce cas en fonction de R, m_1, m_2, m_3, g, et L, donner ensuite le résultat de l'application numérique.

On donne le facteur d'adhérence roue/sol : f.

Q25. Déterminer f_{min} en fonction de $\ddot{x}(t)$ pour assurer le non glissement de la roue arrière par rapport au sol en A_1.

Détermination du couple moteur nécessaire : on prendra $x^{\bullet\bullet} = 10\ m/s^2$ pour la suite.

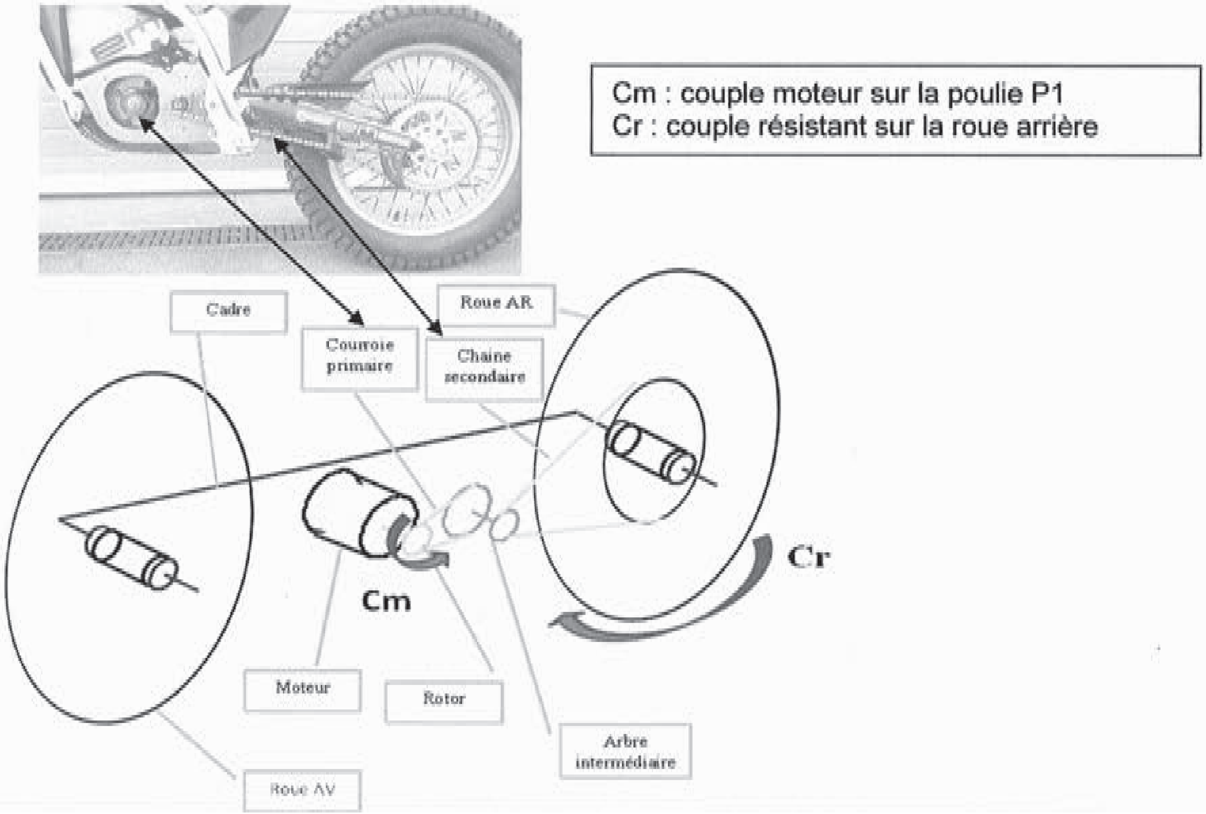
Q26. Après avoir isolé S1, déterminer l'équation de moment dynamique en projection sur l'axe z en G_1.

Q27. En déduire l'expression du couple C_{m1} (couple exercé sur la roue arrière) littéralement en fonction de $\ddot{x}(t)$, puis réaliser l'application numérique.

Q28. A partir des caractéristiques de la transmission, déterminer le couple moteur C_m correspondant et en déduire si le pilote doit exercer une action sur le guidon pour réaliser un wheeling ou non.

6. Influence de la pente sur la vitesse maxi de la moto

Problématique : Modélisation du système de motorisation et influence de la pente sur l'accélération et la vitesse maxi



Composant	Données		
Moto +Utilisateur	Mmu= 170 kg		
Roue AV	Inertie : J_{av} =0.8 kg.m^2	Diamètre : 690mm	
Roue AR	Inertie : J_{ar} =1 kg.m^2	Diamètre : 690mm	
Rotor	Inertie : J_r =0.006kg.m^2	Diamètre : 155mm	
Arbre intermédiaire	Inertie :J_{int} = 0.0017 kg.m^2		
Courroie primaire :	Z_{p1} = 20	Z_{p2} =44	Rapport de transmission : K1 = 0.45
Chaine secondaire :	Z_{s1} = 9	Z_{s2} =57	Rapport de transmission : K2 = 0.16
Moteur synchrone, assimilable à un MCC :	Rm= 0,15 Ohm Lm=60 mH Constantes du moteur : Ke=0,12 V/rad/s Km=0.12 N.m/A K=Km=Ke	Intensité maxi : 100A en régime permanent 220A en pic	U=48V
Batterie :	I max=220A U=48V		

Le pilote demande une consigne en tension Uc au moteur à l'aide de la poignée d'accélérateur (comprise entre 0 et 48V). Le moteur va donc créer sur la poulie P1 un couple Cm. On souhaite connaitre la vitesse à laquelle peut aller la moto en fonction de la pente. On aura donc, une consigne uc(t) en volt et une réponse ω_m (t) en rad/s.

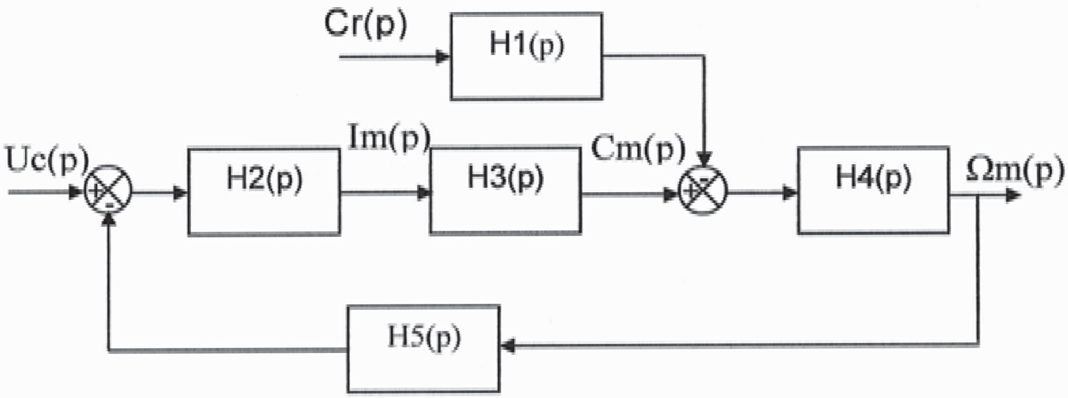
On se placera dans différents cas :

- Sur le plat : Cr=0 Nm
- Sur une faible pente (20%) : Cr = 110 Nm
- Sur une forte pente (40%) : Cr = 210 Nm

Hypothèses :

- on suppose que les roues de la moto restent en contact avec le sol, sans glisser.
- on appelle l'ensemble Σ={Moto+Pilote+roueAV+roueAR+Arbre intermédiaire+Rotor}

Le schéma bloc suivant modélise la commande en vitesse du moteur :



Q29. Après avoir calculé l'énergie cinétique de l'ensemble Σ, calculer le moment d'inertie équivalent de Σ ramené sur l'arbre du moteur Jeq.

Q30. Calculer les puissances extérieures et intérieures à Σ en fonction de la vitesse de rotation du moteur ω_m et des rapports de transmission.

Tournez la page S.V.P.

Q31. A partir du théorème de l'énergie cinétique appliqué à Σ, établir la relation entre Cm, Cr, Jeq, K1, K2 et $\dot{\omega}_m$.

Q32. En déduire les fonctions de transfert H4(p) et H1(p) littéralement.

Pour la suite du sujet, on prendra Jeq = 0,1 kg.m^2

On assimile ce moteur brushless à un moteur à courant continu. Les équations du comportement du moteur sont donc :

$$u_m(t) = R_m . i_m(t) + L_m . \frac{di_m(t)}{dt} + e(t) \quad ; \quad e(t) = Ke.\omega_m(t) \; ; \; C_m(t) = Km.i(t)$$

Q33. En déduire les fonctions de transfert : H2(p), H3(p) et H5(p).

Q34. Montrer que l'on peut écrire $\Omega_m(p)$ sous la forme : $\Omega_m(p) = H_u(p).Uc(p) - H_{Cr}(p).Cr(p)$.
Pour cela, expliciter Hcr(p) et Hu(p) en fonction des H1(p), H2(p), …H5(p)

Q35. Dans le cas ou Cr(p) =0, déterminer la fonction de transfert du moteur en Boucle Fermée
$H_U(p) = \left(\frac{\Omega_m(p)}{U_c(p)}\right)$ **sous la forme :** $H_u(p) = \dfrac{Kv}{1 + \dfrac{2\,z}{\omega_0} p + \dfrac{1}{\omega_0^2} p^2}$

Q36. Calculer les valeur littérales de Kv, z et ω_0, puis faire l'application numérique.

Pour la suite on prendra des valeurs constructeur suivantes : z=0.8 et $\omega_0 = 1.55 rad.s^{-1}$

Q37. De quel ordre est ce système ? Calculer le temps de réponse à 5% et la valeur du premier dépassement de ce système à l'aide des abaques fournis en annexe 1. Conclure vis-à-vis des exigences fonctionnelles.

On rappelle la relation de la pseudo-période T d'une réponse indicielle d'un système de 2nd ordre :

$$T = \frac{2.\pi}{\omega_0 . \sqrt{1 - z^2}}$$

Q38. Compléter sur le document réponse 2 la courbe de réponse en vitesse pour un Cr=0Nm en indiquant sur la courbe les tangentes, le temps du 1°dépassement, le premier dépassement, et le tr5%.

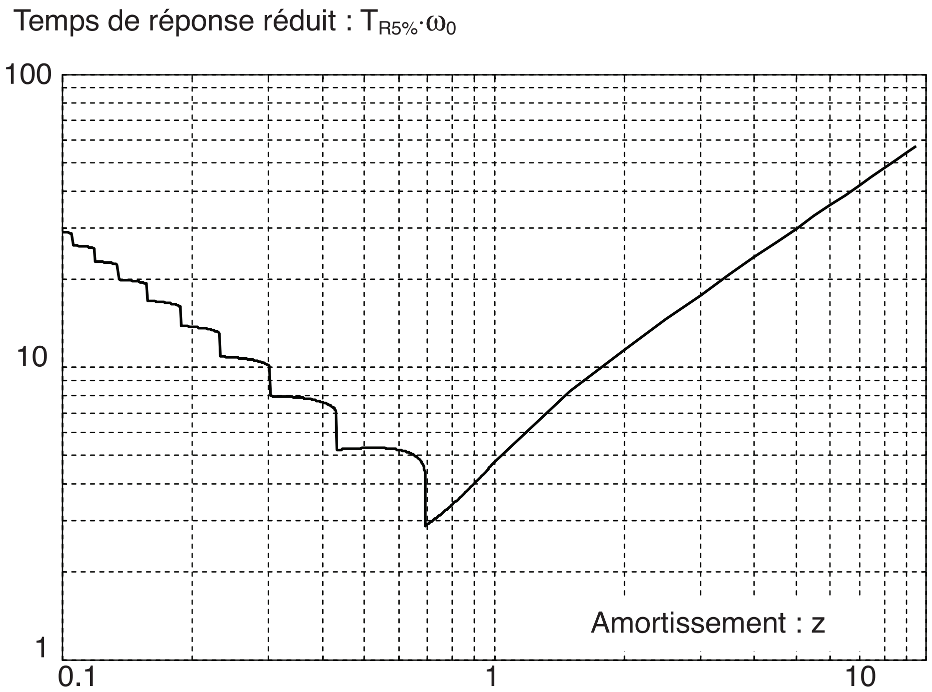
On a sur la courbe du document réponse 2, la réponse à un échelon de commande (accélérateur à fond) de la moto qui roule à plat et pour 2 pentes différentes (20% et 40%).

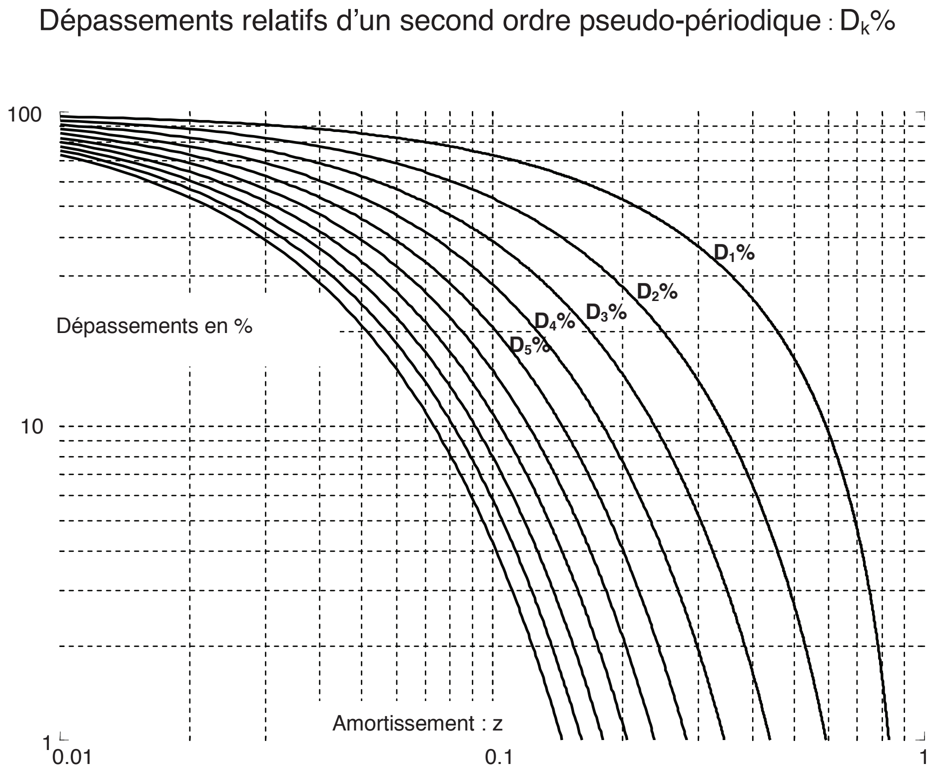
Q39. Le temps d'accélération est-il changé ? Sur quelle valeur influence ce changement de pente ? Conclure vis-à-vis des exigences fonctionnelles.

***** FIN DU QUESTIONNAIRE *****

(En pages suivantes, les documents "annexes")

Annexe :


Temps de réponse réduit : $T_{R5\%}.\omega_0$
100
10
1
0.1
1
10
Amortissement : z


Dépassements relatifs d'un second ordre pseudo-périodique : D_k%
100
10
1
0.01
0.1
1
Dépassements en %
Amortissement : z
D_1%
D_2%
D_3%
D_4%
D_5%

Académie : Session : Modèle EN.
Examen ou Concours : Série* :
Spécialité/option : Repère de l'épreuve :
Épreuve/sous-épreuve :
NOM :
(en majuscules, suivi, s'il y a lieu, du nom d'épouse)
Prénoms :
Né(e) le
N° du candidat
(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

Document réponse 1 :

Python	Scilab	Commentaires
from scipy.integrate import odeint import matplotlib.pyplot as plt import numpy as np # equation d'ordre 2		
1 def f1 (,) : 2 return	function y1=f1(,) y1(1)=xv(2); y1(2)= ; endfunction	# écriture de la fonction qui caractérise l'équation différentielle
3 cond_ini = [,]	t0=0;x0= ; x1= ;	#conditions initiales x(0), x'(0)
4 t = np.linspace(, ,)	t= ;	#déclaration des temps
5 sol = odeint( )	sol=ode( );	#appel de la fonction odeint
6 xsol = sol[:, 0]	xsol=sol(1,:)	#récupération de x
7 plt.plot(, 'r')	clf; plot(,'r')	#affichage de la courbe en rouge
8 titre =	titre=	
9 plt.title(titre)	title(titre)	#affichage du titre « solution x(t) »

B

Tournez la page S.V.P.

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

Document réponse 2 :