

**Question 35 :** en vous aidant des rappels de la note fournie dans le sujet, déterminer la solution de cette équation de récurrence à partir de l'état initial  $i(k.T_e=0)=I_0$  et d'un échelon d'excitation  $i_{ref}(k.T_e)=I_{désiré}.U(k.T_e)$  avec  $U(k.T_e)$  échelon unitaire numérique ( $U(k.T_e)=0 \forall k < 0$  et  $U(k.T_e)=1 \forall k \geq 0$ ) et  $I_{désiré}$  l'amplitude du courant désiré. On donnera le résultat sous la forme  $i(k.T_e)=\text{régime transitoire}+\text{régime permanent}$  (le régime transitoire dépend du numéro d'échantillon  $k$  et le régime permanent est indépendant du numéro d'échantillon  $k$ ) en fonction du numéro d'échantillon  $k$  et de  $I_0, g_F, f_F$  et  $I_{désiré}$ .

**Question 36 :** en analysant le régime transitoire de la solution de l'équation de récurrence déterminer la condition nécessaire et suffisante permettant d'assurer la convergence donc la stabilité de la réponse en courant  $i(k.T_e)$ .

Quels que soient les résultats obtenus précédemment on pose :

$$f_F = -e^{-\frac{T_e}{\tau_0}} + K_S \cdot K_p \cdot \left(1 - e^{-\frac{T_e}{\tau_0}}\right) \text{ avec } K_S = K_i \cdot K_{CAN} \cdot K_{CNA} \cdot K_O$$

**Question 37 :** déterminer le domaine de stabilité de l'asservissement dans le plan  $T_e, K_p$ . On présentera le résultat sous forme de 2 inégalités bornant  $K_p$  en fonction de la période d'échantillonnage  $T_e$  et des paramètres du processus  $K_S$  et  $\tau_0$ .

### 3.2.4 Comparaison du comportement de la commande continu et de la commande numérique

**Question 38 :** comparer le résultat de la question précédente à celui obtenu à la question 27 pour assurer la stabilité dans le cas d'un système continu. Conclure.

**Question 39 :** pour la valeur de  $K_p=120$  retenue dans le cas d'un système continu et pour  $T_e = \frac{\tau_0}{10}$ , le système avec commande numérique est-il stable ?

**Question 40 :** en reprenant les résultats des questions 33 et 34, déterminer le gain statique du système bouclé numérique  $G_{SIN}$  sous forme littérale en fonction de  $K_S$  et  $K_p$ . Comparer  $G_{SIN}$  avec le résultat de  $G_{SIC}$  obtenu à la question 28.

Quels que soient les résultats obtenus précédemment on pose  $T_e = \frac{\tau_0}{10}$  :

- $i(t) = 0,2837 \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau_F}})$ , réponse en courant pour la commande continue ;
- $i(k.T_e) = -0,2837 \cdot (-f_F)^k + 0,2837$ , réponse en courant pour la commande numérique.

**Question 41 :** montrer que ces 2 équations donnent le même résultat pour chaque échantillon  $k$  à l'instant  $k.T_e$ . On pourra transposer à la boucle fermée, les résultats obtenus en boucle ouverte à la question 33.

Pour pouvoir utiliser le résultat d'une synthèse d'un correcteur continu dans une commande numérique un critère impose que la période d'échantillonnage soit telle que  $T_e \leq \frac{\tau_{BF}}{4}$  pour un 1<sup>er</sup> ordre avec  $\tau_{BF}$  la constante de temps du système en boucle fermée étudié.

**Question 42 :** dans le cas de la boucle de courant avec une bande passante à -3dB en boucle fermée  $\omega_{BFI} = 2000 \text{ rad/s}$ , ce critère est-il vérifié ?

**Question 43 :** la transposition de ce correcteur proportionnel dans une commande numérique permet-il un comportement type 1<sup>er</sup> ordre avec gain statique unitaire et une bande passante à -3dB en boucle fermée  $\omega_{BFI} = 2000 \text{ rad/s}$  ?

### 3.3 Synthèse de la boucle de position de la MCC

Suite aux résultats de la partie précédente, le concepteur a modifié l'architecture de commande de la boucle de courant (cf. Figure 17) et propose une 1<sup>ère</sup> structure pour la boucle de position. La synthèse de la commande de la boucle de position sera de type continu, puis transposition pour l'implanter dans l'ECU.

Toutes les non-linéarités sont négligées.

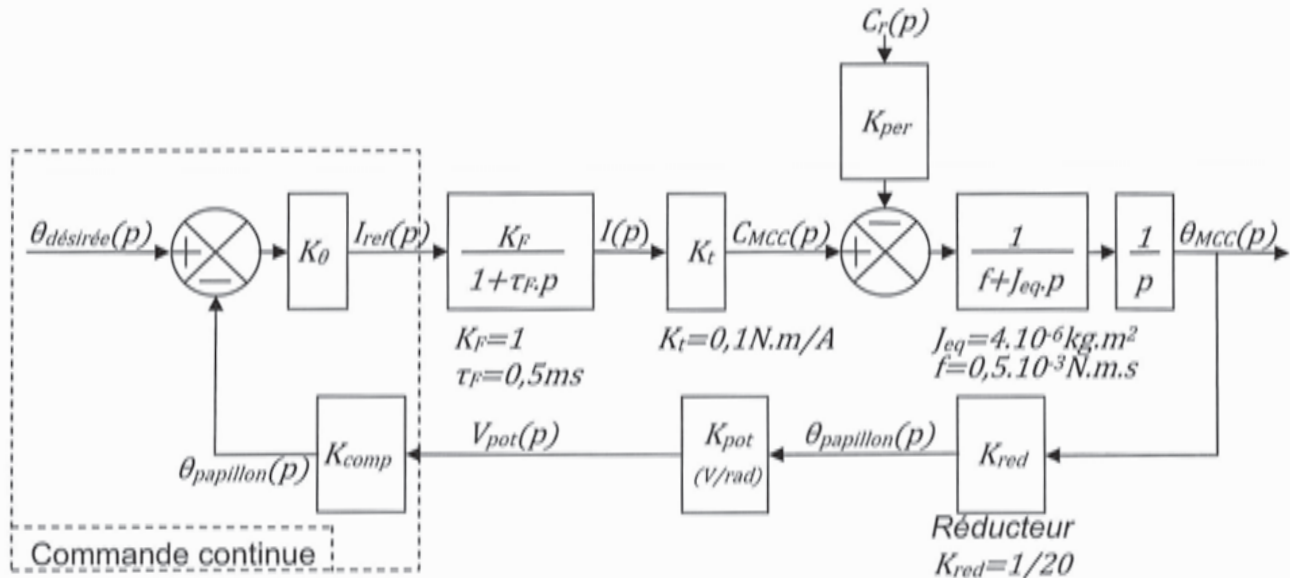


Figure 17 : architecture linéarisée et continue de la boucle de position

Le potentiomètre (cf. Figure 18) monté sur l'axe du papillon possède 2 pistes (utilisées pour des fonctions de diagnostics de défaillances).

La tension d'alimentation du potentiomètre est de 5V correspondant à 100%.

La piste utilisée pour l'asservissement en position du papillon est celle donnant une tension positive pour un angle positif du papillon (IP1).

Les angles caractéristiques du papillon sont :

- $\theta_{\text{papillon}} = 0^\circ$ ; mode défaillance du moteur, puissance limitée permettant de déplacer le véhicule à vitesse lente ;
- $\theta_{\text{papillon}} = 10,5^\circ$ ; papillon complètement fermé ;
- $\theta_{\text{papillon}} = 105^\circ$ ; papillon complètement ouvert.

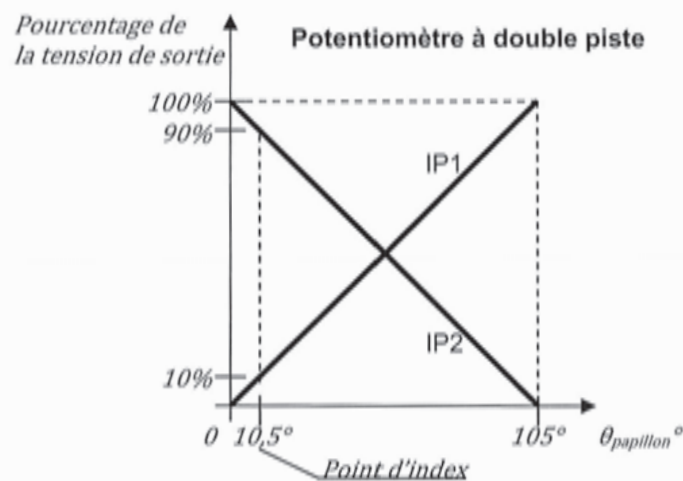


Figure 18 : potentiomètre ; relation % de la tension en sortie en fonction de l'angle du papillon

**Question 44 :** donner le contenu de  $K_{pot}$  sous forme numérique fractionnaire.

**Question 45 :** donner le contenu littéral de  $K_{comp}$  permettant d'avoir un retour homogène à des radians de la position du papillon.

**Question 46 :** donner le contenu littéral de  $K_{per}$  permettant d'avoir la prise en compte de l'effet du ressort de rappel monté sur l'axe du papillon sur le modèle de la boucle de position (cf. Figure 17).

**Question 47 :** en comparant la rapidité désirée pour la boucle fermée de position et les constantes de temps apparaissant dans le système montrer que l'on peut simplifier le schéma bloc de la Figure 17 par le schéma bloc de la Figure 19. Donner le contenu littéral de  $K_1$  et  $K_2$ .

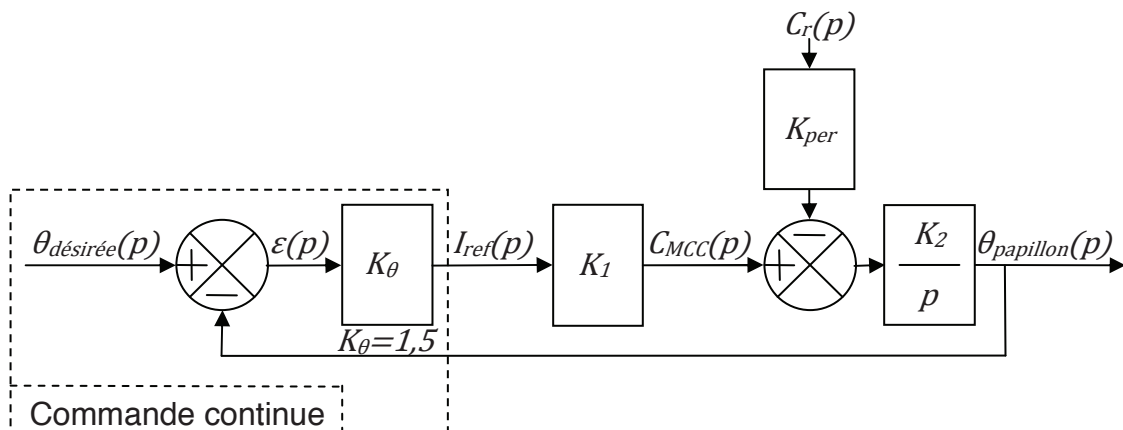


Figure 19 : architecture simplifiée de la boucle de position, correction proportionnelle

**Question 48 :** déterminer les fonctions de transfert en boucle fermée sous forme littérale et canonique en asservissement  $FTBF_A(p) = \frac{\theta_{papillon}(p)}{\theta_{désirée}(p)}$  et en régulation  $FTBF_R(p) = \frac{\theta_{papillon}(p)}{C_r(p)}$  de l'architecture simplifiée de la boucle de position.

**Question 49 :** déterminer l'erreur statique  $\varepsilon_A$  en asservissement en réponse à l'échelon unitaire pour  $\theta_{désirée}(t)$ .

**Question 50 :** déterminer l'erreur statique  $\varepsilon_R$  en régulation en réponse à l'échelon d'amplitude 1,7Nm pour  $C_r(t)$ .

**Question 51 :** le cahier des charges est-il vérifié quant aux critères sur la boucle de position (cf. Diagramme 2) ?

Une 2<sup>nd</sup>e structure pour la boucle de position est proposé à la Figure 20.

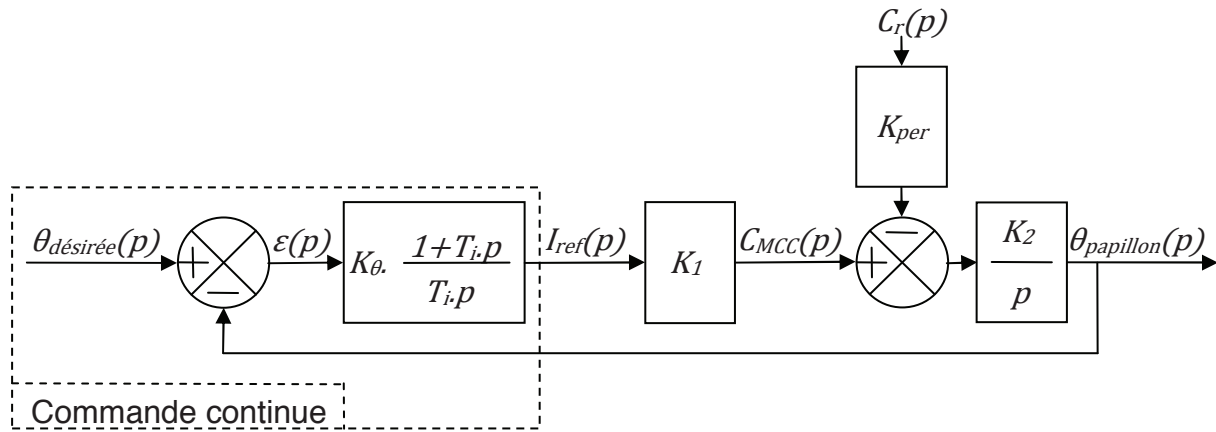


Figure 20 : architecture simplifiée de la boucle de position, correction proportionnelle et intégrale

**Question 52 :** déterminer la nouvelle fonction de transfert en boucle fermée sous forme littérale et canonique en asservissement  $FTBF_A(p) = \frac{\theta_{papillon}(p)}{\theta_{désirée}(p)}$ .

En première approximation on considère que le comportement du système bouclé n'est lié qu'au dénominateur de  $FTBF_A(p) = \frac{\theta_{papillon}(p)}{\theta_{désirée}(p)}$

**Question 53 :** en intervenant seulement sur les paramètres du dénominateur de  $FTBF_A(p) = \frac{\theta_{papillon}(p)}{\theta_{désirée}(p)}$ , déterminer les valeurs numériques de  $T_i$  et  $K_\theta$  permettant de répondre au cahier des charges (cf. Diagramme 2).

Le résultat en simulation correspondant au modèle simplifié de la Figure 20 en réponse à l'échelon unitaire pour  $\theta_{désirée}(t)$  est présenté en Figure 21.

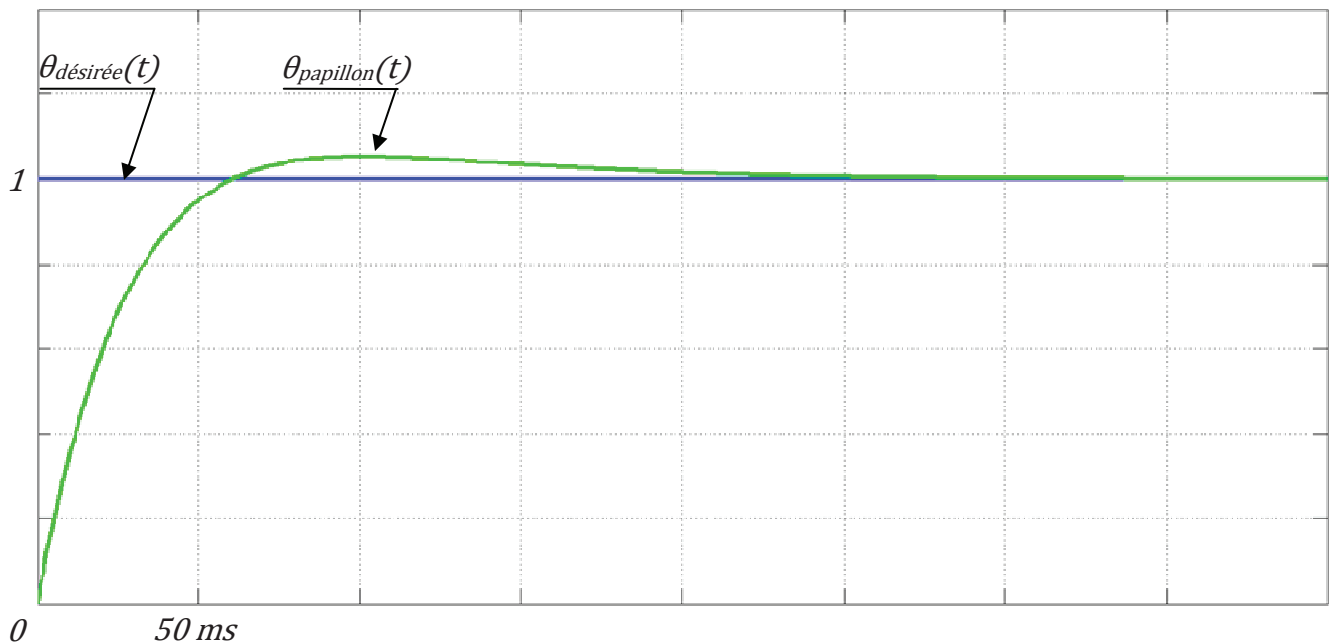


Figure 21 : réponse à l'échelon unitaire de la boucle de position du papillon

**Question 54 :** le résultat de la Figure 21 répond-il au cahier des charges ?

Une 3<sup>ème</sup> structure pour la boucle de position est proposée à la Figure 22.

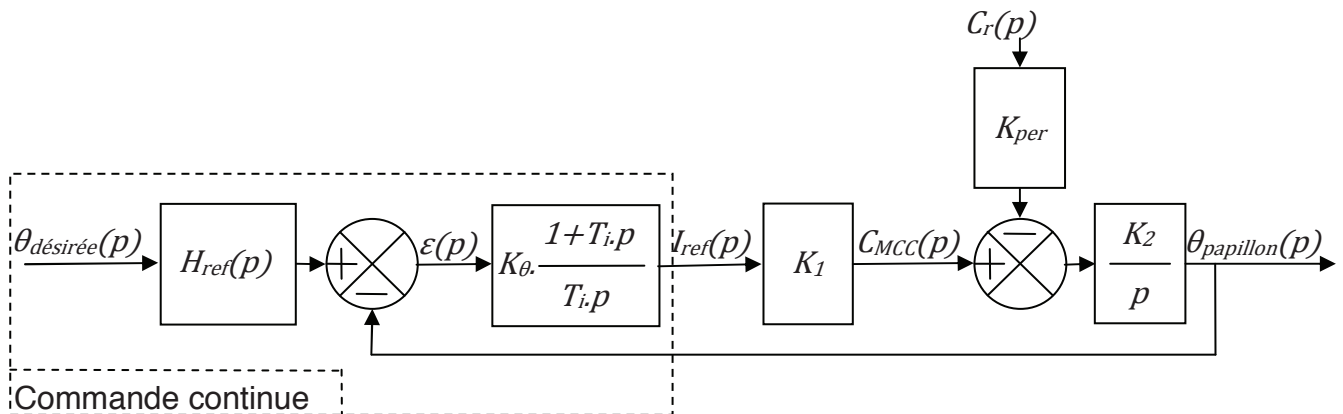


Figure 22 : architecture simplifiée de la boucle de position

**Question 55 :** proposer une transmittance  $H_{ref}(p)$  sous forme littérale et canonique susceptible de permettre une réponse en position du papillon répondant au cahier des charges.

Le comportement du système réel en réponse à l'échelon unitaire est présenté en Figure 23.

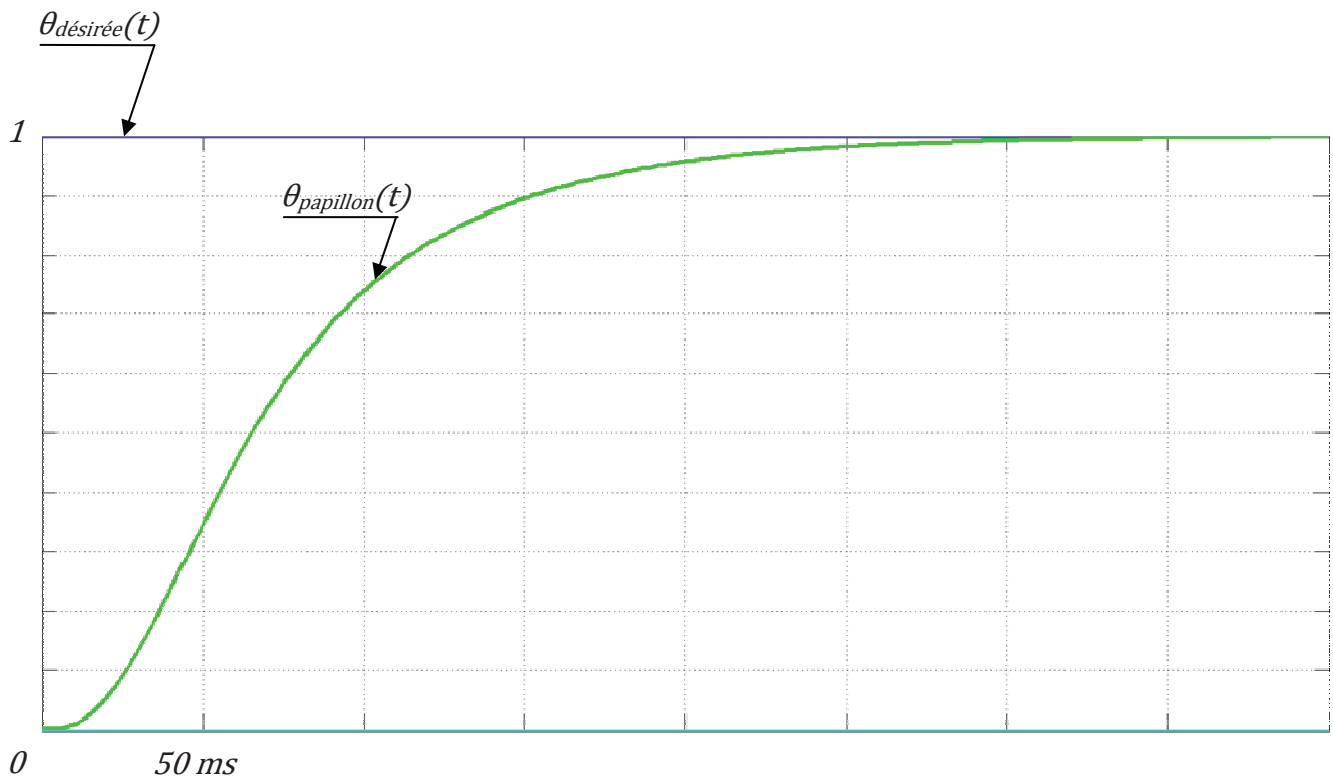


Figure 23 : réponse à l'échelon unitaire de la boucle de position du papillon

**Question 56 :** le résultat de la Figure 23 répond-il au cahier des charges ?

### FONCTION OBD (ON BOARD DIAGNOSIS)

Cette partie a pour objectif de définir certaines parties d'une machine de surveillance et de diagnostic du fonctionnement du boîtier papillon. Le législateur impose une surveillance de certains éléments pour la sécurité des personnes mais aussi le diagnostic des systèmes et composants influençant la composition des gaz d'échappement. Ceci a pour but d'assurer pendant la phase d'utilisation quotidienne du véhicule un taux d'émission conforme.

La fonction OBD (On Board Diagnosis) à implanter fonctionne selon 2 grands modes d'utilisation :

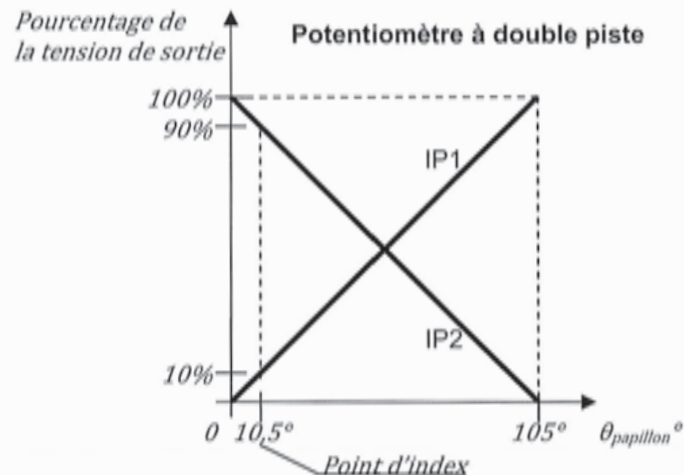
- à la demande d'un démarrage moteur, l'OBD va réaliser sur le boîtier papillon une séquence de test en vue de vérifier certains éléments du boîtier papillon ;
- en mode roulage, la fonction OBD vérifie régulièrement la plausibilité des valeurs de certaines variables du boîtier papillon.

Les variables que maîtrise l'ECU sont associées :

- à la MCC (le courant d'alimentation  $I$  et  $Kt=0,1N.m/A$ ) ;
  - au potentiomètre monté sur l'axe du papillon. Il possède 2 pistes IP1 et IP2.
- Les tensions sur ces 2 pistes sont comprises entre 0 et 5V correspondant de 0 à 100% suivant la position du papillon.

Les angles caractéristiques du papillon sont :

- $\theta_{\text{papillon}}=0^\circ$  ; mode défaillance du moteur, puissance limitée permettant de déplacer le véhicule à vitesse lente ;
- $\theta_{\text{papillon}}=10,5^\circ$  ; papillon complètement fermé, présence d'un point d'index ;
- $\theta_{\text{papillon}}=105^\circ$  ; papillon complètement ouvert.



Un ressort de rappel du papillon applique sur celui-ci un couple de rappel  $C_r=1,7N.m$ .

Un réducteur à engrenages est implanté entre l'axe du papillon et l'axe de la MCC de rapport de réduction  $K_{red} = \frac{\theta_{\text{papillon}}}{\theta_{MCC}} = \frac{1}{20}$ .

Par hypothèse on négligera les frottements pouvant intervenir dans la chaîne cinématique.

**Question 57 :** déterminer le courant  $I_{MCCm}$  de maintien dans la MCC permettant de compenser le couple de rappel du ressort.

La fonction OBD est implantée dans l'ECU à l'aide de 4 machines à états représentées par des diagrammes d'état SysML. La machine à états de haut niveau permet de sélectionner le mode de fonctionnement du moteur (préparation suite à une demande de démarrage, en roulage, en défaut). Une sous-machine à états traite de la séquence de diagnostic en mode préparation au démarrage, une autre traite de la séquence de diagnostic en mode roulage et une troisième de la gestion des défauts.

Tableau 1 : Liste des entrées et mnémoniques associées

Entrées	Mnémoniques
Point d'index à 10,5°	Index
Entrée analogique potentiomètre 1 (exprimée en volt, 0 à 5V)	IP1
Entrée analogique potentiomètre 2 (exprimée en volt, 0 à 5V)	IP2

Tableau 2 : Liste des variables internes et mnémoniques associées

Entrées	Mnémoniques
Phase préparatoire	Pp
Phase roulage	Pr
Valeur mémorisée retour potentiomètre 1 en %	IntP1
Valeur mémorisée retour potentiomètre 2 en %	IntP2
Détection défaut boîtier papillon	DéfautP
Mise à zéro de DéfautP	RAZDéfautP

**Remarque :** Les valeurs mémorisées IntP1 et IntP2 formatées en pourcentage, sont testées égales à la valeur théorique à  $\pm 2\%$  de la pleine échelle.

Tableau 3 : Liste des sorties et mnémoniques associées

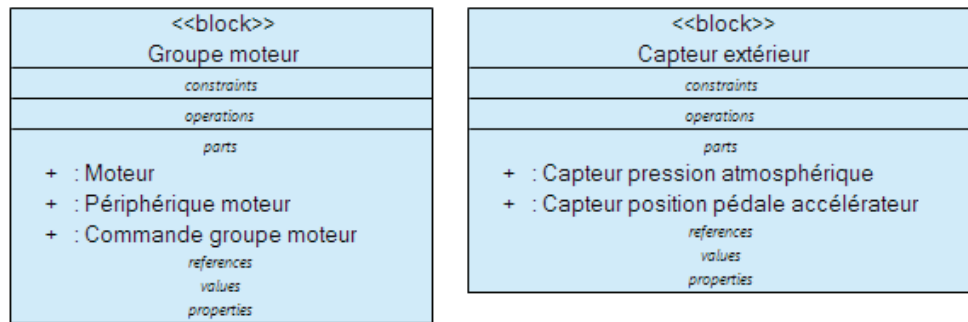
Sorties	Mnémoniques
Coupure alimentation puissance papillon	CoupureP
Référence angle papillon (exprimée en degrés, 0 à 105°)	RefP

**Question 58 :** après lecture des diagrammes SysML des machines à états fournis en ANNEXE, donner la liste des étapes de la séquence de diagnostic du boîtier papillon suite à une demande de démarrage en commençant à l'occurrence de l'évènement Pp.

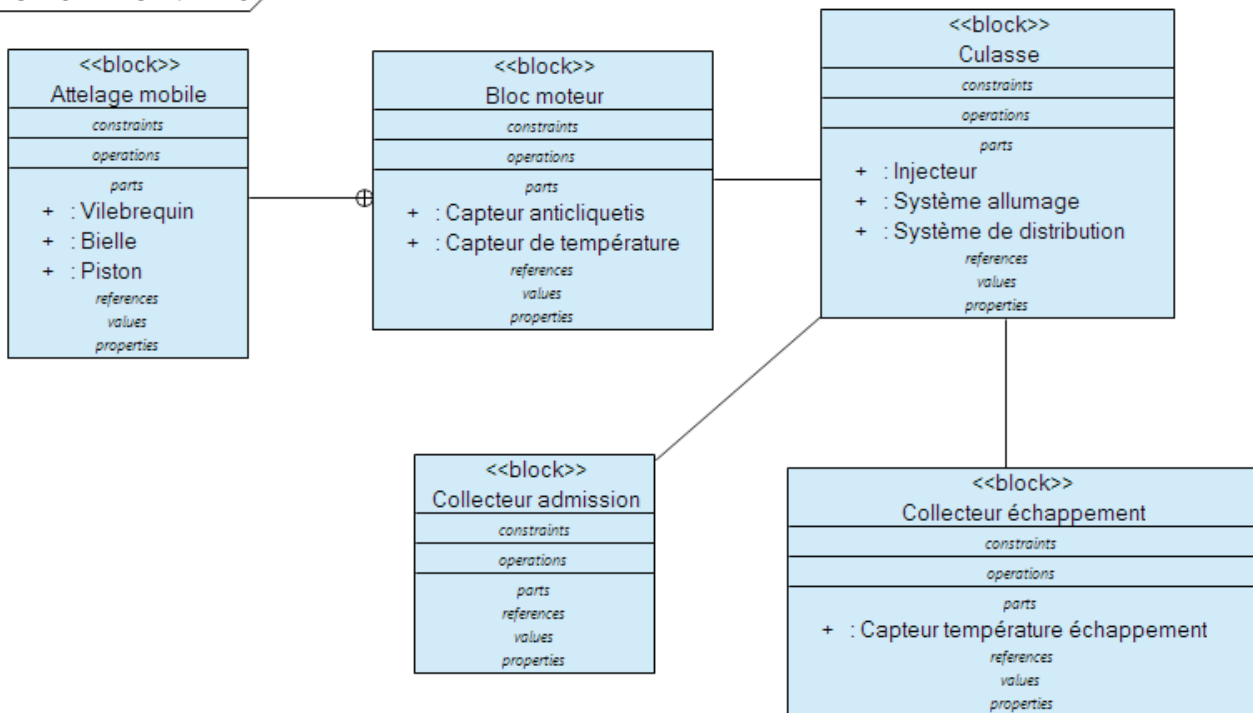




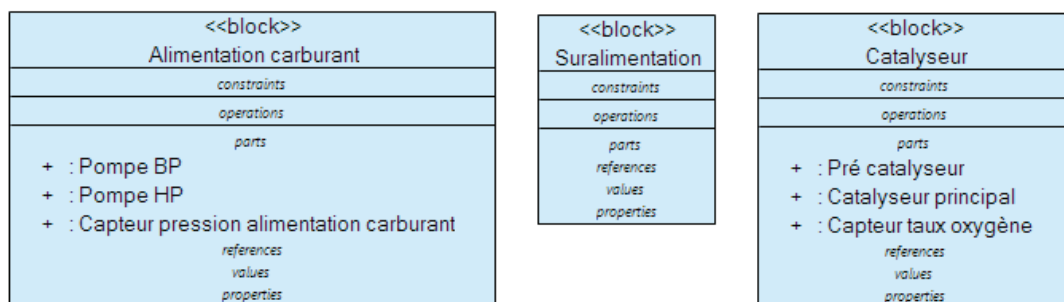
## bdd [package] Groupe moteur essence [Structure générale]



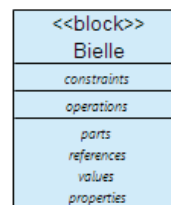
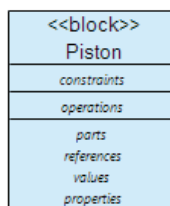
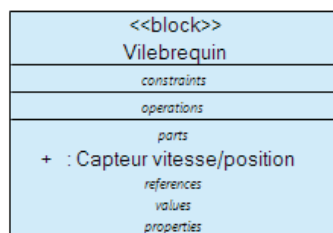
## bdd [block] Moteur [Composants]



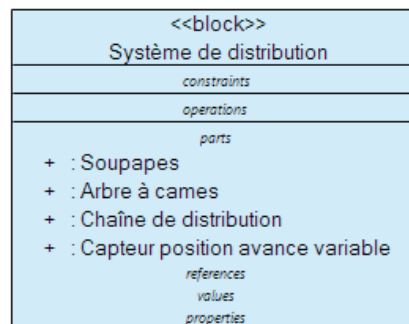
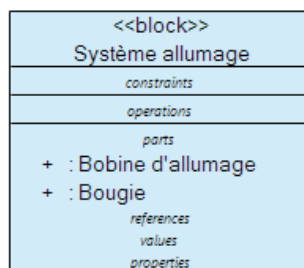
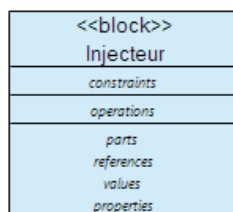
## bdd [block] Périphérique moteur [Composants]



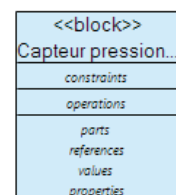
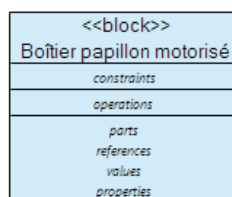
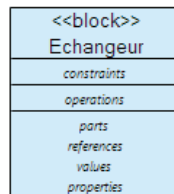
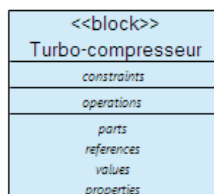
**bdd** [block] Attelage mobile [Composants]

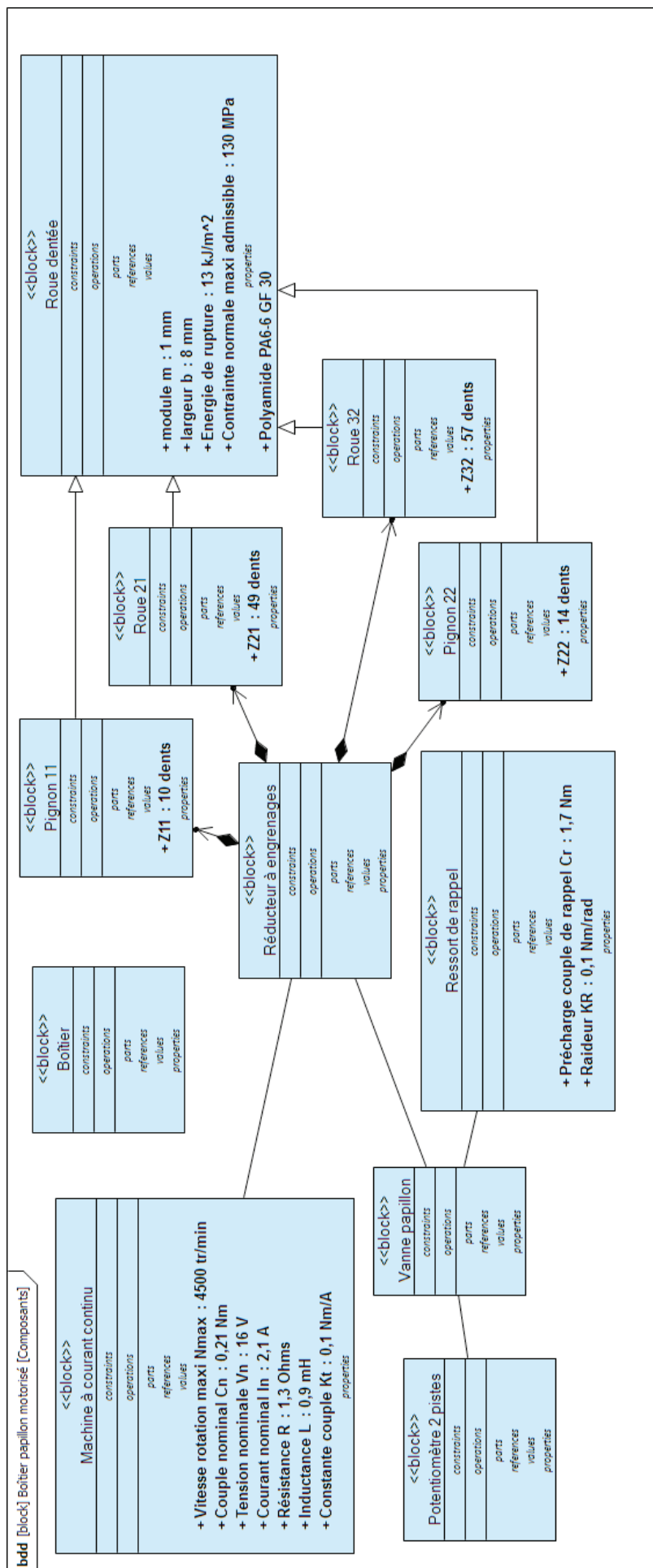


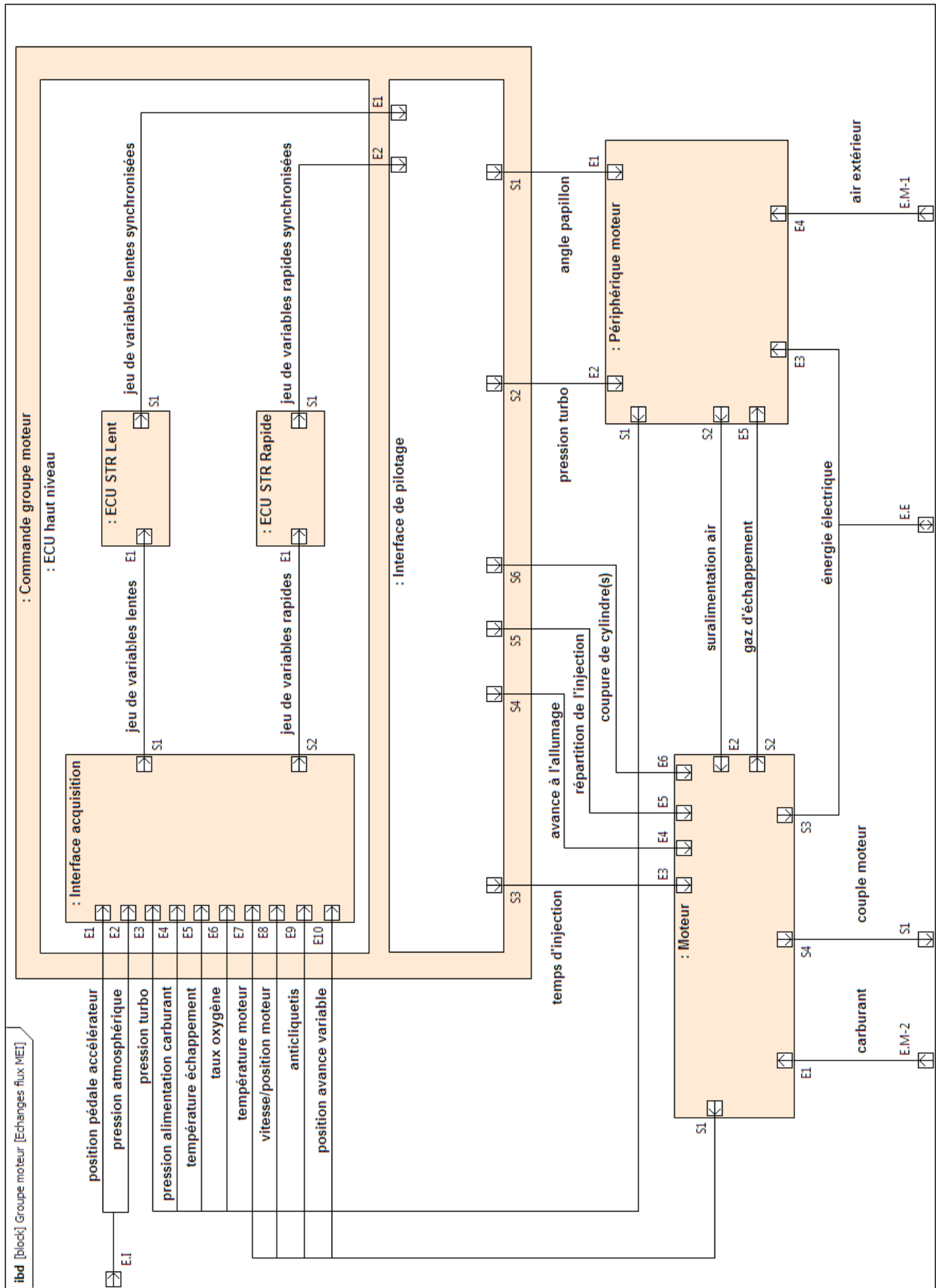
**bdd** [block] Culasse [Composants]

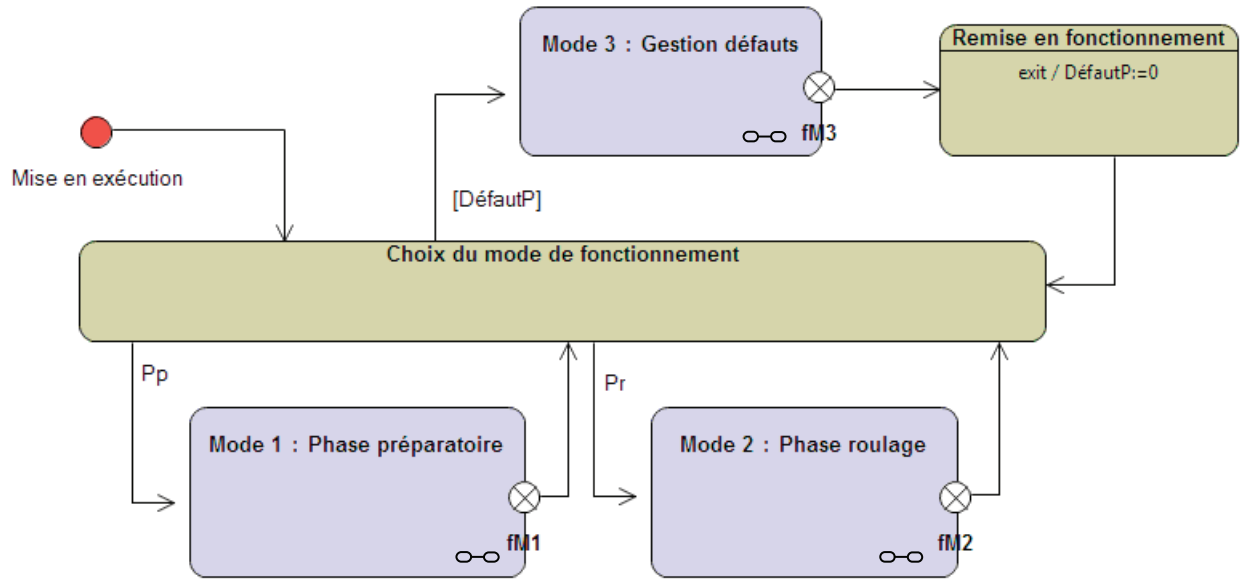


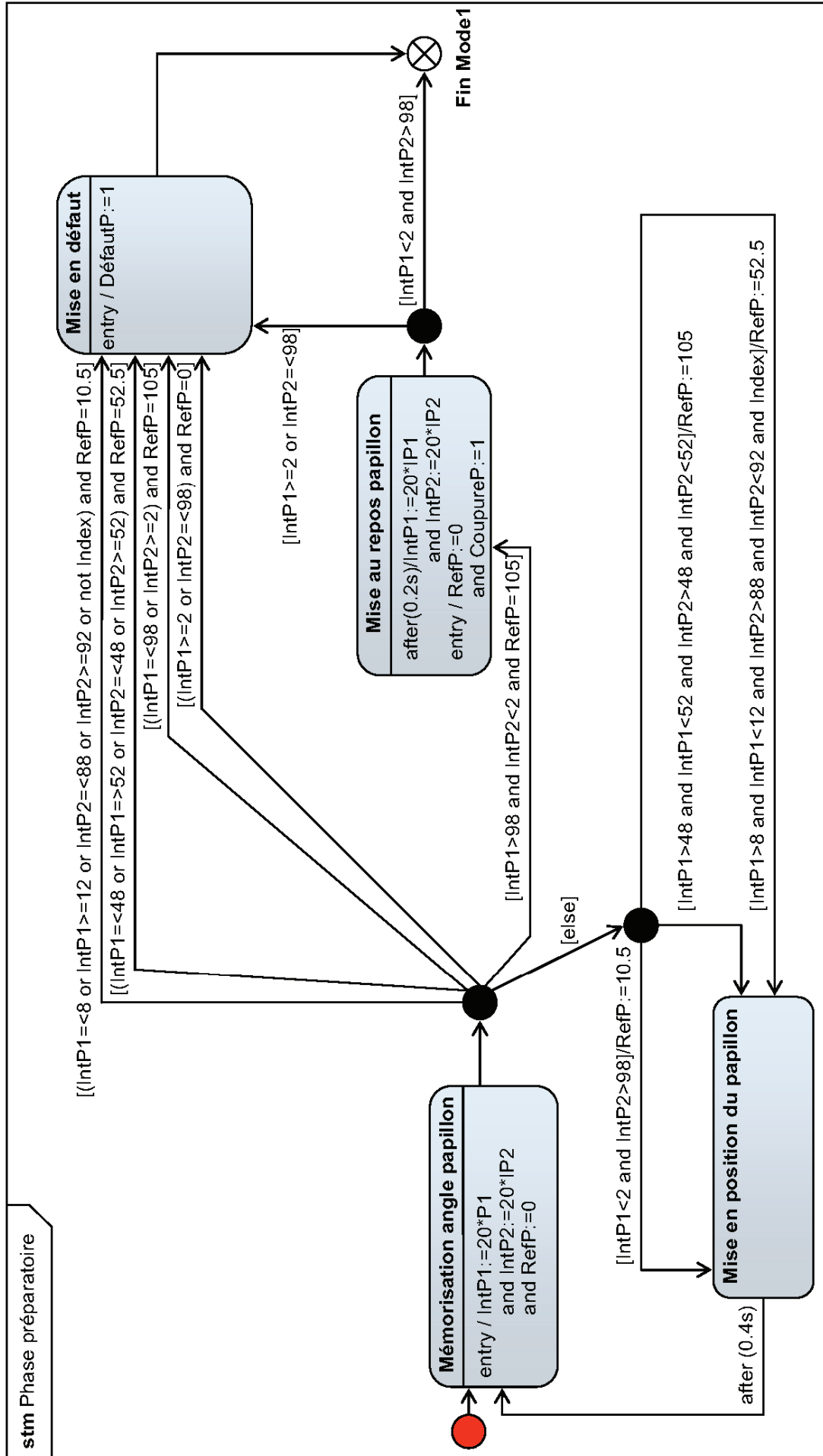
**bdd** [block] Suralimentation [Composants]











DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE

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

037

L'usage de calculatrices est interdit.

Cahier réponses

Épreuve de Sciences Industrielles A

Banque PT - 2015



NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

PARTIE 1

ANALYSE PARTIELLE DE LA GESTION DU COUPLE MOTEUR

**Question 1 :** quelle spécificité entre les variables a amené le concepteur à réaliser cette décomposition en 2 groupes de variables ?

**Question 2 :** à partir de la description fournie dans la partie PRESENTATION et l'ANNEXE, préciser les noms des éléments du moteur et des périphériques moteur qui ont été choisis pour prélever des informations à l'aide de capteurs permettant d'assurer la gestion du couple moteur.

PARTIE 2

MODELISATION MECANIQUE DU BOITIER  
PAPILLON

**Question 3 :** calculer la valeur numérique de la rotation absolue  $\theta_e$  en degrés du rotor du moteur pour que la vanne-papillon tourne d'un angle égal à  $\theta_s = 105^\circ$ .

$\theta_e \approx$

**Question 4 :** déterminer l'expression du moment d'inertie de la vanne-papillon par rapport à son axe de rotation,  $J_{pap}$  en fonction de  $\rho_{vp}$ ,  $e_p$  et  $D$ . En déduire l'expression du moment d'inertie total  $J_3$  de l'ensemble 3 par rapport à l'axe de rotation en fonction des différents moments d'inerties.

$J_{pap} =$

$J_3 =$

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

**Question 5 :** calculer l'énergie cinétique totale  $E_c$  des ensembles 1, 2 et 3 par rapport au repère galiléen  $\mathcal{R}_g$ . En déduire l'expression littérale du moment d'inertie équivalent du système complet,  $J_{eq}$ , rapportée à l'axe du moteur. Montrer que  $J_{eq} \approx J_1$ .

$E_c =$

$J_{eq} =$

Conclusion :

**Question 6 :** pour une rotation de  $105^\circ$  de la vanne-papillon, en déduire la valeur de l'accroissement maximum de couple exercé par le ressort sur l'axe,  $\Delta C_R$  (on pourra poser  $105^\circ \approx 2\text{rad}$ ). Conclure sur l'hypothèse de couple constant exercé par le ressort sur l'axe.

$\Delta C_R \approx$

Conclusion :

**DANS CE CADRE**

**Question 7 :** écrire, à partir du Théorème de l'énergie-puissance appliqué sur le système des ensembles 1, 2 et 3, l'équation reliant le couple moteur  $C_m$  et le couple exercé par le ressort à la dynamique du système isolé.

**Question 8 :** à partir de l'équation précédente, déterminer l'expression littérale de la valeur du couple moteur  $C_m$  à appliquer sous la forme d'un échelon, pour qu'en un temps  $t_{ouverture}$ , la vanne-papillon s'ouvre d'un angle de rotation  $\theta_s$ .

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

**Question 9 :** calculer la valeur numérique du couple  $C_m$  qui permet de respecter l'exigence de rapidité (on pourra poser  $105^\circ \approx 2\text{rad}$ ). Conclure sur la faisabilité d'une telle ouverture si le concepteur limite le couple moteur à son couple nominal.

$C_m \approx$

Conclusion :

**Question 10 :** à partir de l'écriture judicieuse du Théorème de l'énergie-puissance, déterminer l'expression littérale du temps  $t_{\text{retour}}$  que met la vanne-papillon pour revenir complètement à sa position de repos depuis la position complètement ouverte.

$t_{\text{retour}} =$

**Question 11 :** calculer la valeur numérique de ce temps (on pourra poser  $105^\circ \approx 2\text{rad}$ ). Quel dommage peut apparaître pour un temps de retour très faible ?

$t_{\text{retour}} \approx$

Conclusion :

**Question 12 :** calculer la valeur de l'énergie cinétique  $E_c$  du système au moment du choc en ne tenant compte que de l'ensemble 3. En s'appuyant sur les informations données en ANNEXE, et pour une section de denture égale à  $S_{dent} = b.m$ , conclure si le matériau supporte l'impact.

Conclusion :

**Question 13 :** déterminer, pour chaque engrenage, l'expression de la force normale de contact sur les dentures ( $F_{12}$  et  $F_{23}$ ). Calculer les valeurs numériques.

$F_{12} =$

$F_{23} =$

A.N. :

$F_{12} =$

$F_{23} =$

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

**Question 14 :** déterminer, pour chaque engrenage, la valeur de la contrainte normale admissible  $\sigma_{adm12}$  et  $\sigma_{adm23}$  dans les dentures due à la flexion. Conclure sur le choix de matériau des engrenages donné en ANNEXE du sujet.

$\sigma_{adm12} \approx$

$\sigma_{adm23} \approx$

Conclusion :

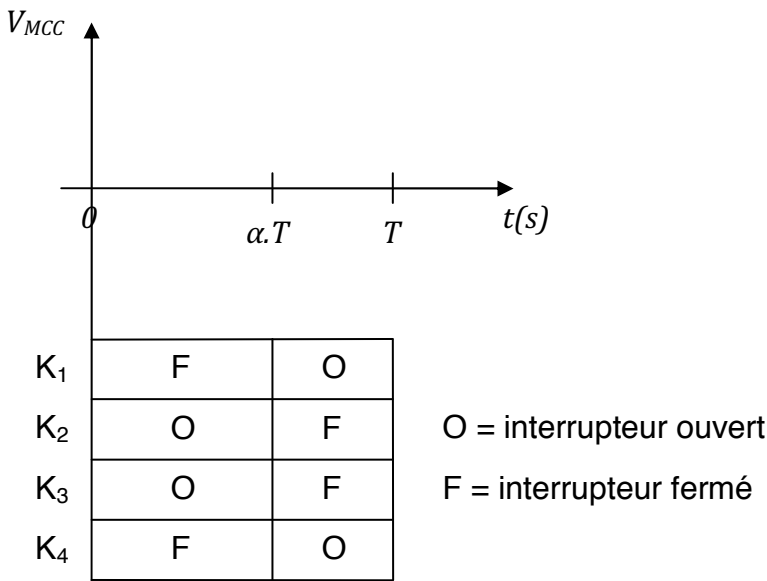
PARTIE 3

COMMANDE EN POSITION DU PAPILLON

3.1 Modélisation

3.1.1 Modélisation du hacheur

**Question 15 :** tracer sur le chronogramme l'allure de la forme d'onde de la tension  $V_{MCC}$  alimentant la MCC pour l'état des interrupteurs K1 à K4 fourni. On précisera sur le chronogramme l'amplitude du signal  $V_{MCC}$ .



**Question 16 :** déterminer les équations booléennes des interrupteurs K<sub>1</sub> à K<sub>4</sub> en fonction de IN1 et IN2.

K<sub>1</sub> =  
K<sub>2</sub> =  
K<sub>3</sub> =  
K<sub>4</sub> =

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

**Question 17 :** quel problème apparaît si l'on ferme simultanément  $K_1$  et  $K_2$ .

**Question 18 :** déterminer la valeur moyenne de la tension alimentant la MCC,  $V_{MCCavg}$  en fonction de  $V_s$  et  $\alpha$ .

$V_{MCCavg} =$

**Question 19 :** déduire de l'équation précédente la relation aux variations reliant  $V_{MCCavg}(t)$  à  $\alpha(t)$  de paramètre  $V_s$ .

$V_{MCCavg}(t) =$

**Question 20 :** déterminer la transmittance dans le domaine de LAPLACE  $\frac{V_{MCCavg}(p)}{\alpha(p)}$  correspondant au modèle aux variations du hacheur pont en H avec prise en compte du retard statistique de  $T/2$ .

$\frac{V_{MCCavg}(p)}{\alpha(p)} =$

3.1.2 Modélisation de la MCC

**Question 21 :** déterminer numériquement les deux constantes de temps de la chaîne directe en asservissement du schéma bloc de la Figure 11 du sujet. Comparer ces deux valeurs et émettre une conclusion quant à la rapidité d'évolution de la variable vitesse  $\omega(t)$  par rapport à la rapidité d'évolution de la variable courant  $i(t)$ .

$\tau_1 =$

$\tau_2 =$

Conclusion :

**Question 22 :** en s'appuyant sur la conclusion émise à la question précédente, donner la transmittance modèle d'entrée de commande  $V_{MCCavg}(p)$  et de sortie  $I(p)$ .

$$\frac{I(p)}{V_{MCCavg}(p)} =$$

**Question 23 :** à partir d'une vitesse  $\omega(t)$  nulle, d'un courant  $i(t)$  nul et d'une tension  $V_{MCCavg}(t)$  nulle on applique un échelon de tension  $V_{MCCavg}(t)$  d'amplitude 14,4 V. déterminer la valeur approximative du courant maximal dans la MCC,  $I_{max}$ . Comparer cette valeur à la valeur constructeur maximale admissible par la MCC.

$$I_{max} \approx$$

Conclusion :

### 3.2 Synthèse de la boucle de courant de la MCC

#### 3.2.1 Linéarisation et simplification du modèle continu en boucle ouverte de la MCC avec le hacheur

**Question 24 :** démontrer, par utilisation de développements en série, quelle approximation est la plus précise.

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

**Question 25 :** en comparant les pulsations de limite de validité des trois approximations du retard pur à la pulsation de coupure  $\omega_{BFI}$ , choisir un modèle de représentation le plus simple possible représentant correctement le retard pur au regard de la rapidité attendue de la boucle de courant.

3.2.2 Synthèse de la boucle de courant de la MCC en continu

**Question 26 :** déterminer sous forme littérale et canonique la fonction de transfert en boucle fermée  $\frac{I(p)}{I_{ref}(p)}$ .

$$\frac{I(p)}{I_{ref}(p)} =$$

**Question 27 :** déterminer les valeurs de  $K_p$  sous forme littérale assurant un système stable.

$$K_p \in$$

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

**Question 28 :** déterminer le gain statique du système bouclé continu  $G_{SIC}$  sous forme littérale.

$$G_{SIC} =$$

**Question 29 :** déterminer la forme littérale puis la valeur numérique de  $K_p$  répondant aux exigences de la boucle de courant.

$$K_p \approx$$

**Question 30 :** écrire la transmittance sous forme littérale et canonique de la fonction de transfert en boucle fermée  $\frac{I(p)}{I_{ref}(p)}$  en fonction de  $G_{SIC}$  et  $\tau_F$  (on note  $\tau_F$ , constante de temps en boucle fermée). En déduire l'original sous forme littérale  $i(t)$  de  $I(p)$  en réponse à l'échelon unitaire pour  $i_{ref}(t)$ .

$$\frac{I(p)}{I_{ref}(p)} =$$

$$i(t) =$$

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

3.2.3 Synthèse de la boucle de courant de la MCC en numérique

**Question 31 :** à partir de la transmittance  $\frac{I(p)}{\alpha(p)}$  (cf. Figure 15 du sujet), déduire une équation différentielle littérale de la forme  $\frac{di(t)}{dt} + a.i(t) = b.\alpha(t)$ .

$\frac{I(p)}{\alpha(p)} =$

$\frac{di(t)}{dt} + \quad . i(t) = \quad . \alpha(t)$

**Question 32 :** déterminer sous forme littérale la solution  $i(t)$  de l'équation différentielle précédente avec un échelon d'amplitude  $\alpha_k$  pour l'excitation  $\alpha(t)$ , une condition initiale  $i_k$  sur  $i(t)$  et les paramètres  $K_o$  et  $\tau_o$ . On présentera le résultat sous la forme  $i(t)$ =régime libre+régime forcé (le régime libre ne dépend que de la condition initiale et le régime forcé ne dépend que de l'excitation).

$i(t) =$

**Question 33 :** en écrivant l'équation obtenue à la question précédente pour  $t=(k+1)T_e$  et pour l'instant initial  $k.T_e$ , déterminer l'équation de récurrence du système en boucle ouverte sous la forme  $i((k+1).T_e)+f_o.i(k.T_e)=g_o.\alpha(k.T_e)$ . Donner  $f_o$  et  $g_o$  en fonction de  $K_o$  et  $\tau_o$ .

$f_o =$

$g_o =$

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

**Question 34 :** en utilisant le schéma bloc dans le domaine temporel, fourni dans le sujet Figure 16, déterminer l'équation de récurrence sous forme littérale du système en boucle fermée sous la forme  $i((k+1).T_e)+f_F.i(k.T_e)=g_F.i_{ref}(k.T_e)$ .

$f_F=$

$g_F=$

**Question 35 :** en vous aidant des rappels de la note fournie dans le sujet, déterminer la solution de cette équation de récurrence à partir de l'état initial  $i(k.T_e=0)=I_0$  et d'un échelon d'excitation  $i_{ref}(k.T_e)=I_{désiré}.U(k.T_e)$  avec  $U(k.T_e)$  échelon unitaire numérique ( $U(k.T_e)=0 \forall k<0$  et  $U(k.T_e)=1 \forall k\geq 0$ ) et  $I_{désiré}$  l'amplitude du courant désiré. On donnera le résultat sous la forme  $i(k.T_e)=\text{régime transitoire}+\text{régime permanent}$  (le régime transitoire dépend du numéro d'échantillon  $k$  et le régime permanent est indépendant du numéro d'échantillon  $k$ ) en fonction du numéro d'échantillon  $k$  et de  $I_0, g_F, f_F$  et  $I_{désiré}$ .

$i(k.T_e)=$

**Question 36 :** en analysant le régime transitoire de la solution de l'équation de récurrence déterminer la condition nécessaire et suffisante permettant d'assurer la convergence donc la stabilité de la réponse en courant  $i(k.T_e)$ .

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

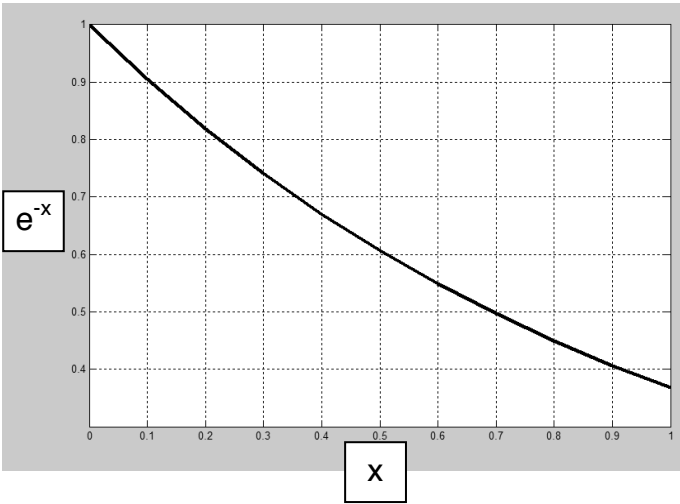
**Question 37 :** déterminer le domaine de stabilité de l'asservissement dans le plan  $T_e, K_p$ .  
On présentera le résultat sous forme de 2 inégalités bornant  $K_p$  en fonction de la période d'échantillonnage  $T_e$  et des paramètres du processus  $K_s$  et  $\tau_0$ .

$<K_p<$

**3.2.4 Comparaison du comportement de la commande continu et de la commande numérique**

**Question 38 :** comparer le résultat de la question précédente à celui obtenu à la question 27 pour assurer la stabilité dans le cas d'un système continu. Conclure.

**Question 39 :** pour la valeur de  $K_p=120$  retenue dans le cas d'un système continu et pour  $T_e = \frac{\tau_o}{10}$ , le système avec commande numérique est-il stable ?



**Question 40 :** en reprenant les résultats des questions 33 et 34, déterminer le gain statique du système bouclé numérique  $G_{SIN}$  sous forme littérale en fonction de  $K_s$  et  $K_p$ . Comparer  $G_{SIN}$  avec le résultat de  $G_{SIC}$  obtenu à la question 28.

$G_{SIN} =$

Conclusion :

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

**Question 41 :** montrer que ces 2 équations donnent le même résultat pour chaque échantillon  $k$  à l'instant  $k.T_e$ . On pourra transposer à la boucle fermée, les résultats obtenus en boucle ouverte à la question 33.

**Question 42 :** dans le cas de la boucle de courant avec une bande passante à -3dB en boucle fermée  $\omega_{BFI} = 2000\text{rad/s}$ , ce critère est-il vérifié ?

**Question 43 :** la transposition de ce correcteur proportionnel dans une commande numérique permet-il un comportement type 1<sup>er</sup> ordre avec gain statique unitaire et une bande passante à -3dB en boucle fermée  $\omega_{BFI} = 2000\text{rad/s}$ .

3.3 Synthèse de la boucle de position de la MCC

**Question 44 :** donner le contenu de  $K_{pot}$  sous forme numérique fractionnaire.

$K_{pot} = \text{—}$

**Question 45 :** donner le contenu littéral de  $K_{comp}$  permettant d'avoir un retour homogène à des radians de la position du papillon.

$K_{comp} =$

**Question 46 :** donner le contenu littéral de  $K_{per}$  permettant d’avoir la prise en compte de l’effet du ressort de rappel monté sur l’axe du papillon sur le modèle de la boucle de position (cf. Figure 17 du sujet).

$K_{per} =$

**Question 47 :** en comparant la rapidité désirée pour la boucle fermée de position et les constantes de temps apparaissant dans le système montrer que l’on peut simplifier le schéma bloc de la Figure 17 du sujet par le schéma bloc de la Figure 19 du sujet. Donner le contenu littéral de  $K_1$  et  $K_2$ .

$K_1 =$

$K_2 =$

**Question 48 :** déterminer les fonctions de transfert en boucle fermée sous forme littérale et canonique en asservissement  $FTBF_A(p) = \frac{\theta_{papillon}(p)}{\theta_{désirée}(p)}$  et en régulation  $FTBF_R(p) = \frac{\theta_{papillon}(p)}{C_r(p)}$  de l’architecture simplifiée de la boucle de position.

$FTBF_A(p) = \frac{\theta_{papillon}(p)}{\theta_{désirée}(p)} =$

$FTBF_R(p) = \frac{\theta_{papillon}(p)}{C_r(p)} =$

**Question 49 :** déterminer l’erreur statique  $\varepsilon_A$  en asservissement en réponse à l’échelon unitaire pour  $\theta_{désirée}(t)$ .

$\varepsilon_A =$

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

**Question 50 :** déterminer l'erreur statique  $\varepsilon_R$  en régulation en réponse à l'échelon d'amplitude 1,7Nm pour  $C_r(t)$ .

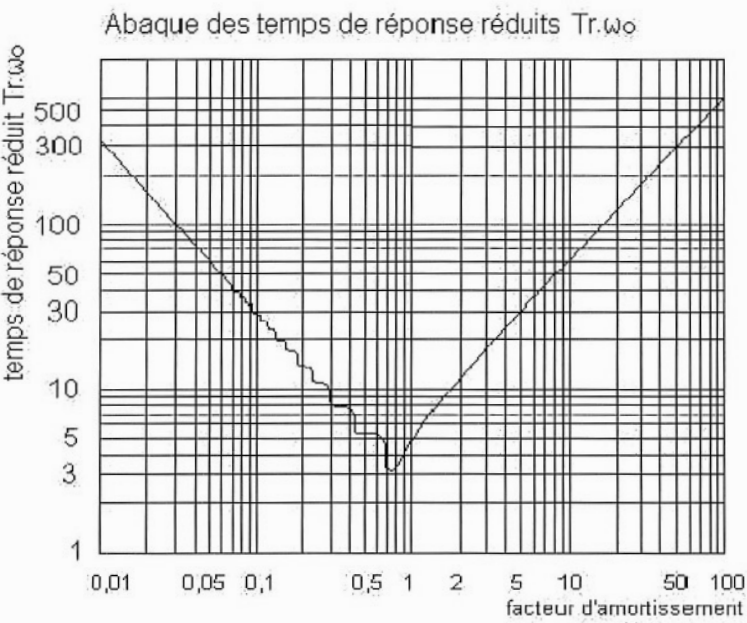
$\varepsilon_R =$

**Question 51 :** le cahier des charges est-il vérifié quant aux critères sur la boucle de position (cf. Diagramme 2 du sujet) ?

**Question 52 :** déterminer la nouvelle fonction de transfert en boucle fermée sous forme littérale et canonique en asservissement  $FTBF_A(p) = \frac{\theta_{papillon}(p)}{\theta_{désirée}(p)}$ .

$FTBF_A(p) = \frac{\theta_{papillon}(p)}{\theta_{désirée}(p)} =$

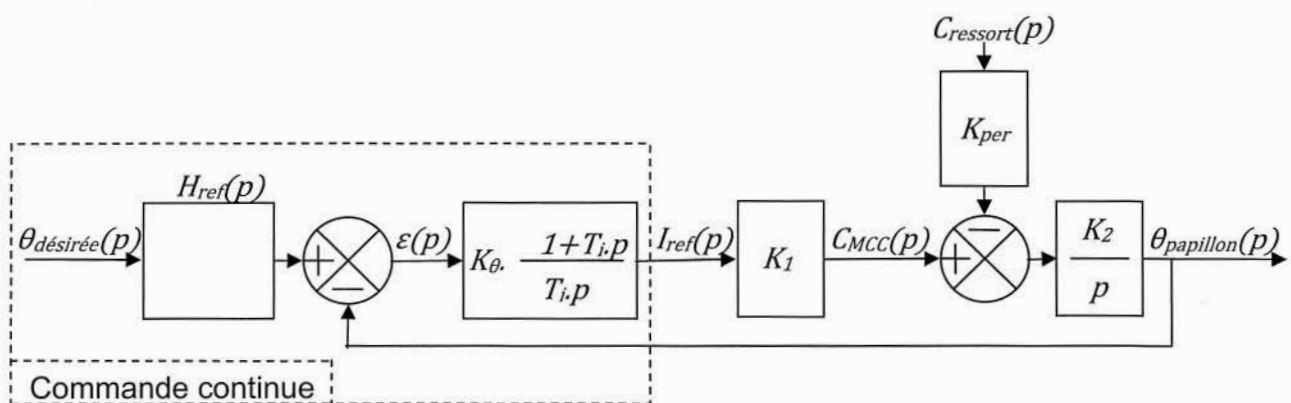
**Question 53 :** en intervenant seulement sur les paramètres du dénominateur de  $FTBF_A(p) = \frac{\theta_{papillon(p)}}{\theta_{désirée(p)}}$ , déterminer les valeurs numériques de  $T_i$  et  $K_\theta$  permettant de répondre au cahier des charges (cf. Diagramme 2 du sujet).



$T_i=$   
 $K_\theta=$

**Question 54 :** le résultat de la Figure 21 du sujet répond-t-il au cahier des charges.

**Question 55 :** proposer une transmittance  $H_{ref}(p)$  sous forme littérale et canonique susceptible de permettre une réponse en position du papillon répondant au cahier des charges.



**Question 56 :** le résultat de la Figure 23 du sujet répond-t-il au cahier des charges.

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

## PARTIE 4

### FONCTION OBD (ON BOARD DIAGNOSIS)

**Question 57 :** déterminer le courant  $I_{MCCm}$  de maintien dans la MCC permettant de compenser le couple de rappel du ressort.

**Question 58 :** après lecture des diagrammes SysML des machines à états fournis en ANNEXE, donner la liste des étapes de la séquence de diagnostic du boitier papillon suite à une demande de démarrage en commençant à l'occurrence de l'évènement Pp.

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

