

**BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR**  
**INFORMATIQUE ET RÉSEAUX POUR L'INDUSTRIE**  
**ET LES SERVICES TECHNIQUES**

**ÉPREUVE DE PHYSIQUE APPLIQUÉE**

**SESSION 2009**

**DURÉE : 3 HEURES**  
**COEFFICIENT : 3**

Ce sujet comporte une présentation et huit parties pouvant être traitées indépendamment les unes des autres.

Le sujet comporte :

- 1 formulaire,
- 2 annexes,
- 4 documents – réponse à rendre avec la copie.

L'usage d'une calculatrice est autorisé (circulaire n°99-186 du 16-11-1999).

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR Informatique et Réseaux pour l'Industrie et les Services Techniques		Session 2009	1/14
ÉPREUVE : PHYSIQUE APPLIQUÉE	Durée : 3h Coef : 3	IRSPA	SUJET

## Autour de l'automobile : Identification, mesure, régulation et énergie

### COMMANDE ELECTRIQUE DU VOLET D'ADMISSION D'AIR

La pédale d'accélérateur des véhicules à essence actionne le volet d'admission d'air du moteur thermique. L'action de la pédale peut être directe, par câble, ou indirecte. Dans ce dernier cas, la pédale commande la rotation d'un moteur électrique qui à son tour actionne le volet d'admission d'air. Cette stratégie est nécessaire quand le véhicule est équipé d'un régulateur de vitesse, car ce n'est plus le pilote qui actionne la pédale, mais le régulateur qui actionne directement le volet d'air pour maintenir la vitesse du véhicule constante.

Les premières parties de ce sujet portent sur l'asservissement de position du volet d'air, dans le cas d'une commande électrique.

Un schéma d'ensemble est donné Figure 1.

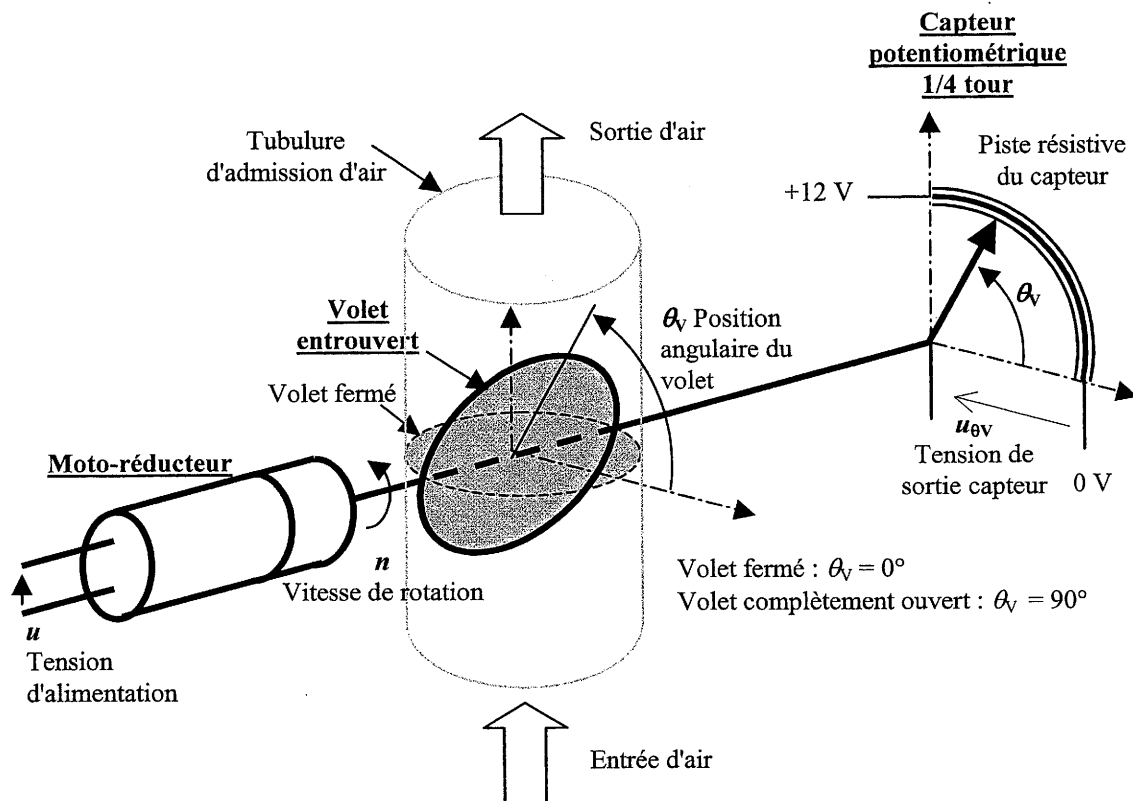


Figure 1 Commande électrique du volet d'air

---

#### Indications importantes :

**Unités :** Les fréquences de rotation sont exprimées en  $\text{tr.s}^{-1}$  et les angles en degrés. Les autres grandeurs le sont dans les unités du système international.

**Notation :** Aux grandeurs temporelles  $u$ ,  $n$ ,  $\theta$ ... on associe les transformées de Laplace  $U(p)$ ,  $N(p)$ ,  $\Theta(p)$ ...

**Partie A. Moto-réducteur d'entraînement du volet** **(3,5 points)**

Il s'agit d'un moteur à courant continu équipé d'un réducteur à engrenages. L'entrée de ce système est la tension d'alimentation  $u$  (en V). Sa sortie est la fréquence de rotation  $n$  (en  $\text{tr.s}^{-1}$ ).

Sa fonction de transfert isomorphe est donnée par :  $T_M(p) = \frac{N(p)}{U(p)} = \frac{1,67}{1 + 0,1p}$ .

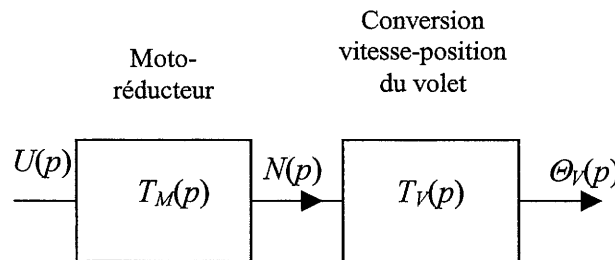
**On étudie ce moto-réducteur seul**

A l'instant initial choisi  $t = 0$ , on applique au moto-réducteur un échelon de tension  $u$  d'une valeur de 6 V. La vitesse initiale est nulle.

- A.1. Déterminer l'ordre du système moto-réducteur. Justifiez votre réponse.
- A.2. Quelle est la valeur de la constante de temps  $\tau_M$  de ce système ?
- A.3. Donner la valeur du temps de réponse à 5% :  $t_{r5\%}$
- A.4. Quelle est la fréquence de rotation en régime permanent  $n_\infty$ , le moteur étant alimenté par une tension de 6 V ?
- A.5. Tracer la courbe de la fréquence de rotation en fonction du temps sur le **Document réponse 1** en faisant apparaître les valeurs de  $n$  aux instants  $t_1 = \tau_M$  et  $t_2 = t_{r5\%}$

**Ensemble moto-réducteur et volet**

Le moto-réducteur entraîne le volet d'admission d'air. Cet ensemble forme un nouveau système dont l'entrée est toujours la tension d'alimentation du moteur, mais la sortie est la position angulaire  $\theta_v$  du volet. La position  $\theta_v$  varie de  $0^\circ$  (volet fermé) à  $90^\circ$  (volet complètement ouvert).



**Figure 2**

On rappelle que la fréquence de rotation  $n$  ( $\text{tr.s}^{-1}$ ) et la position angulaire  $\theta_v$  ( $^\circ$ ) d'un solide en rotation sont liées par la relation  $n = \frac{1}{360} \cdot \theta'_v$  dans le système d'unités choisi. (avec  $\theta'_v = \frac{d\theta_v}{dt}$ )

- A.6. Etablir la relation entre les transformées de Laplace  $N(p)$  et  $\Theta_V(p)$  associées respectivement à  $n(t)$  et  $\theta_v(t)$  (l'angle initial est nul). En déduire la transmittance isomorphe  $T_V(p) = \frac{\Theta_V(p)}{N(p)}$  représentée dans le schéma de la Figure 2.

## Partie B. Capteur de position du volet

(1 point)

La mesure de la position du volet est faite à l'aide d'un capteur potentiométrique quart de tour. La partie utile du schéma est rappelée Figure 3.

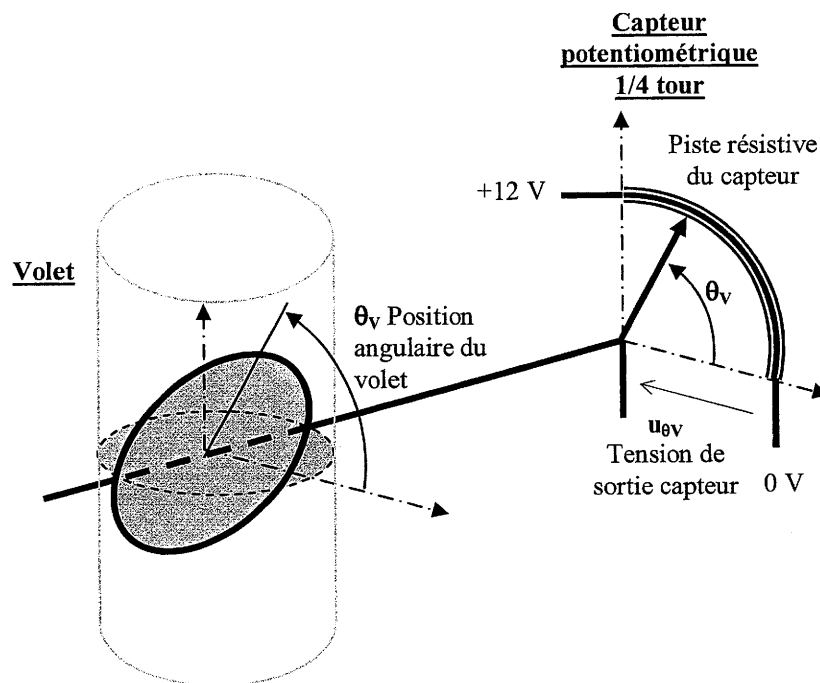
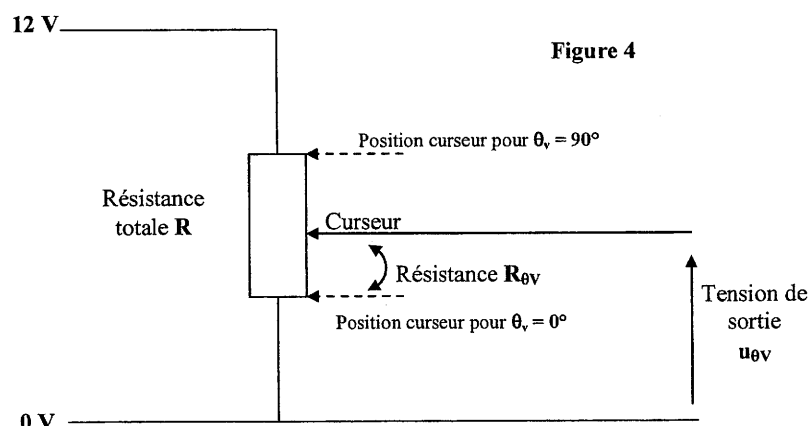


Figure 3

Le capteur est équivalent au potentiomètre représenté figure 4 dont les grandeurs sont liées par la relation :  $R_{\theta_v} = \frac{R}{90} \theta_v$ . L'angle  $\theta_v$  varie de  $0^\circ$  à  $90^\circ$ .

La tension de sortie  $u_{\theta_v}$  du capteur est donc une image de la position du volet.



**B.1.** Quelle est la valeur de la tension de sortie du capteur  $u_{\theta_v}$ , pour la position  $0^\circ$ , puis pour la position  $90^\circ$  ?

**B.2.** Déterminer l'expression de la tension  $u_{\theta_v}$ , en fonction de la position  $\theta_v$ .

### Partie C. Asservissement de position du volet

(1 point)

La pédale d'accélérateur est équipée du même capteur que le volet. Ce capteur délivre la tension  $u_\theta$  représentative de la consigne d'angle  $\theta$  que doit prendre le volet. Les deux capteurs de position ont la même transmittance  $T_C(p)$ . Un correcteur de transmittance  $C(p)$  est prévu en amont du moto-réducteur. Le système complet d'asservissement est représenté Figure 4.

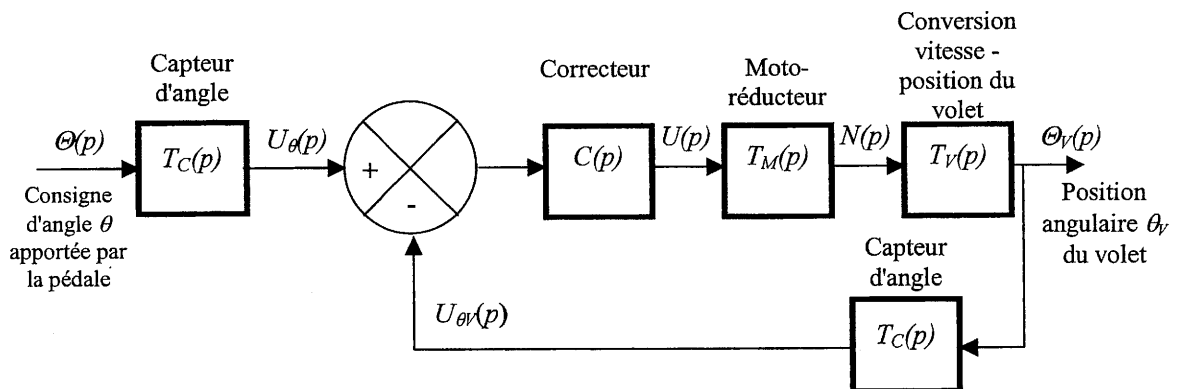


Figure 4

C.1. Déterminer l'expression de la transmittance en boucle fermée  $T_{BF1}(p) = \frac{\Theta_v(p)}{U_\theta(p)}$  en fonction des transmittances du système  $T_C(p)$ ,  $C(p)$ ,  $T_M(p)$  et  $T_V(p)$ .

C.2. Déterminer l'expression de la transmittance en boucle fermée  $T_{BF2}(p) = \frac{\Theta_v(p)}{\Theta(p)}$  en fonction des transmittances du système  $T_C(p)$ ,  $C(p)$ ,  $T_M(p)$  et  $T_V(p)$ .

## Partie D. Rôle du correcteur

(3 points)

### Etude de l'asservissement SANS correcteur

Une simulation de la réponse indicielle de la position du volet à une consigne de  $50^\circ$ , en l'absence de correcteur, est représentée Figure 5.

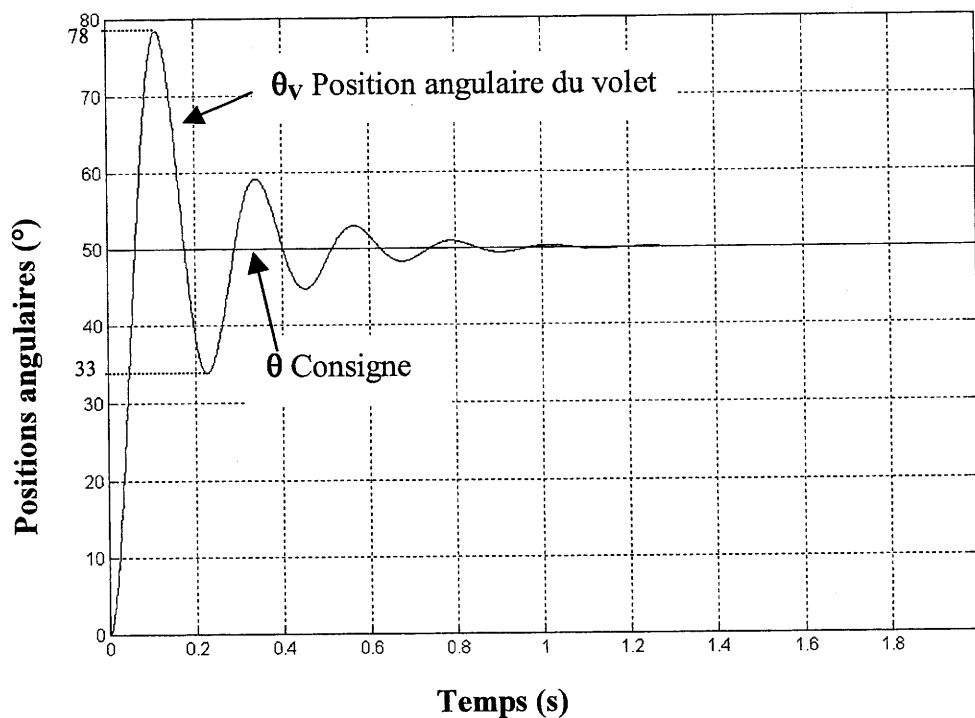


Figure 5 Position du volet : réponse indicielle, SANS correcteur

- D.1. Donner l'ordre du système.
- D.2. Relever l'erreur en régime permanent  $\varepsilon_{S1}$ .
- D.3. Déterminer la valeur du dépassement relatif  $D_1$  (en %)

Les diagrammes de Bode de la fonction de transfert en boucle ouverte sont représentés sur le Document réponse 2.

- D.4. Sur le Document réponse 2, faire la construction graphique permettant de déterminer la marge de phase et donner sa valeur approchée.
- D.5. Le système ne supportant pas de dépassement, comment faut-il modifier (augmenter ou diminuer) la marge de phase pour respecter cette exigence ?

**Etude de l'asservissement AVEC correcteur** : Un relevé de la réponse indicielle de la position du volet à un échelon de consigne de  $50^\circ$  en présence du correcteur est représenté Document réponse 3.

- D.6. Sur le Document réponse 3, faire la construction graphique permettant de déterminer le temps de réponse à 5% et donner sa valeur approchée.
- D.7. En expliquant votre raisonnement, indiquer l'ordre du système.

**Partie E. Etude du système, dans sa version numérique (5,5 points)**

Dans les véhicules récents, c'est un ordinateur numérique qui gère l'ensemble des informations provenant des divers capteurs, qui donne les ordres aux actionneurs et assure leur asservissement. Un synoptique de l'asservissement numérique de position du volet d'admission d'air est donné Figure 6.

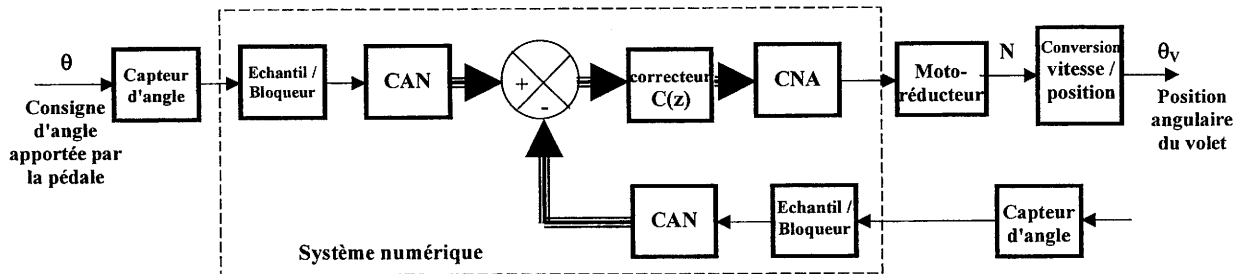


Figure 6

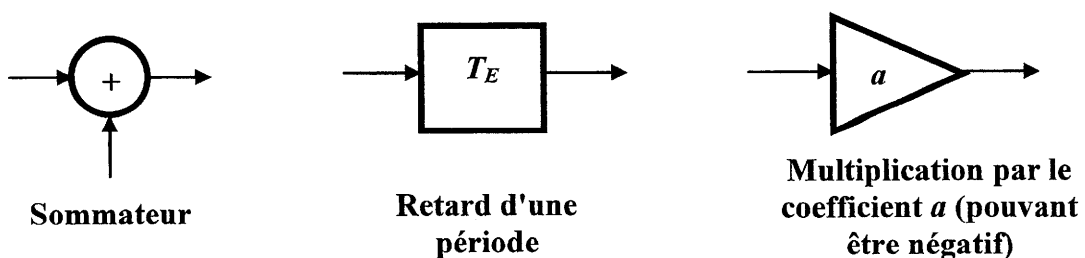
Des convertisseurs analogiques-numériques **8 bits** (CAN) numérisent les tensions issues des capteurs. Les CAN sont précédés d'un échantillonneur - bloqueur. La période d'échantillonnage est  $T_E = 10$  ms. Le correcteur est un correcteur numérique.

- E.1. Justifier la nécessité du bloqueur dans un tel système.
- E.2. Quelle est la fréquence d'échantillonnage ?
- E.3. Dans le cas où on n'insère pas de filtre entre le capteur et l'échantillonneur, quel problème peut survenir ?
- E.4. Quel domaine de fréquence (on précisera les limites de l'intervalle) faut-il couper avant l'échantillonnage pour respecter la condition de Shannon ?

**Etude du correcteur numérique**

La séquence d'échantillons  $\{e_n\}$  est appliquée à l'entrée du correcteur numérique. Sa sortie délivre la séquence  $\{s_n\}$ . Sa transmittance est  $C(z) = \frac{S(z)}{E(z)} = \frac{1,2 - 1,1z^{-1}}{1 - 0,5z^{-1}}$ . On note  $E(z)$  et  $S(z)$  les transformées en  $z$  des séquences  $\{e_n\}$  et  $\{s_n\}$ .

- E.5. Montrer que l'équation de récurrence du correcteur est  $s_n = 1,2.e_n - 1,1.e_{n-1} + 0,5.s_{n-1}$ .
- E.6. S'agit-il d'un correcteur récursif ou non récursif ? Justifier.
- E.7. Représenter la structure de l'algorithme du correcteur en utilisant autant de fois que nécessaire les symboles suivants :



E.8. Calculer les premiers termes de la réponse impulsionnelle unitaire du correcteur en remplissant le tableau du Document réponse 4. (on donne :  $s_{-1} = 0$ )

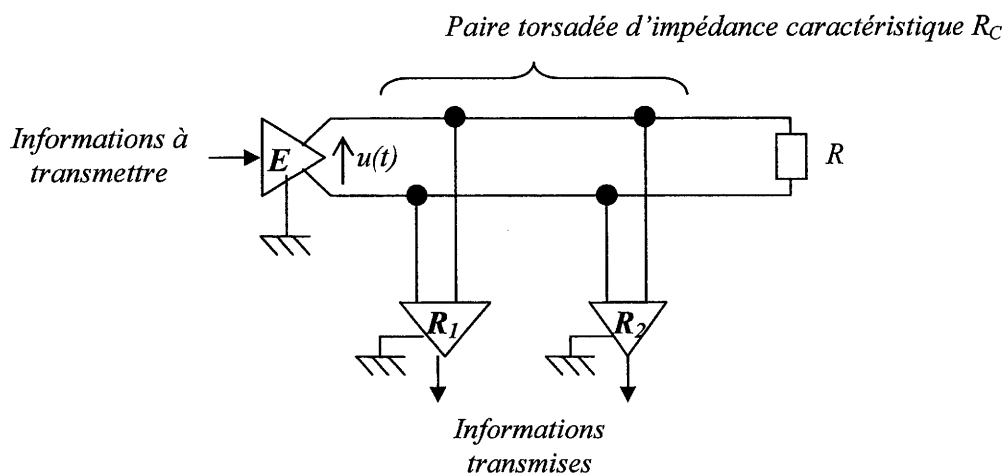
E.9. Exprimer la transformée en  $z$  (notée  $S_i(z)$ ) de la réponse impulsionnelle unitaire du correcteur

E.10. Justifier la stabilité du correcteur en appliquant le théorème de la valeur finale.

**Partie F. Bus de données (1,5 points)**

L'échange des informations entre les différents éléments du réseau électrique se fait par des lignes à deux fils torsadés. Des résistances  $R$  ferment ces paires torsadées. Les données sont transmises en série, en bande de base (c'est-à-dire sans modulation).

Le constructeur fournit les indications suivantes :



Vitesse de propagation :  $200\,000 \text{ km.s}^{-1}$

Débit :  $1 \text{ Mbit.s}^{-1}$

Composition d'une trame : 154 bits au total pour 64 bits de données  
(les autres bits servent à la synchronisation, l'identification et au contrôle).

F.1. Calculer le temps de propagation  $t_t$  pour une ligne de longueur 10 m.

F.2. Le constructeur indique que la résistance caractéristique de la ligne de transmission  $R_C$  est égale à  $120 \Omega$ . Quelle est la valeur de la résistance  $R$  à placer en bout de la ligne de transmission pour supprimer le phénomène de réflexion ?

F.3. Calculer la durée  $t_t$  d'une trame.

F.4. Calculer le débit net  $D_n$ , défini comme le nombre de bits utiles (les 64 bits de données) transmis par seconde.



## Partie G. Alimentation en énergie électrique

(2,5 points)

Une batterie stocke et fournit à l'équipement électrique l'énergie nécessaire. Elle délivre une tension continue d'au moins 12 V. Cette batterie est rechargée par un générateur continu constitué d'un alternateur et d'un redresseur. Ce générateur est entraîné par le moteur thermique du véhicule.

On lit sur la plaque signalétique du générateur continu les indications nominales suivantes :

$$14 \text{ V} = / 90 \text{ A} / \text{Rendement} = 0,63.$$

G.1. Quelle est la puissance utile nominale  $P_{un}$  de ce générateur ?

G.2. Quelle puissance mécanique  $P_{mn}$  absorbe-t-il au régime nominal ?

G.3. Quel est alors le moment du couple mécanique  $T_m$  fourni à l'alternateur si sa vitesse de rotation est  $2500 \text{ tr.min}^{-1}$  ?

La tension  $U$  fournie par le générateur à la batterie (voir Figure 7) dépend de deux paramètres principaux :

- L'intensité du courant d'excitation  $I_{exc}$  (c'est-à-dire le courant à travers l'enroulement inducteur de l'alternateur).

- L'intensité du courant  $I$  débité par le générateur vers la batterie et les équipements électriques.

L'influence de ces deux paramètres est représentée sur l'Annexe 1.

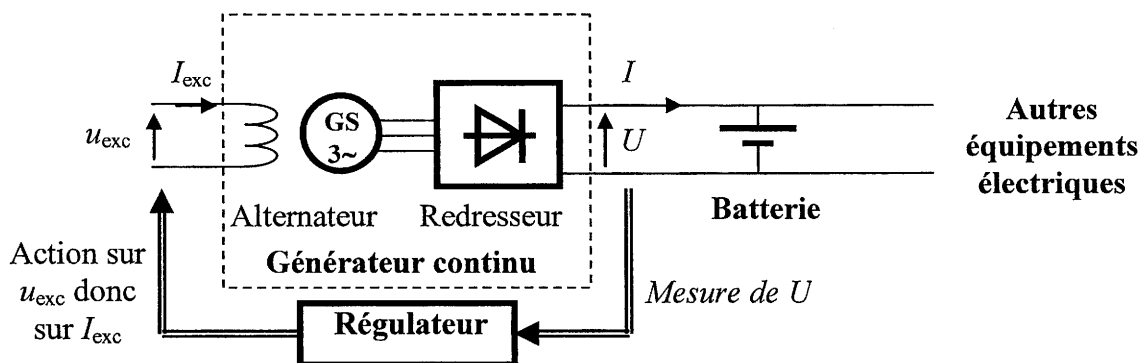


Figure 7

G.4. Pour  $I_{exc} = 1,5 \text{ A}$ , donner l'équation de la caractéristique sous la forme  $U = E - a I$ . Préciser l'unité du coefficient  $a$ .

G.5. Déterminer la tension  $U_1$  délivrée si l'intensité du courant demandé est de 60 A.

G.6. Dans quel sens varie la tension délivrée lorsque l'intensité du courant demandé passe de 60 A à 40 A ?

Pour assurer la charge permanente de la batterie, la tension  $U$  du générateur doit être maintenue à 14 V quelque soit l'intensité du courant  $I$  débité. Un régulateur agissant sur l'intensité du courant d'excitation  $I_{exc}$  assure cette fonction.

G.7. Indiquer comment doit varier l'intensité du courant  $I_{exc}$  pour maintenir la tension à 14 V lorsque l'intensité du courant  $I$  passe de 60 A à 40 A.

## Partie H. Etude du régulateur

(2 points)

Le régulateur mesure la tension  $U$  et règle le rapport cyclique d'un hacheur de tension, lui-même alimenté par la tension  $U$  et délivrant la tension  $u_{exc}$ . On s'intéresse au hacheur de tension alimentant l'enroulement inducteur. Cet enroulement est équivalent à une bobine en série avec une résistance. Le schéma est représenté Figure 8.

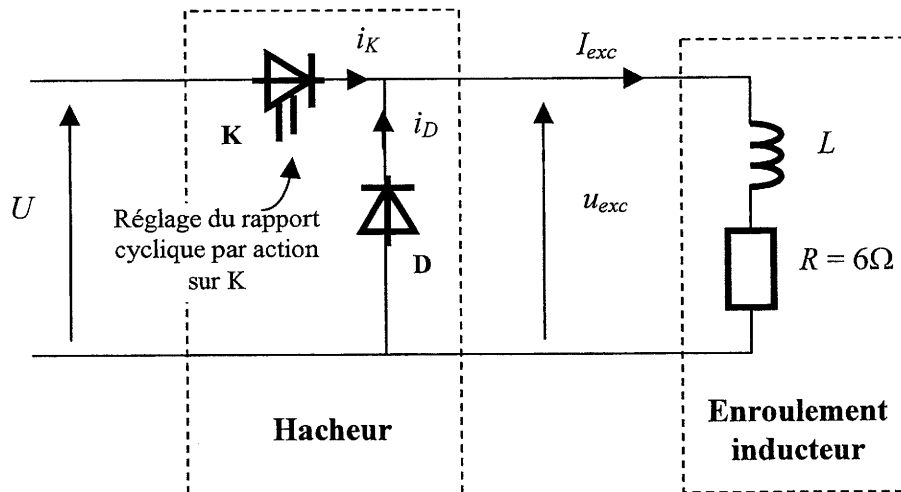


Figure 8

- H.1. Quelle est la valeur de la tension  $U$  à la lecture du chronogramme représenté à l'annexe 2 ?
- H.2. On appelle  $\alpha$  le rapport cyclique de la tension  $u_{exc}$ . Etablir la relation entre  $\langle u_{exc} \rangle$ ,  $U$  et  $\alpha$ .
- H.3. Donner la valeur numérique de  $\alpha$  et de  $\langle u_{exc} \rangle$  dans le cas représenté à l'annexe 2

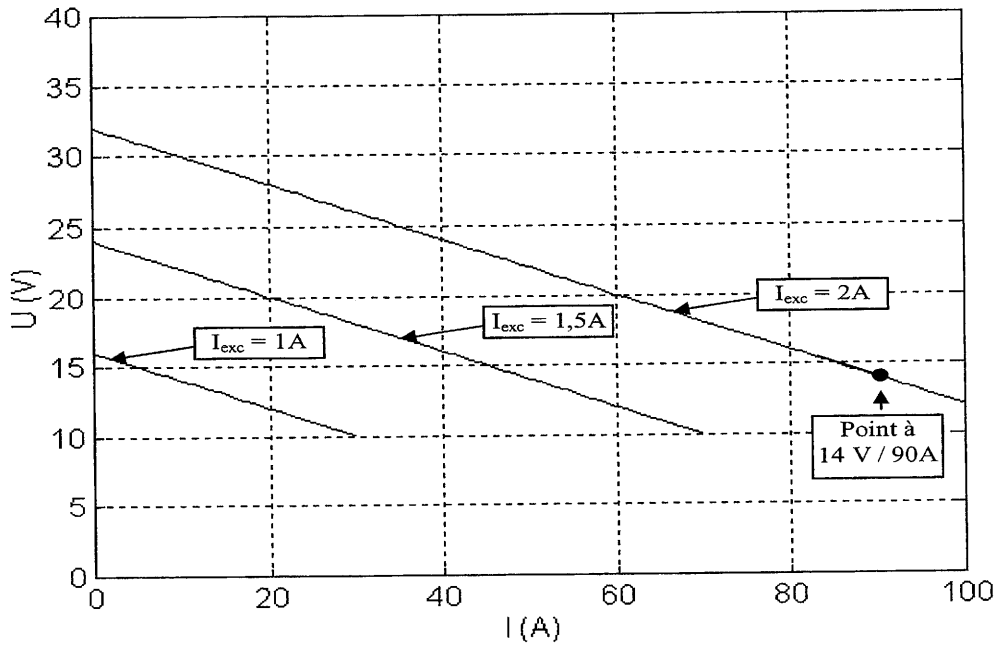
La valeur de l'inductance  $L$  est telle qu'on peut considérer le courant  $I_{exc}$  comme constant. On admet par ailleurs que  $\langle u_{exc} \rangle = RI_{exc}$ .

- H.4. Si la tension  $U$  a tendance à diminuer (consommation plus importante, décharge de la batterie...), dans quel sens le régulateur doit faire varier  $I_{exc}$  pour compenser cette baisse ?
- H.5. En déduire le sens de variation du rapport cyclique  $\alpha$  de la tension de sortie du hacheur  $u_{exc}$  permettant d'assurer cette variation de  $I_{exc}$  ?

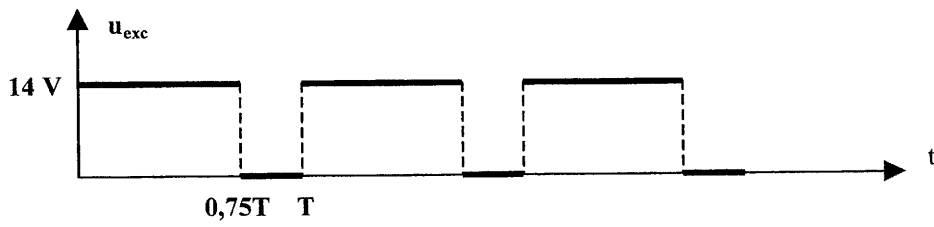
# Formulaire

<b>Propriétés de la transformée de Laplace</b>	
Théorème de la valeur initiale	$\lim_{t \rightarrow 0} f(t) = \lim_{p \rightarrow +\infty} pF(p)$
Théorème de la valeur finale	$\lim_{t \rightarrow +\infty} f(t) = \lim_{p \rightarrow 0} pF(p)$
<b>Table des transformées de Laplace</b>	
f(t)	F(p)
Impulsion unité : $\delta(t)$	1
Echelon unité : $\Gamma(t)$	$\frac{1}{p}$
Rampe : at	$\frac{a}{p^2}$
$1 - e^{-t/\tau}$	$\frac{1}{p(1 + \tau p)}$
Dérivée : $\frac{d(f(t))}{dt}$	$pF(p) - f(0^-)$
<b>Propriétés de la transformée en Z</b>	
Théorème de la valeur initiale	$x_0 = \lim_{z \rightarrow 1} X(z)$
Théorème de la valeur finale	$\lim_{n \rightarrow +\infty} x_n = \lim_{z \rightarrow 1} (z - 1)X(z)$
<b>Table des transformées en Z</b>	
$\{x_n\}$	X(z)
Séquence impulsion unité : $\{\delta_n\}$	1
Séquence échelon unité : $\{\Gamma_n\}$	$\frac{z}{z-1} = \frac{1}{1-z^{-1}}$
Séquence rampe $\{a.n.T_e\}$	$a.T_e \frac{z}{(z-1)^2} = a.T_e \frac{z^{-1}}{(1-z^{-1})^2}$

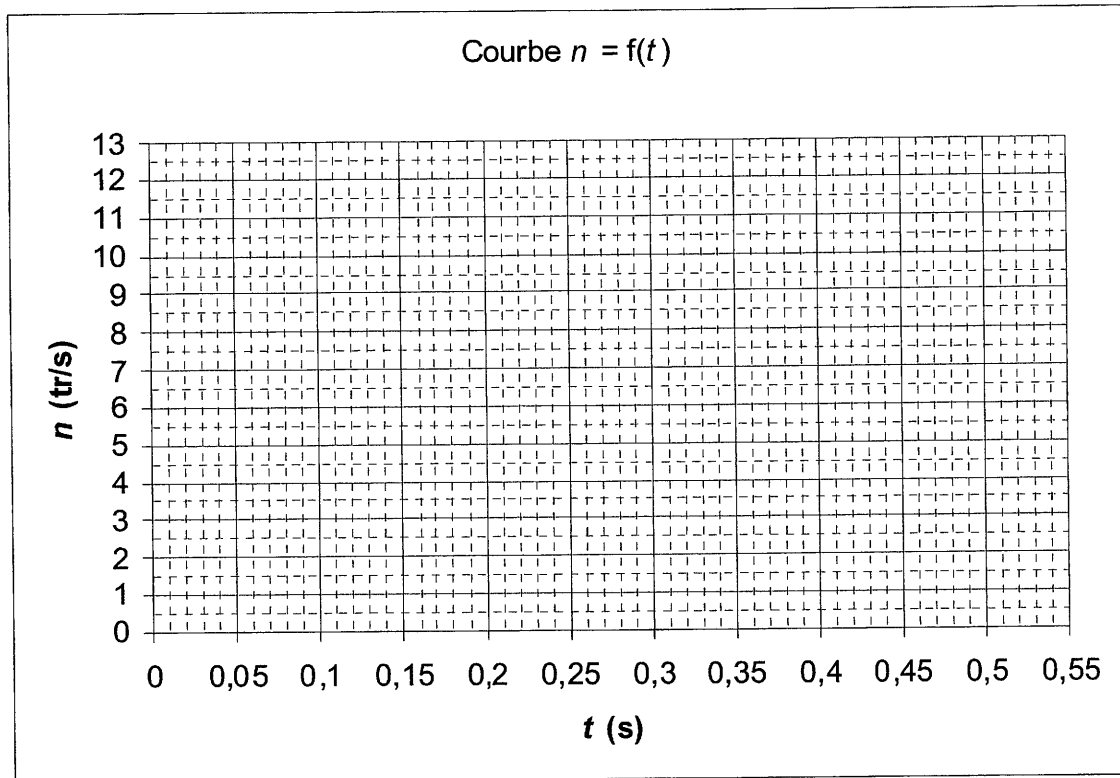
### Annexe 1 : Caractéristique du générateur d'excitation



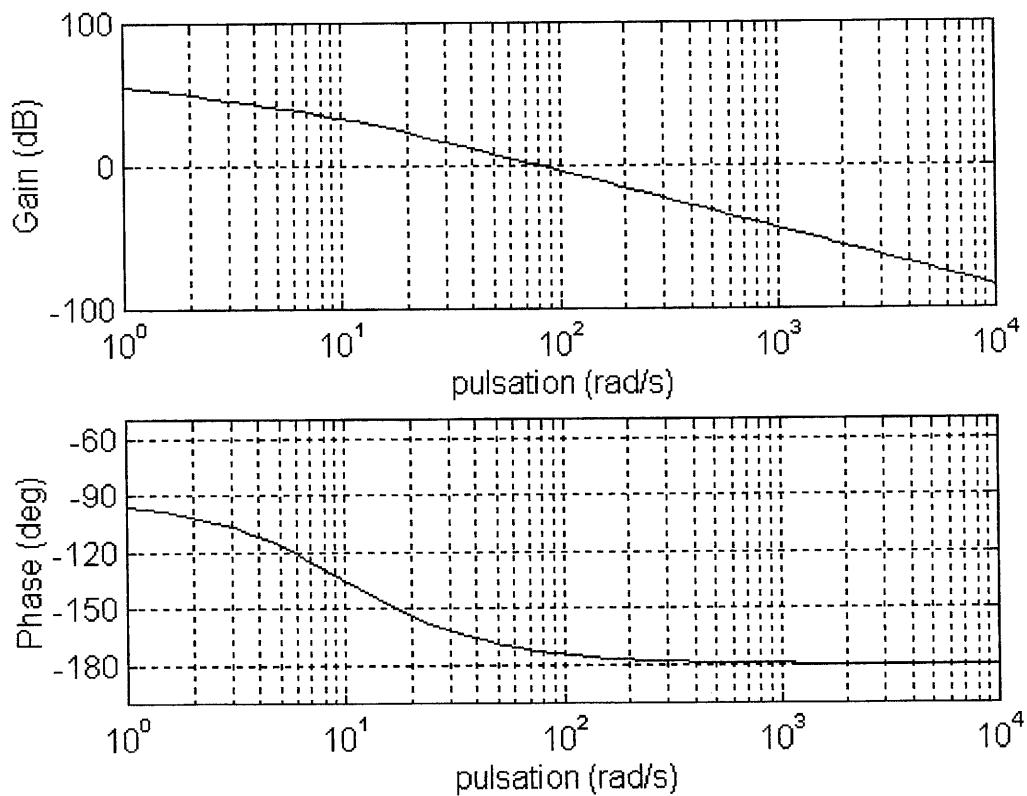
### Annexe 2 : Hacheur de tension



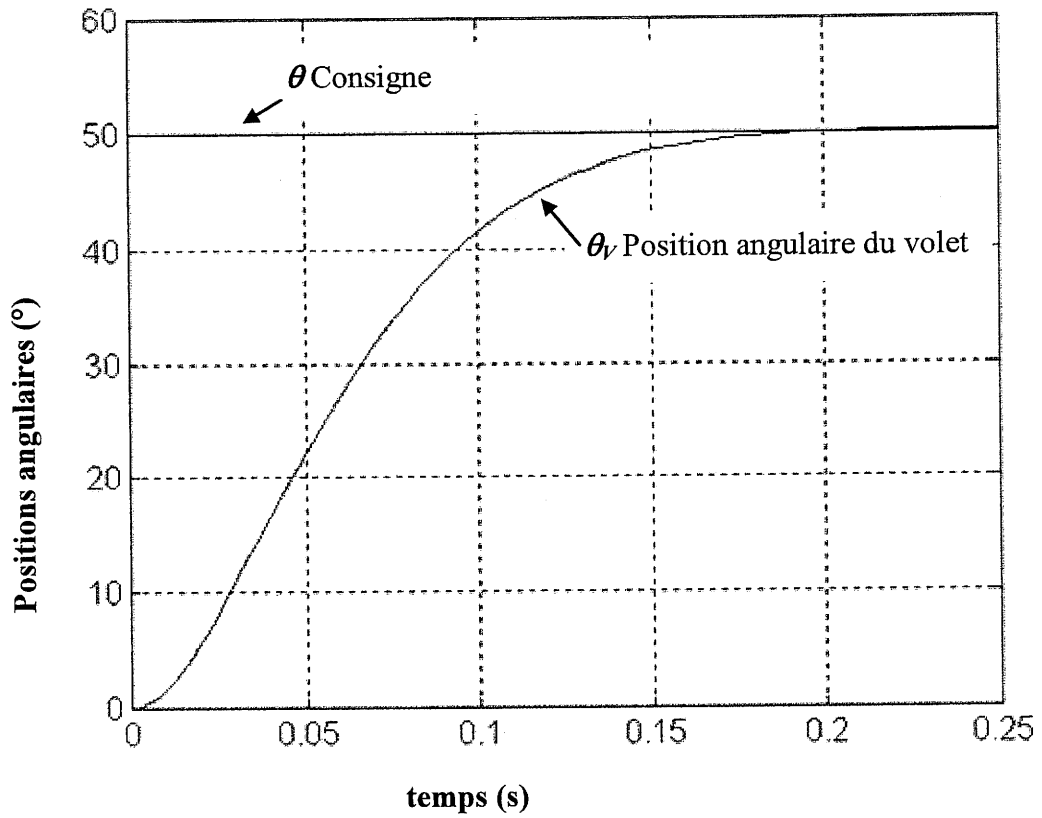
### Document réponse 1



### Document réponse 2 : Diagrammes de Bode en boucle ouverte SANS correcteur



**Document réponse 3** : Position du volet : réponse indicielle, AVEC correcteur



**Document réponse 4** : Réponse indicielle du correcteur numérique

$n$	0	1	2	3
$e_n$				
$s_n$				