

EPREUVE SPECIFIQUE - FILIERE PSI**SCIENCES INDUSTRIELLES (S.I.)****Durée : 4 heures***Les calculatrices sont autorisées.*

N.B. : 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.

Le candidat attachera la plus grande importance à la clarté, à la précision et à la concision de la rédaction.

Le sujet comporte 14 pages, 3 annexes et 4 documents réponse.

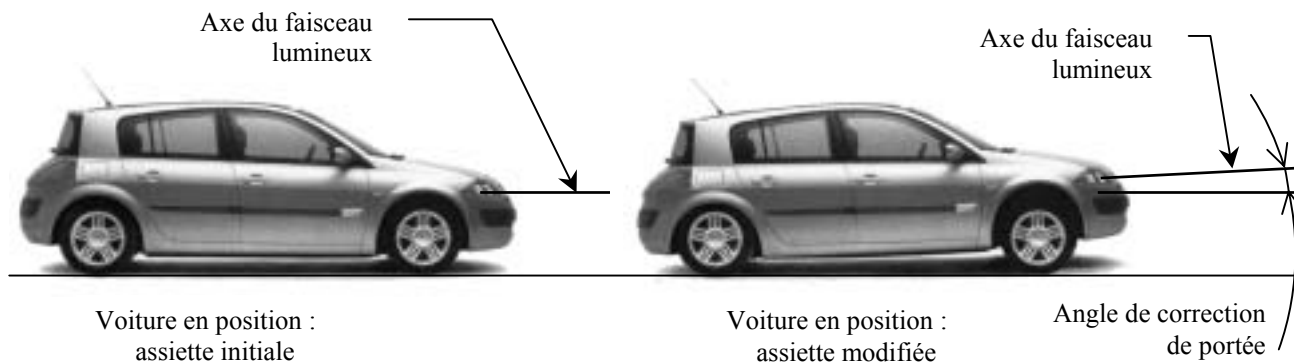
Toute documentation autre que celle fournie est interdite.

Système de correction de portée d'un phare automobile

Bloc optique avec
correcteur automatique de
portée.

I. Mise en situation

L'assiette d'un véhicule se modifie avec sa charge, le profil de la route ou les conditions de conduite (phase de freinage ou d'accélération). Cette modification entraîne une variation d'inclinaison de l'axe du faisceau lumineux produit par les phares du véhicule. Ceux ci peuvent alors éblouir d'autres conducteurs ou mal éclairer la chaussée.

**Tournez la page S.V.P.**

Certaines voitures sont équipées de système de correction de portée. Ce système fait appel à des capteurs d'assiette reliés aux essieux avant et arrière du véhicule. Les données sont traitées électroniquement par un ordinateur et transmises aux actionneurs situés derrière les projecteurs. La position du projecteur est ajustée en maintenant un angle de faisceau optimal évitant tout éblouissement et fournissant le meilleur éclairage de la route.

Le système étudié est un correcteur de portée statique, qui corrige la portée lorsque le véhicule est à l'arrêt et conserve cette correction lorsque le véhicule roule (le correcteur ne tient compte que de la variation d'assiette due à la charge).

Le but de l'étude est d'analyser le système et de montrer s'il est capable de corriger la portée de manière dynamique, c'est à dire en tenant compte des variations d'assiette dues au profil de la route.

II. Présentation du système

Eléments constitutifs du correcteur de portée :

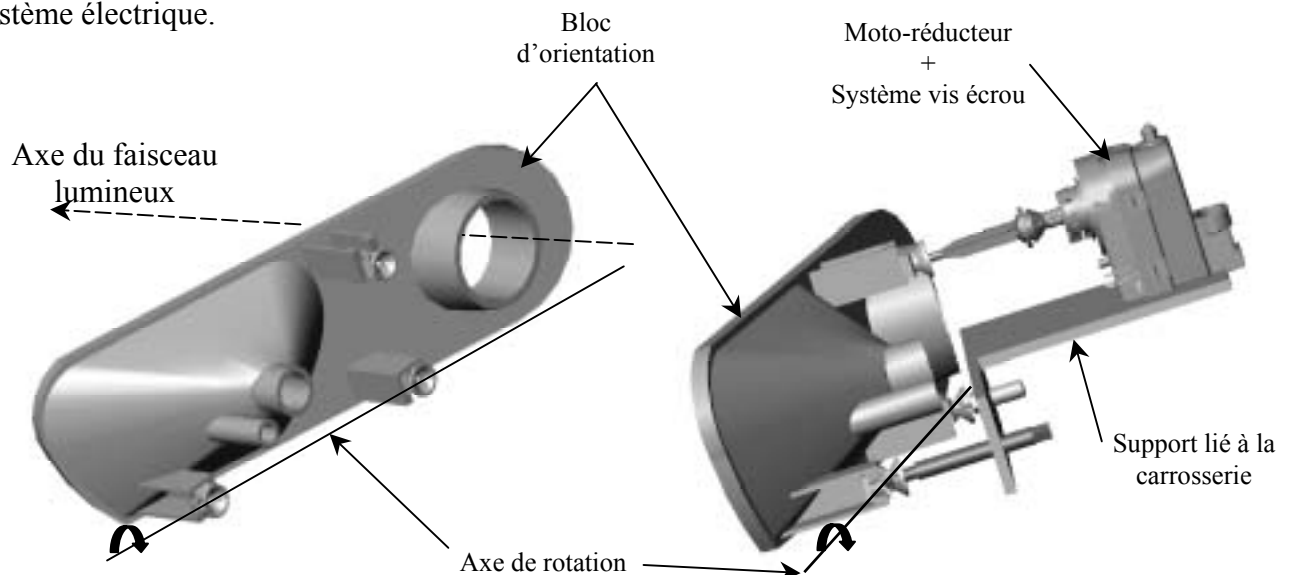
- **Capteurs d'assiette** : codeurs optiques permettant de mesurer le débattement des suspensions.
- **Système d'orientation** : bloc d'orientation + moto-réducteur + système vis écrou

Le bloc d'orientation supporte les différentes lampes du phare (codes, clignotants...).

Il peut pivoter par rapport au support lié à la carrosserie autour d'un axe horizontal (axe de rotation indiqué sur la figure ci-dessous). Le bloc est protégé par une vitre liée à la carrosserie.

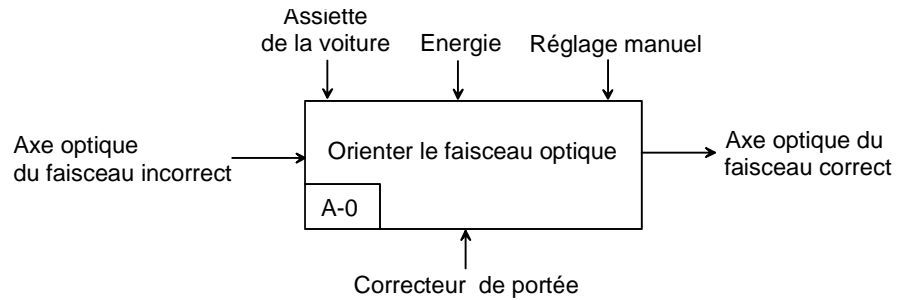
Ce mouvement est motorisé grâce au moto-réducteur + système vis écrou.

Il existe aussi une possibilité de réglage manuel en sortie d'usine ou en cas de défaillance du système électrique.



- **Calculateur** : à partir des données des capteurs d'assiette, le calculateur pilote le moto-réducteur.

SADT niveau A-0



Les diagrammes SADT niveau A0 et A3 (incomplets) sont donnés en annexe 3.

Q 1. Déterminer A, B, C, D, E, F et G (sur feuille de copie).

III. Etude de la fonction : « orienter l'axe optique »

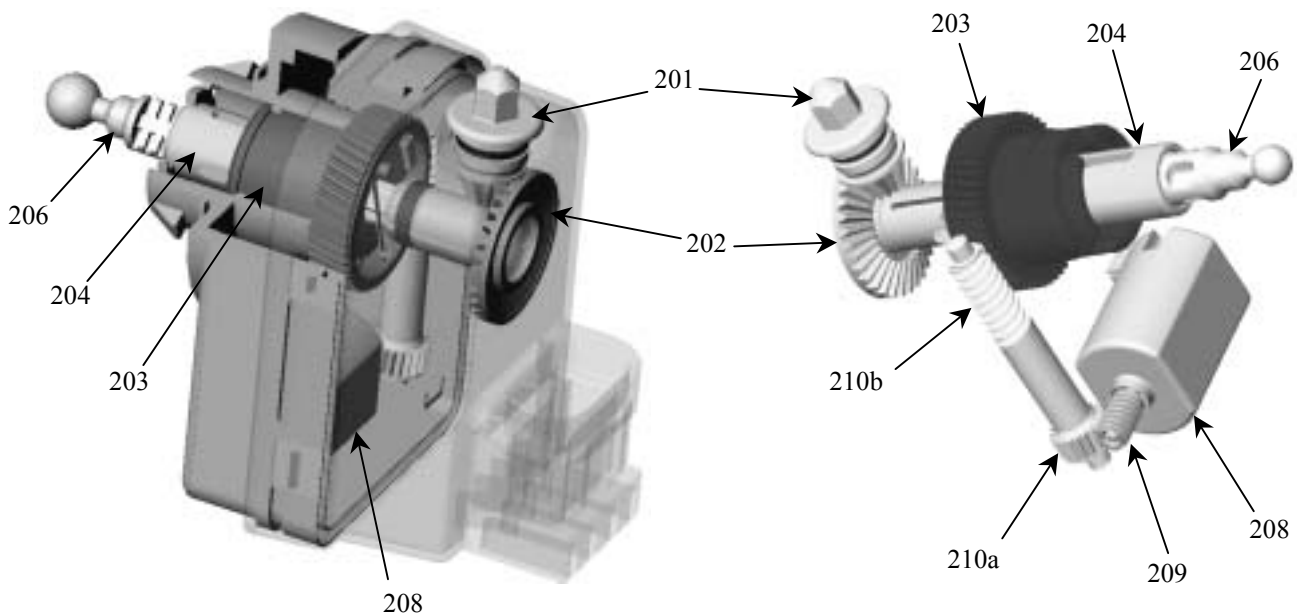
A. Etude de la chaîne cinématique : moto-réducteur + système vis écrou

Voir le plan d'ensemble et la nomenclature sur l'annexe 2.

La chaîne cinématique est constituée d'un moteur électrique **208**, de 2 réducteurs roue et vis sans fin (**209 / 210a** et **210b / 203**) et d'un double système vis écrou (réglage manuel et réglage motorisé).

Vue avec boîtier gauche (un quart enlevé)
et boîtier droit translucide

Vue sans boîtier

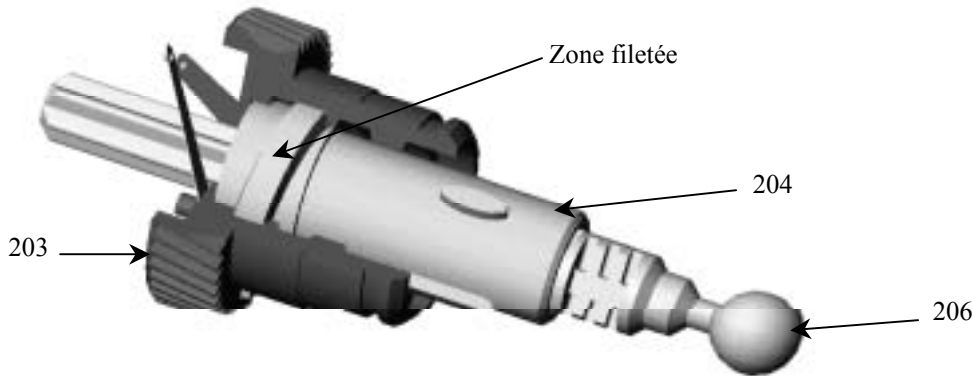


Le moteur **208** entraîne en rotation la vis sans fin **209** qui entraîne la roue **210a** par un système roue et vis sans fin. La vis **210b** entraîne à son tour la roue **203** par un autre système roue et vis sans fin.

Tournez la page S.V.P.

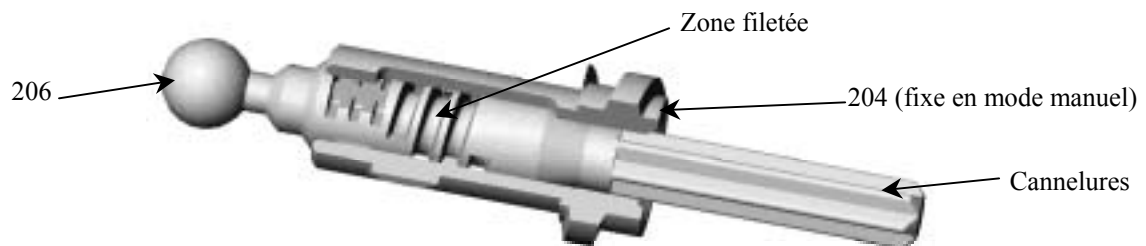
Mode motorisé : système vis 204 écrou 203

Un système vis **204** écrou **203** permet de transformer la rotation de la roue **203** en une translation de la tige **206** (liée à **204** en mode motorisé). Celle-ci permet l'orientation du phare par l'intermédiaire de la biellette de poussée **303** (voir schéma cinématique et annexe 1).

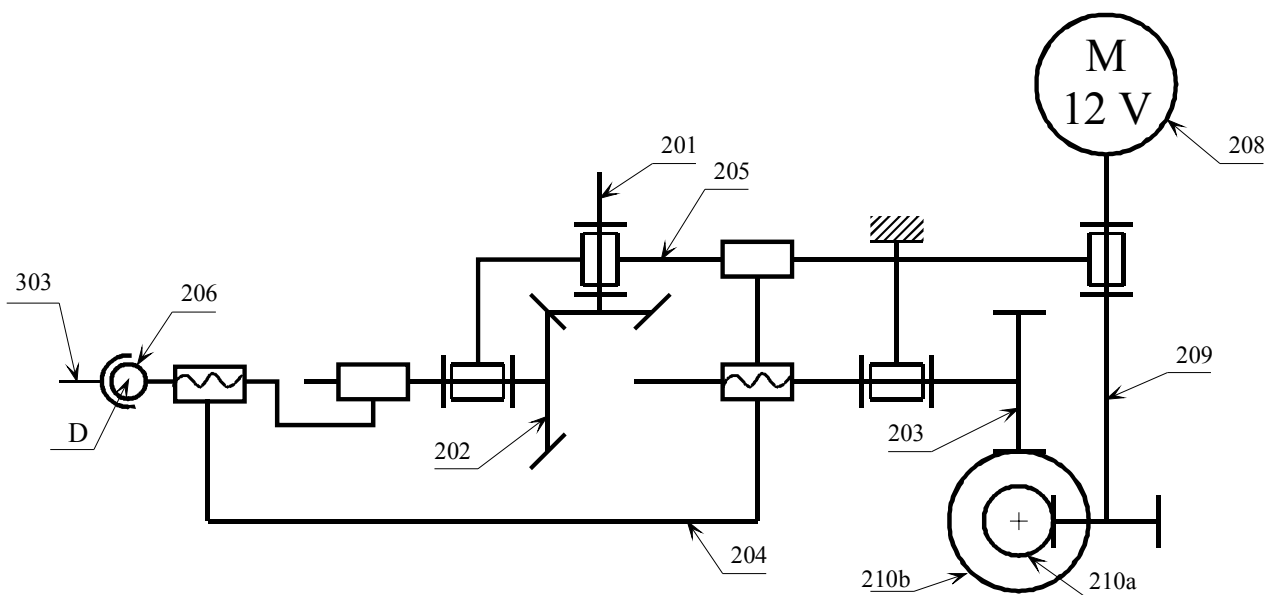


Mode manuel : système vis 206 écrou 204

La rotation du bouton de réglage manuel **201** permet la rotation de la vis **206** par l'intermédiaire de l'engrenage conique **201 - 202** et de cannelures entre **202** et **206**. L'écrou **204** étant fixe en mode manuel la vis **206** a donc un mouvement hélicoïdal.



Le système moto-réducteur et vis écrou est modélisé par le schéma cinématique suivant :



Q 2. Sur le document réponse 1 :

Pour le réglage motorisé et le réglage manuel :

Surligner en vert les pièces ayant un mouvement de rotation par rapport au bâti.

Surligner en bleu les pièces ayant un mouvement de translation par rapport au bâti.

Surligner en rouge les pièces ayant un mouvement de rotation et translation par rapport au bâti.

Q 3. Sur le dessin d'ensemble, document réponse 2:

Colorier en vert, sur toutes les vues l'écrou **204**.

Un diagramme FAST incomplet relatif au déplacement de la pièce 206 est donné en annexe 3.

Q 4. Déterminer V , W , X , Y et Z (sur feuille de copie).

B. Etude de l'orientation du bloc optique

Voir le système d'orientation en annexe 1 et sur les figures page 2.

Deux liaisons en A et B permettent au boîtier **301** de pivoter par rapport au bâti autour d'un axe horizontal (A, \vec{y}) .

La liaison rotule de centre A est réalisée par une pièce intermédiaire en plastique, **302**, clipsée sur un embout sphérique lié au bâti **304** et fixé sur le boîtier **301**.

La liaison linéaire annulaire en B est réalisée par une pièce plastique **302** identique clipsée sur un embout sphérique lié au bâti **304** mais en liaison glissière de direction \vec{y} par rapport au boîtier **301**.

Détail : liaison en B

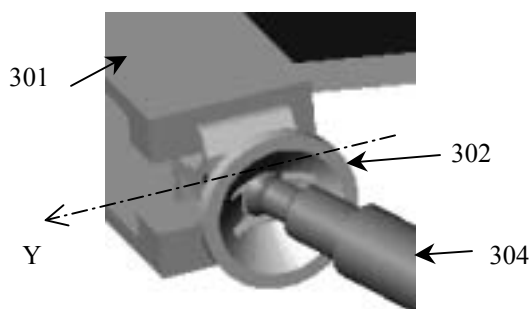
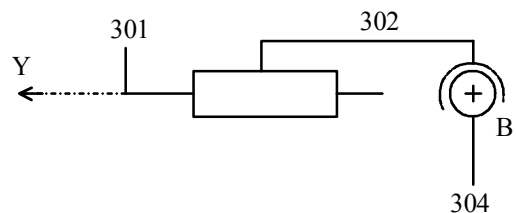


Schéma cinématique de la liaison en B



Q 5. Démontrer que la liaison équivalente en B est une liaison linéaire annulaire d'axe (B, \vec{y}) .

Q 6. Justifier sans calcul la liaison équivalente entre le boîtier **301** et le bâti **304** en ne tenant compte que des liaisons en A et B.

Q 7. Tracer sur le document réponse 3, dans le cas d'un réglage motorisé, le schéma cinématique minimal dans le plan (A, \vec{x}, \vec{z}) de la chaîne fermée constituée du bâti **304** et des pièces **301**, **206** et **303**.

Tournez la page S.V.P.

Q 8. Le système est-il isostatique ? Justifier par le calcul.

La position définie sur l'épure, document réponse 3, correspond à une position extrême **0** (points A, C et D).

On notera A, C₁ et D₁ les points dans l'autre configuration extrême **1**.

*Q 9. En supposant la course de l'axe **206** égale à 30 mm ($\overrightarrow{DD_1} = 30\vec{x}$), tracer sur le document réponse 3 le point C₁, les pièces **301** et **303** et l'axe du faisceau lumineux. Mesurer l'amplitude angulaire du faisceau.*

Le cahier des charges impose une vitesse de rotation du boîtier **301** par rapport au bâti de 0,06 rad/s dans la configuration extrême **1**. On a : AC=100 mm.

Echelle impérative : 10 mm pour 1 mm/s.

*Q 10. Déterminer graphiquement la vitesse de translation de la tige **206** par rapport au bâti. On expliquera soigneusement les tracés.*

A partir des données se trouvant dans la nomenclature de l'annexe 2

Q 11. Calculer le rapport de réduction $\frac{\omega_{203/b\hat{a}ti}}{\omega_{209/b\hat{a}ti}}$ puis la vitesse de rotation du moteur. Donner la valeur en tour / min.

Afin de déterminer par la suite les caractéristiques du moteur, il est nécessaire de connaître l'effort exercé en C par la bielle de poussée **206** sur le bloc optique **301**.

Pour simplifier les calculs, on se placera dans la position extrême **0** (positions A, C et D).

Hypothèses : On néglige la masse de la biellette **303**.

Le véhicule est à l'arrêt.

$$\overrightarrow{DC} = 60\vec{x} \quad (\text{en mm})$$

*Q 12. Isoler la biellette **303** et déterminer la direction de l'effort en C.*

Données : Dans un souci de simplification, on suppose la masse de l'ensemble pivotant (boîtier **301**, ampoules) concentré en G, centre de gravité de l'ensemble.

$$\overrightarrow{AG} = 40\vec{x} + 70\vec{y} + 50\vec{z} \quad (\text{en mm}) \quad m = 1 \text{ kg} \quad g = 10 \text{ m.s}^{-2}$$

*Q 13. Déterminer le moment d'inertie J_{Ay} par rapport à l'axe (A, \vec{y}) de l'ensemble pivotant (boîtier **301**, ampoules).*

Des études de cas réelles montrent que l'ensemble mobile (**301**, ampoules...) doit avoir une accélération angulaire de $\ddot{\theta} = 10 \text{ rad/s}^2$ au démarrage du moteur.

On rappelle : $\overrightarrow{AC} = 100\vec{z}$ (en mm)

Q 14. Isoler l'ensemble pivotant (301, ampoules) et déterminer l'effort de poussée en C. Commenter le sens de l'effort.

On suppose maintenant la correction de portée dans l'autre sens (remontée du faisceau). On se placera toujours dans la position extrême 0.

Q 15. Calculer à nouveau l'effort en C.

Données : rendement du système vis / écrou : $\eta_{\text{vis/écrou}} = 0,4$.
rendement d'une roue et vis sans fin : $\eta_{\text{roue/vis}} = 0,3$.

*Q 16. Déterminer pour la position extrême 0 et dans le cas qui sollicite le plus le moteur, la puissance nécessaire à ce dernier pour corriger l'angle du faisceau optique.
La puissance trouvée vous paraît-elle raisonnable au vu des dimensions du moteur?*

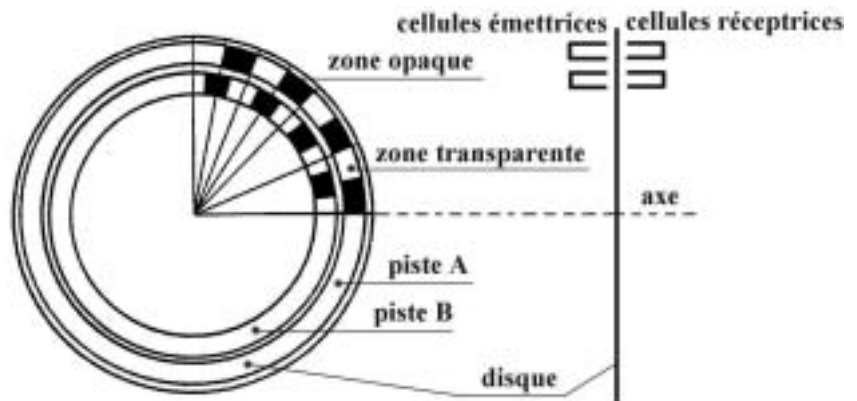
IV. Etude des fonctions « Capter » et « Gérer »

Les capteurs d'assiette donnent des informations sur la position du châssis de la voiture et le calculateur détermine l'angle de correction de portée qui correspond à l'angle de tangage du véhicule.

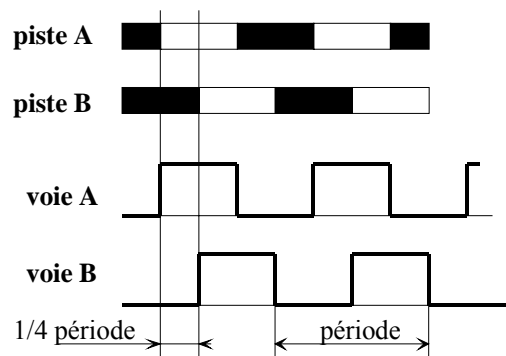
A. Etude des capteurs d'assiette

Il s'agit de capteurs rotatifs opto-électroniques de type incrémentaux.
C'est un capteur de position angulaire comportant :

- ✓ Un **disque optique** mobile avec 2 pistes (A et B) comportant chacune une succession de parties opaques et transparentes.
- ✓ Deux **cellules fixes**, pour chaque piste : une cellule émettrice de lumière d'un côté et une réceptrice de l'autre.



Chaque passage d'une zone transparente à une autre est détecté par les cellules réceptrices.
Les 2 pistes sont décalées d'un quart de période et la rotation du disque donne les signaux suivants :



Tournez la page S.V.P.

Exploitation des voies A et B

Les codeurs incrémentaux permettent 3 niveaux de précision d'exploitation :

- ✓ Utilisation des fronts montants de la voie A seule.
- ✓ Utilisation des fronts montants et descendants de la voie A seule.
- ✓ Utilisation des fronts montants et descendants des voies A et B.

Le disque optique est relié par un système de biellettes à la barre de torsion de la voiture. L'écrasement d'une suspension provoque la rotation de cette barre et donc du disque optique. Le système de biellettes amplifie l'angle de rotation.

Compte tenu du débattement limite du châssis de la voiture, le disque optique tourne au maximum de plus ou moins 30°.

On souhaite obtenir un signal au minimum tous les $\frac{1}{10}$ de degré.

La résolution d'un capteur incrémental correspond au nombre de fentes transparentes réparties sur une piste du disque optique (pour un tour).

Q 17. Après avoir calculé le nombre de points à mesurer, déterminer la résolution du capteur à utiliser dans le cas des trois exploitations possibles.

Les capteurs standards ont une résolution en puissance de 2.

Q 18. Dans le cas de l'exploitation des voies A et B, donner la résolution du capteur à adopter.

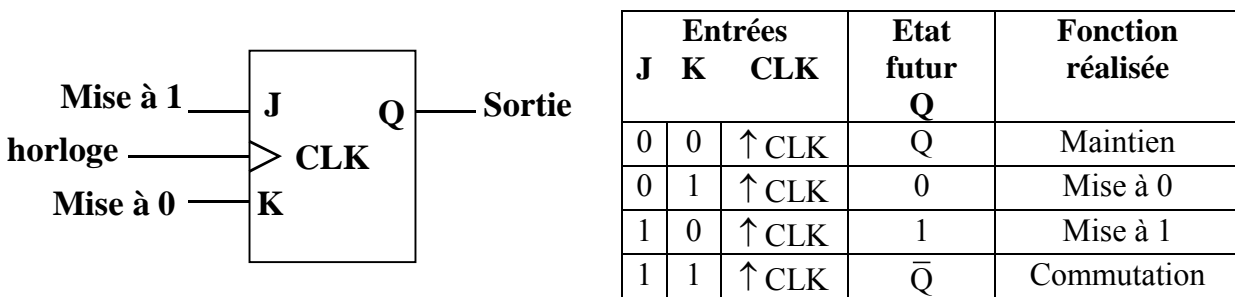
Suivant la configuration de la route, la voiture penche vers l'avant ou l'arrière. Le disque optique tourne donc dans un sens ou dans l'autre.

Q 19. A partir des informations délivrées par les voies A et B, expliquer comment déterminer le sens de rotation.

Afin d'exploiter les informations émises par le capteur, une carte électronique permet de compter ou décompter (en fonction du sens de rotation) les fronts montants ou descendants de la voie A.

Nous allons nous intéresser à un compteur asynchrone réalisé par des bascules JK.

Bascule JK : principe de fonctionnement



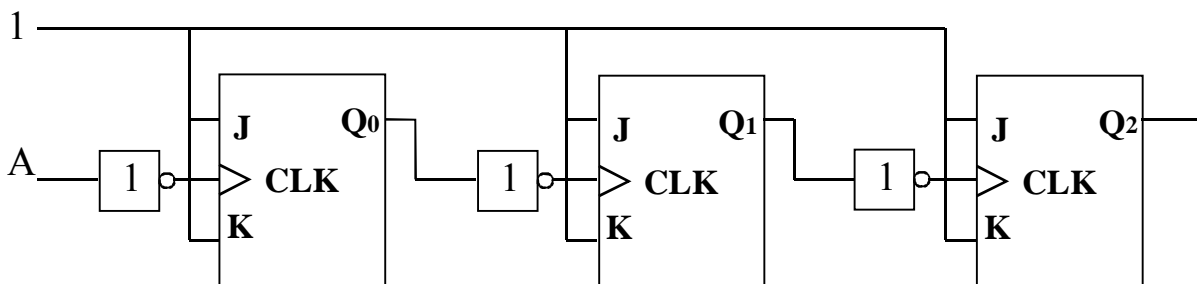
Sans front montant sur CLK (↑ CLK), la bascule conserve son état.

Q 20. Compléter le chronogramme 1 sur le document réponse 4.

On considère le front montant de l'horloge comme implicite.

Q 21. Sur le document réponse 4, compléter le tableau de Karnaugh donnant Q_{n+1} (état de la bascule après le front montant n de l'horloge) en fonction de Q_n (état de la bascule avant le front montant n), J et K . Donner l'expression simplifiée de Q_{n+1} .

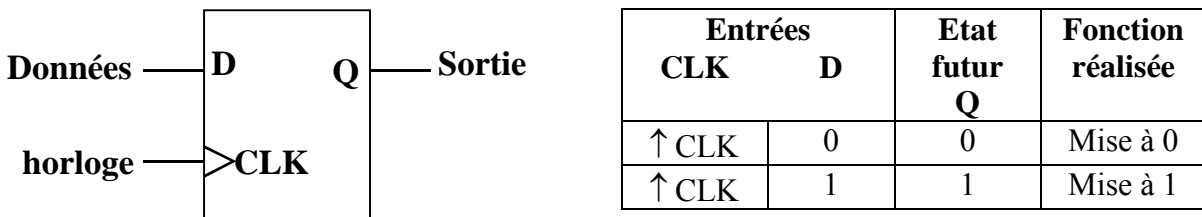
Nous allons maintenant nous intéresser à un compteur sur 3 bits. Le câblage des bascules est donné ci-dessous.



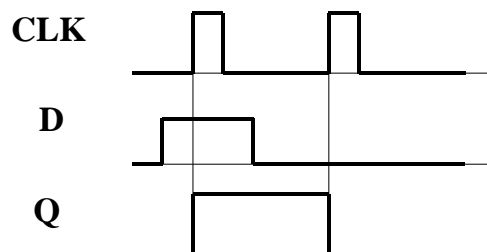
Q 22. Compléter le chronogramme 2 sur le document réponse 4 (Initialement les 3 variables Q sont à 0). A quoi correspondent les variables binaires : Q_0 , Q_1 et Q_2 ? Conclure.

Nous allons maintenant nous intéresser à un compteur asynchrone réalisé par des bascules D.

Bascule D : principe de fonctionnement



En absence de front montant de l'horloge (\uparrow CLK), la bascule conserve son état.



Q 23. Sur le document réponse 4, compléter le schéma du compteur asynchrone construit avec des bascules D (le comptage se fera sur les fronts montants de A et non descendant comme avant). Initialement, les 3 variables Q_0 , Q_1 et Q_2 sont à 0.

Q 24. Pour compter de 0 à 1023, expliquer quel est le nombre de bascules à utiliser pour répondre au cahier des charges.

B. Calcul de l'angle de tangage en fonction de l'accélération du véhicule

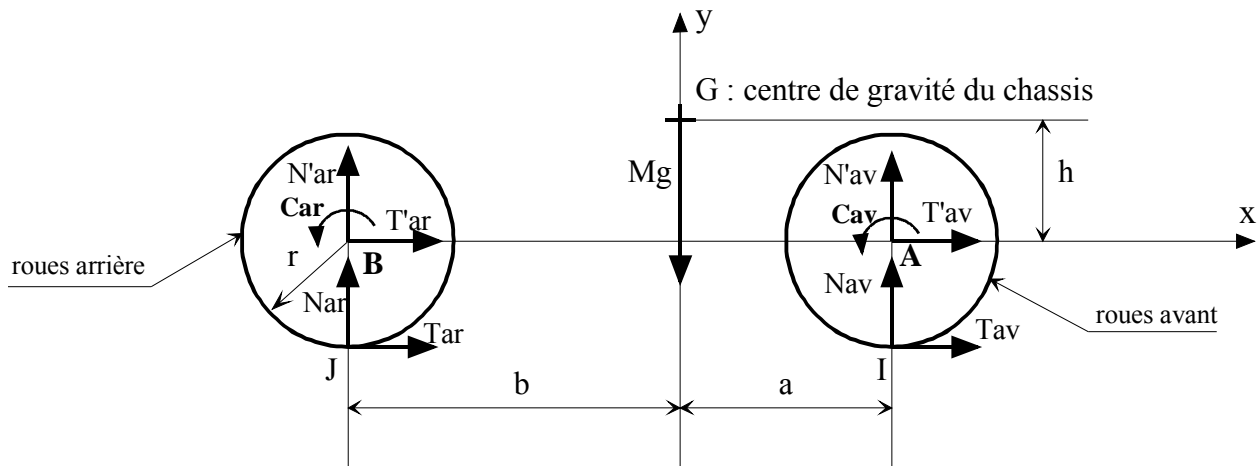
Le but est de déterminer le comportement d'une voiture lors d'une phase de freinage ou d'accélération afin de prouver l'intérêt de la correction automatique des phares.

Notations et hypothèses :

$\{F_{S_1 \rightarrow S_2}\}_M$: torseur statique de l'effort de S_1 sur S_2 exprimé au point M.

Tous les torseurs sont écrits dans la base $(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$.

Notre étude portant sur l'angle de tangage de la voiture (angle autour de \vec{z}), nous nous ramènerons à un problème plan, dans le plan (G, \vec{x}, \vec{y}) . Nous considérerons donc 3 groupes cinématiques : le châssis, l'ensemble des 2 roues avant d'axe (A, \vec{z}) et l'ensemble des 2 roues arrière d'axe (B, \vec{z}) .



$$\{F_{\text{roues arri\`ere} \rightarrow \text{chassis}}\}_B = \begin{Bmatrix} T'_{ar} & 0 \\ N'_{ar} & 0 \\ 0 & C_{ar} \end{Bmatrix}_B$$

$$\{F_{\text{roues avant} \rightarrow \text{chassis}}\}_A = \begin{Bmatrix} T'_{av} & 0 \\ N'_{av} & 0 \\ 0 & C_{av} \end{Bmatrix}_A$$

C_{av} et C_{ar} sont aussi bien des couples de freinage que des couples d'accélération (positif ou négatif).

$$\{F_{\text{sol} \rightarrow \text{roues arri\`ere}}\}_J = \begin{Bmatrix} T_{ar} & 0 \\ N_{ar} & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_J$$

$$\{F_{\text{sol} \rightarrow \text{roues avant}}\}_I = \begin{Bmatrix} T_{av} & 0 \\ N_{av} & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_I$$

Données : I_{av} : moment d'inertie équivalent des roues avant et de l'ensemble des pièces tournantes par rapport à l'axe de rotation (A, \vec{z}) .
 I_{ar} : moment d'inertie équivalent des roues arrière et de l'ensemble des pièces tournantes par rapport à l'axe de rotation (B, \vec{z}) .

r : rayon d'une roue.

m : masse de l'ensemble comprenant les 2 roues avant ou les 2 roues arrière.

M : masse du châssis.

On considère qu'il y a roulement sans glissement en I et J entre les roues et la route et que la voiture roule en ligne droite.

$$\vec{\Omega}(\text{roue/sol}) = \dot{\theta} \vec{z}.$$

$$\vec{\Omega}(\text{chassis/sol}) \text{ négligé et l'accélération } \vec{\Gamma}(G, \text{chassis/sol}) = \Gamma \vec{x}.$$

B.1 Recherche de l'accélération de la voiture en fonction des couples C_{av} et C_{ar}

Q 25. Isoler l'ensemble des roues avant et écrire les 3 équations issues du principe fondamental de la dynamique (l'équation des moments sera exprimée au point A).

Q 26. Isoler l'ensemble des roues arrière et écrire les 3 équations issues du principe fondamental de la dynamique (l'équation des moments sera exprimée au point B).

Q 27. Isoler le châssis et écrire les 3 équations issues du principe fondamental de la dynamique (l'équation des moments sera exprimée au point G).

Q 28. En utilisant le roulement sans glissement en I entre la roue avant et le sol, trouver une relation entre l'accélération de la voiture Γ et $\ddot{\theta}$ (dérivée par rapport au temps de la vitesse de rotation de la roue par rapport au sol).

Q 29. A partir des 4 questions précédentes, déterminer l'accélération de la voiture Γ en fonction de C_{av} , C_{ar} , r , m , M et I ($I = I_{av} + I_{ar}$).

B.2 Détermination du comportement de différents types de voiture en phase de freinage et d'accélération

Q 30. Trouver les efforts dans les suspensions avant et arrière (N'_{av} et N'_{ar}) en fonction du couple C ($C = C_{av} + C_{ar}$), M , a , h et Γ .

Préciser pour chaque suspension l'augmentation ou la diminution de l'effort par rapport à ceux de la position d'équilibre (voiture à l'arrêt).

Q 31. Préciser le signe du couple C et de l'accélération Γ lors d'une phase de freinage et d'accélération, en marche avant.

Q 32. Recopier et compléter le tableau suivant sur votre feuille de copie. On indiquera pour chaque case si c'est l'avant ou l'arrière de la voiture qui se soulève. (dans tous les cas, une voiture freine des 4 roues en même temps).

Pour chaque cas (traction, propulsion et transmission intégrale), précisez la direction des efforts $\text{sol} \rightarrow \text{roues avant}$ et $\text{sol} \rightarrow \text{roues arrière}$ (horizontal ou vertical ou incliné vers l'avant ou incliné vers l'arrière).

	<i>Phase d'accélération</i>	<i>Phase de freinage</i>
Traction (2 roues avant motrices)		
Propulsion (2 roues arrière motrices)		
Transmission intégrale (4 roues motrices)		

B.3 Cas particulier et applications numériques.

On étudie la voiture dans une phase de forte accélération.

On suppose qu'elle passe de 0 à 100 km/h en 7 s à accélération constante.

Q 33. Déterminer son accélération.

Q 34. En se servant des résultats de la question Q29, déterminer le couple d'accélération C à fournir aux roues de la voiture.

On prendra : $M = 1300$ kg, $m = 30$ kg, $r = 30$ cm et $I = 4$ kg.m².

Q 35. Trouver alors numériquement les efforts dans les suspensions avant et arrière (N'_{av} et N'_{ar}). On prendra $g = 10$ m.s⁻² ; $a = 1$ m ; $b = 1,6$ m et $h = 30$ cm.

La voiture étant à l'arrêt, calculer les efforts dans les suspensions. Calculer alors l'augmentation ou la diminution de ces efforts durant la phase d'accélération.

La voiture à l'arrêt est supposée horizontale.

Q 36. Déterminer la valeur de l'angle de tangage β de la voiture en fonction de la raideur k des amortisseurs. Faire l'application numérique. $k = 300$ N/cm

L'angle obtenu se trouve-t-il dans la plage d'angle de correction de portée déterminée question Q9.

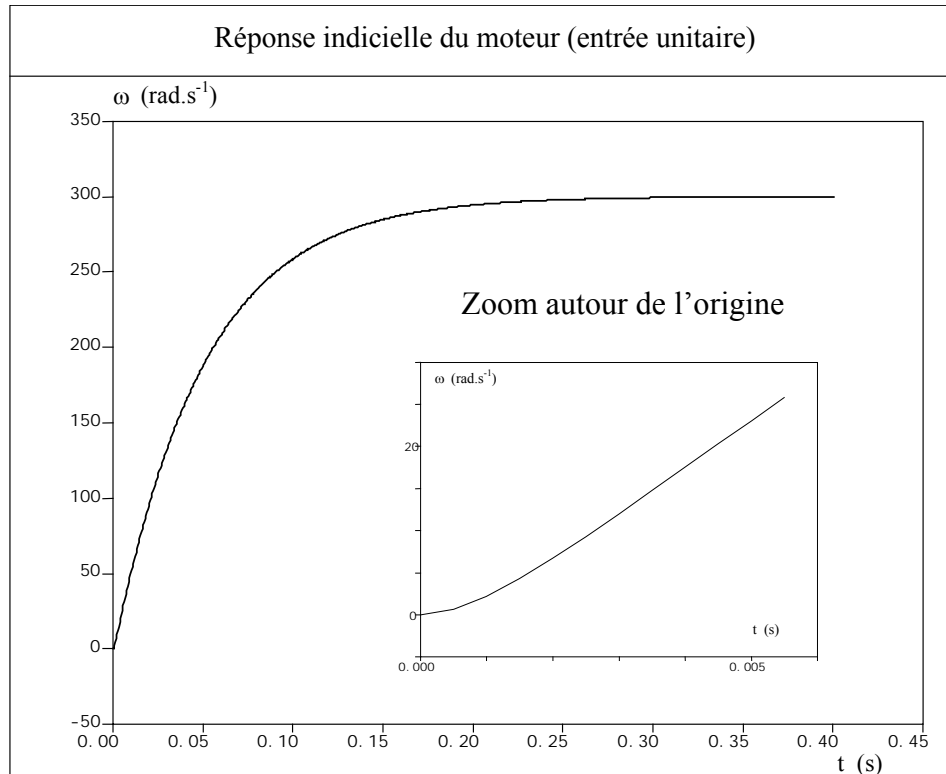
V. Etude de la chaîne d'action complète

La chaîne d'action complète comprend :

- ✓ L'ensemble capteur + amplificateur + calculateur qui mesure l'angle de tangage β du véhicule et commande le moteur du système de correction. L'ensemble est assimilable à un gain pur : K_c . On supposera que toutes les variables sont à variation continue.
- ✓ Le moteur à courant continu dont la fonction de transfert est notée $M(p)$. On équipe ce moteur d'un retour tachymétrique assimilable à un gain pur : K_{tachy} .
- ✓ Le réducteur et le système vis-écrou dont les caractéristiques sont données dans la nomenclature de l'annexe 2.
- ✓ Le bloc d'orientation : l'angle de correction de portée θ étant petit, on peut linéariser la loi entrée-sortie sur le domaine d'utilisation ; l'angle θ est proportionnel au déplacement x de la vis (θ varie entre $-\frac{\pi}{20}$ et $+\frac{\pi}{20}$ pour x compris entre -15 mm et $+15$ mm).

Q 37. Tracer le diagramme fonctionnel de la chaîne d'action en prenant comme entrée $B(p)$, transformée de Laplace de $\beta(t)$ et comme sortie $\Theta(p)$, transformée de Laplace de $\theta(t)$. Préciser les variables intermédiaires et les unités.

Pour déterminer la fonction de transfert du moteur, $M(p)$, on dispose de sa réponse indicielle (entrée unitaire).



Q 38. Quelle est la forme de la fonction de transfert du moteur ? Quelle hypothèse pouvons nous faire pour modéliser le système par un système du 1^{er} ordre ? Cette hypothèse vous semble-t-elle justifiée au vu de la réponse indicielle.

On cherche à identifier la fonction de transfert en considérant le système comme un système du 1^{er} ordre sans utiliser la tangente à l'origine.

Q 39. Montrer que pour un système de réponse indicielle $\omega(t) = K(1 - e^{-t/\tau})$, la tangente à la courbe à l'instant t quelconque coupe l'asymptote de $\omega(t)$ à l'instant $t + \tau$.

Q 40. Identifier $M(p)$ et déterminer la fonction de transfert du moteur équipé du retour tachymétrique. Quels sont les avantages et les inconvénients de cette boucle de retour.

Q 41. Montrer que la fonction de transfert de la chaîne d'action complète est donnée approximativement par :

$$H(p) = K_c \frac{0,003}{(1+0,025p)p}$$

Les angles d'entrée et de sortie sont exprimés en radian

On prendra $K_{tachy} = \frac{1}{3} 10^{-2} \text{ V.s.}$

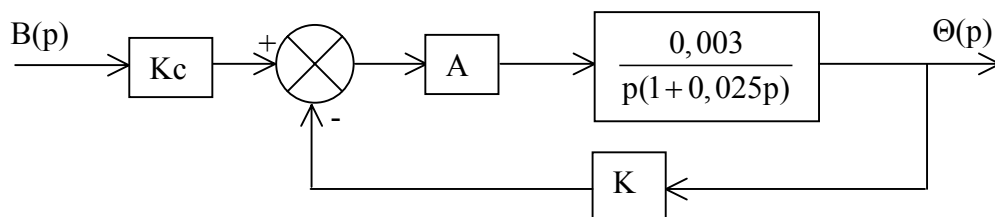
Le véhicule est brusquement chargé à l'arrière.

Q 42. Donner l'allure de la loi d'entrée.

Tracer, sans faire de calcul, l'allure de la réponse. Justifier votre tracé. Est ce satisfaisant ?

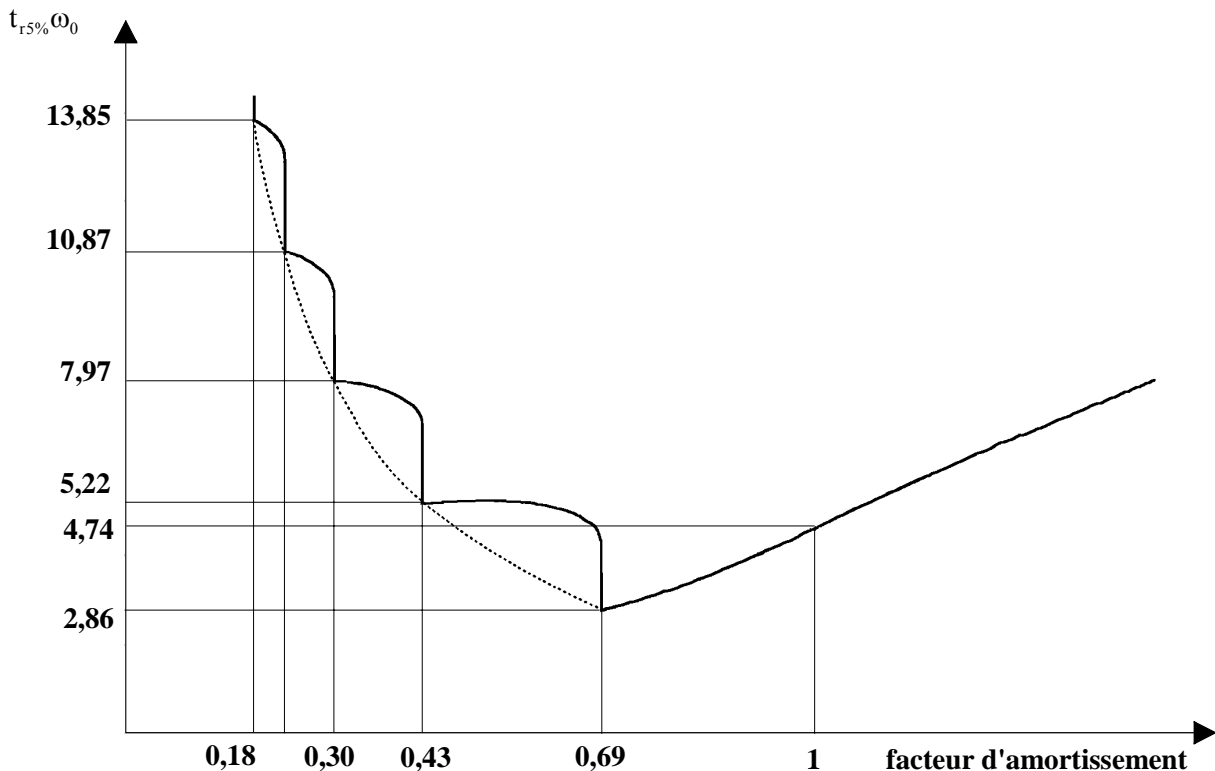
Pour remédier à ce problème on asservit le système en position en plaçant :

- ✓ un capteur de position, de gain K , qui mesure l'angle θ .
- ✓ un amplificateur de gain A .



Q 43. Que peut-on dire de l'écart en position (écart statique) du système.

Q 44. A partir de la courbe ci-dessous, déterminer la quantité $A.K$ qui permet d'avoir le système le plus rapide. Calculer alors le temps de réponse à 5 % du système.



Fin de l'énoncé.