

Proposition de corrigé

Concours : Banque PT

Année : 2017

Filière : PT

Épreuve : Sciences Industrielles C

Ceci est une proposition de corrigé des concours de CPGE, réalisée bénévolement par des enseignants de Sciences Industrielles de l'Ingénieur et d'Informatique, membres de l'[UPSTI](http://www.upsti.fr) (Union des Professeurs de Sciences et Techniques Industrielles), et publiée sur le site de l'association :

<https://www.upsti.fr/espace-etudiants/annales-de-concours>

A l'attention des étudiants

Ce document vous apportera des éléments de corrections pour le sujet traité, mais n'est ni un corrigé officiel du concours, ni un corrigé détaillé ou exhaustif de l'épreuve en question.

L'UPSTI ne répondra pas directement aux questions que peuvent soulever ces corrigés : nous vous invitons à vous rapprocher de vos enseignants si vous souhaitez des compléments d'information, et à vous adresser à eux pour nous faire remonter vos éventuelles remarques.

Licence et Copyright

Toute représentation ou reproduction (même partielle) de ce document faite sans l'accord de l'UPSTI est **interdite**. Seuls le téléchargement et la copie privée à usage personnel sont autorisés (protection au titre des [droits d'auteur](#)).

En cas de doute, n'hésitez pas à nous contacter à : corrigesconcours@upsti.fr.

Informez-vous !

Retrouvez plus d'information sur les [Sciences de l'Ingénieur](#), l'[orientation](#), les [Grandes Ecoles](#) ainsi que sur les [Olympiades de Sciences de l'Ingénieur](#) et sur les [Sciences de l'Ingénieur au Féminin](#) sur notre site : www.upsti.fr

L'équipe UPSTI

I. Etude générale du système

Question 1 : Estimer le travail à fournir pour amener le véhicule à la vitesse annoncée de 50km/h (env. 14 m/s).

On isole le Véhicule.

Le véhicule est soumis :

- A l'action du sol.
- A l'action de la Terre (pesanteur).
- A l'action de l'air.

Hypothèses :

- Déplacement en translation horizontale. La composante normale de l'action du sol ne travaille pas. L'action de pesanteur ne travaille pas.
- L'action de l'air est négligée.
- Seule l'énergie cinétique de translation est prise en compte.
- On suppose que le référentiel lié au sol est galiléen.

Notations :

- V_0 : vitesse initiale du véhicule.
- V_1 : vitesse finale du véhicule.
- M : masse du véhicule.

On applique le théorème de l'énergie cinétique :

$$\underbrace{W_{V_0 \rightarrow V_1}^{Sol}}_{W_{V_0 \rightarrow V_1}^{motrice}} + \underbrace{W_{V_0 \rightarrow V_1}^{Terre}}_0 + \underbrace{W_{V_0 \rightarrow V_1}^{Air}}_0 = \Delta E_c (\text{Véhicule/Rg})$$

$$\text{D'où : } W_{V_0 \rightarrow V_1}^{motrice} = \frac{1}{2} M (V_1^2 - V_0^2)$$

Application numérique :

On a : $M=1500\text{kg}$, $V_1=14\text{m/s}$ et $V_0=0\text{m/s}$.

$$W_{V_0 \rightarrow V_1}^{motrice} = \frac{1}{2} 1500 (14^2 - 0^2) = \frac{1}{2} 1500 \cdot 7^2 \cdot 2^2 = 2.1,5.49 \cdot 10^3 = 3.49 \cdot 10^3 \Rightarrow W_{V_0 \rightarrow V_1}^{motrice} = 147 \cdot 10^3 \text{ J}$$

Question 2 : Quel volume de diazote à la pression atmosphérique (1 bar) faut-il prévoir afin de remplir la vessie pour cette configuration (application numérique) ?

On isole le diazote (gaz) contenu dans la vessie. C'est un système fermé : pas d'échange de gaz avec l'extérieur.

Hypothèses :

- Le gaz subit une transformation isotherme réversible (à 20°C).
- Le gaz se comporte comme un gaz parfait.

Notations :

- p_{gam} : pression atmosphérique.
- V_{gam} : volume occupé par le gaz à la pression atmosphérique.

Transformation :

$$(p_{gam}, V_{gam}, T_i) \xrightarrow{\text{Isotherme à } T_i} (p_{gi}, V_{gi}, T_i)$$

Equation d'état pour une évolution isotherme (loi de Boyle-Mariotte) :

$$p_g V_g = Cte$$

On en déduit que : $p_{gi} V_{gi} = p_{gatm} V_{gatm} \Rightarrow V_{gatm} = \frac{p_{gi}}{p_{gatm}} V_{gi}$

Application numérique :

On a : $V_{gi} = 25L$, $p_{gi} = 10bars$ et $p_{gatm} = 1bar$. On obtient : $V_{gatm} = \frac{10}{1} 25 \Rightarrow V_{gatm} = 250L$

Question 3 : Calculer le travail que doit fournir l'huile au gaz pour que celui-ci soit comprimé à partir du volume initial jusqu'à la limite de p_{max} . Comparer au besoin.

On isole le gaz contenu dans la vessie.

Hypothèses :

- Le gaz subit une transformation isotherme réversible (à 20°C).
- Le gaz se comporte comme un gaz parfait.
- La vessie est infiniment souple.

L'expression du travail absorbé par le gaz lors de sa compression est : $W_{recu} = -\int_{V_{gi}}^{V_{gf}} p_g \cdot dV_g$

Equation d'état pour une évolution isotherme (loi de Boyle-Mariotte) :

$$p_g V_g = Cte \Rightarrow d(p_g V_g) = 0 \Rightarrow p_g dV_g + V_g dp_g = 0 \Rightarrow -\frac{dV_g}{V_g} = \frac{dp_g}{p_g}$$

Et $p_g V_g = Cte = p_{gi} V_{gi} \Rightarrow p_g = \frac{V_{gi}}{V_g} p_{gi}$

On en déduit que : $W_{recu} = -\int_{V_{gi}}^{V_{gf}} p_g \cdot dV_g = -\int_{V_{gi}}^{V_{gf}} \frac{V_{gi}}{V_g} p_{gi} \cdot dV_g = -p_{gi} \cdot V_{gi} \int_{V_{gi}}^{V_{gf}} \frac{dV_g}{V_g} = p_{gi} \cdot V_{gi} \int_{p_{gi}}^{p_{gf}} \frac{dp_g}{p_g}$

$\Rightarrow W_{recu} = p_{gi} \cdot V_{gi} \int_{p_{min}}^{p_{max}} \frac{dp_g}{p_g} = p_{min} \cdot V_{gi} [Ln(p_g)]_{p_{min}}^{p_{max}}$ car $p_{gi} = p_{min}$ et $p_{gf} = p_{max}$

D'où : $W_{recu} = p_{min} \cdot V_{gi} \cdot Ln\left(\frac{p_{max}}{p_{min}}\right)$

Application numérique :

On a : $V_{gi} = 25L = 25 \cdot 10^{-3} m^3$,

$p_{min} = 10bars = 10^6 Pa$ et $p_{max} = 350bars$.

On obtient :

$$W_{recu} = 10^6 \cdot 25 \cdot 10^{-3} \cdot Ln\left(\frac{350}{10}\right) = 25 \cdot 10^3 \cdot Ln(35)$$

$$W_{recu} = 25 \cdot 10^3 \cdot 3,6 = (3,25 + 0,6 \cdot 25) \cdot 10^3$$

$$W_{recu} = (75 + 15) \cdot 10^3 \Rightarrow W_{recu} = 90 \cdot 10^3 J$$

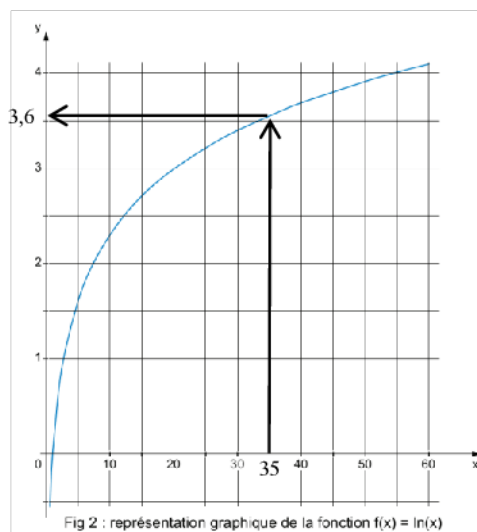


Fig 2 : représentation graphique de la fonction $f(x) = \ln(x)$

Comparaison au besoin : On souhaite récupérer l'énergie du véhicule au freinage de 50km/h à 0km/h soit une énergie de 147kJ (Question 1). L'énergie stockée est donc de 90 kJ ce qui est insuffisant pour répondre au besoin et amener le véhicule à 50 km/h (énergie de 150 kJ).

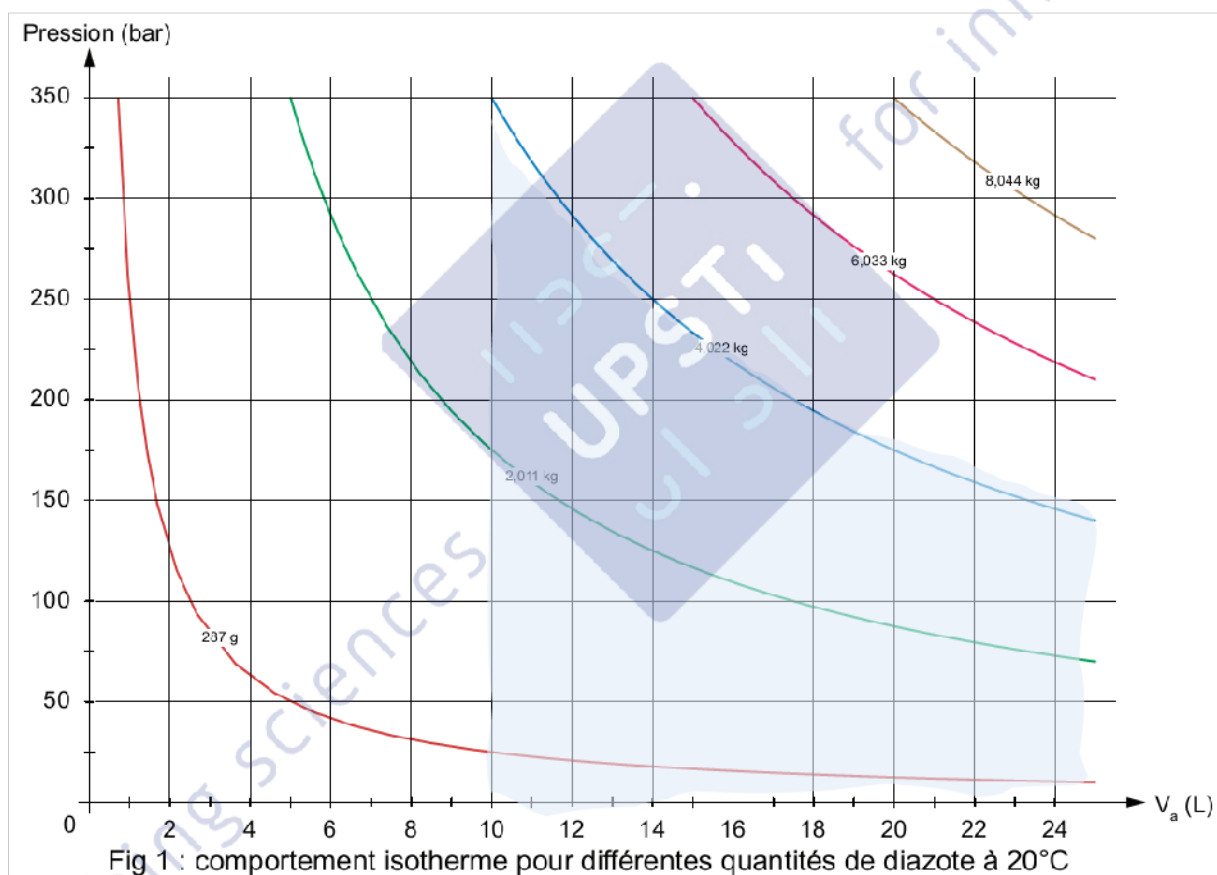
Question 4 : Par une interprétation graphique sur cette figure, déterminer quelle quantité de gaz permet de stocker le plus d'énergie (la justification compte plus que le choix).

Le diagramme $p_g = f(V_g)$ de la figure 1 présente les évolutions isothermes réversibles pour différentes quantités de gaz.

On souhaite obtenir une pression finale $p_{gf} = p_{\max} = 350 \text{ bars}$, pour un volume initial $V_{gi} = 25 \text{ L}$ et un travail des forces de pression $W_{\text{recu}} \geq 147 \text{ kJ}$.

L'aire sous la courbe mesurée entre V_{gi} et V_{gf} représente le travail des forces de pression. Cette aire passe par un maximum pour une masse de gaz comprise entre 287 g et $8,044 \text{ kg}$.

En estimant les aires à l'aide des carreaux, on peut en conclure que l'aire la plus grande est obtenue pour une masse de gaz de $4,022 \text{ kg}$.



Remarque 1 : ce résultat se retrouve analytiquement.

On cherche à stocker le maximum d'énergie, donc il faut maximiser

$$W = p_f \cdot V_f \cdot \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right) = p_f \cdot V_i \cdot \frac{V_f}{V_i} \cdot \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right) \text{ pour un volume initial } V_i \text{ et une pression final } p_f \text{ fixés.}$$

On recherche le maximum de cette fonction par rapport à V_f , ce qui revient à considérer, en

$$\text{posant } x = \frac{V_f}{V_i} :$$

$$\frac{\partial W}{\partial x} = p_f \cdot V_f \cdot \frac{\partial}{\partial x}(x \cdot \ln(x)) = 0$$

$$\Leftrightarrow \ln(x) + 1 = 0$$

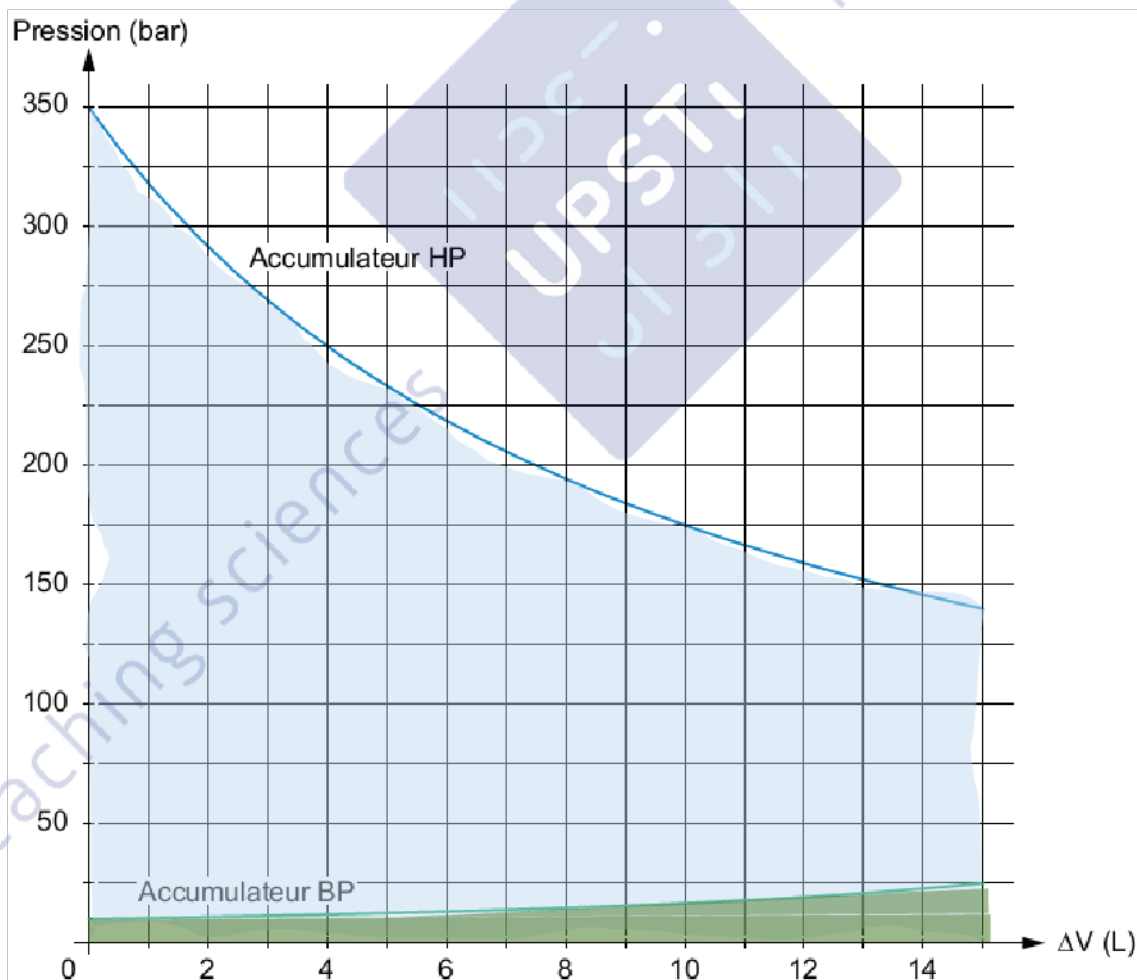
$$\Leftrightarrow x = e^{-1}$$

Le maximum est donc obtenu pour $\frac{V_f}{V_i} = e^{-1}$, donc $V_f = \frac{V_i}{e} \approx \frac{25}{2,7} \approx 10$ ce qui est bien le volume de la courbe 4,022 kg pour une pression de 350 bars.

Remarque 2 : On retrouve, sur la figure 2, pour l'évolution de l'accumulateur HP la réponse à la question précédente (avec un peu moins de 150 bars au volume initial de 25 litres).

Question 5 : Evaluer à partir du graphique, l'énergie emmagasinée lors d'une phase de recharge complète d'énergie. Conclure sur la satisfaction du besoin.

Lors de la complète du gaz dans l'accumulateur HP, une partie de l'énergie est transférée depuis l'accumulateur BP dont le gaz subit une détente. Pour calculer l'énergie emmagasinée, il faut donc retrancher l'aire sous la courbe de la pression dans l'accumulateur BP à celle sous la courbe de la pression dans l'accumulateur HP.



75+39

Chaque carreau équivaut à : $1 \cdot 10^{-3} m^3 \cdot 25 \cdot 10^5 Pa = 25 \cdot 10^2 J = 2,5 kJ$

L'estimation du nombre de carreaux est de 125 carreaux.

L'énergie emmagasinée est estimée à : 310kJ.

Conclusion : Avec cette quantité de gaz, l'énergie restituée peut être de 310 kJ ce qui permet de satisfaire le besoin.

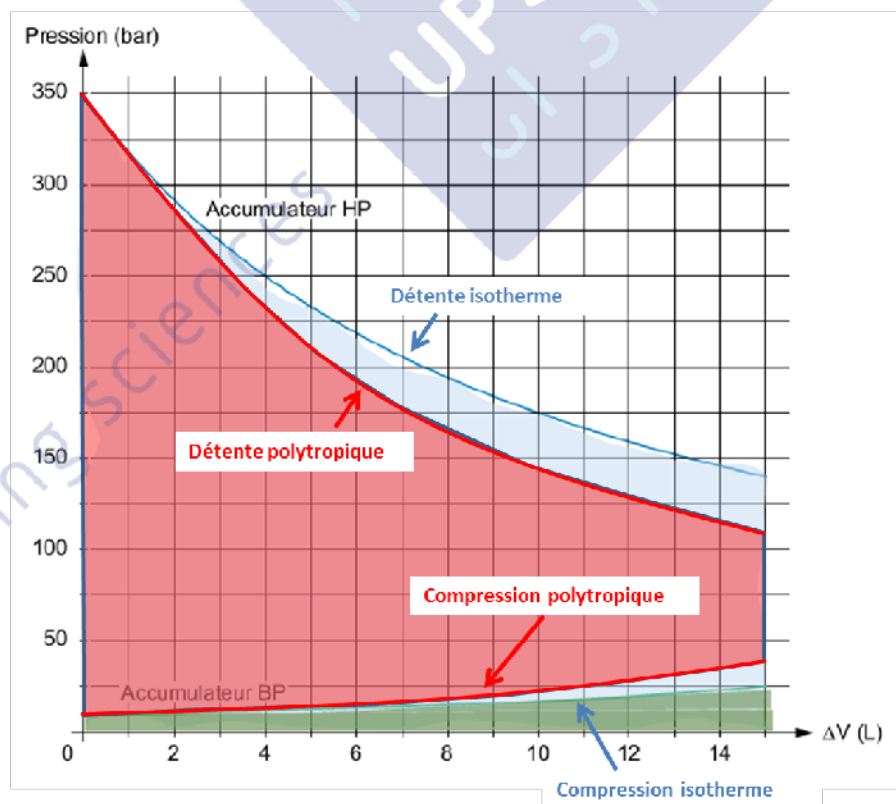
Question 6 : Justifier en quoi une évolution non plus isotherme mais polytropique semble plus réaliste.

L'évolution parfaitement isotherme suppose que le transfert de chaleur soit complet. Cela suppose que la durée de la compression qui correspond à la durée du freinage soit grande devant la constante de temps du transfert thermique.

L'évolution est ici trop rapide pour espérer un comportement isotherme avec transfert de chaleur complet. Un évolution polytropique intermédiaire en une transformation isotherme et adiabatique semble plus réaliste.

Question 7 : Indiquer et justifier en quel sens cela va modifier l'énergie que peut restituer le dispositif au véhicule lors d'une phase de détente brusque de l'accumulateur HP. La courbe de comportement isotherme est reprise dans le cahier réponse et peut éventuellement aider à la réponse.

L'évolution de la pression est en $1/V$ pour une isotherme et en $1/V^\gamma$ (avec $\gamma > 1$) pour une polytropique, donc une inflexion plus forte. Ce qui entraîne une diminution de l'aire entre les courbes de détente et de compression et donc une énergie stockée et récupérable plus faible qu'en comportement isotherme (voir figure suivante).

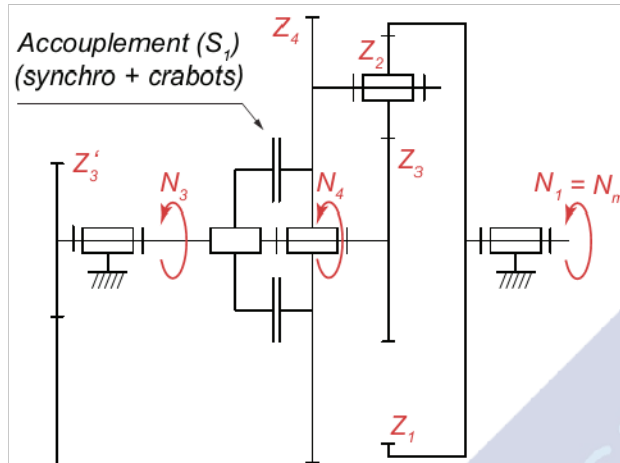


II. Fonctionnement cinématique interne du système

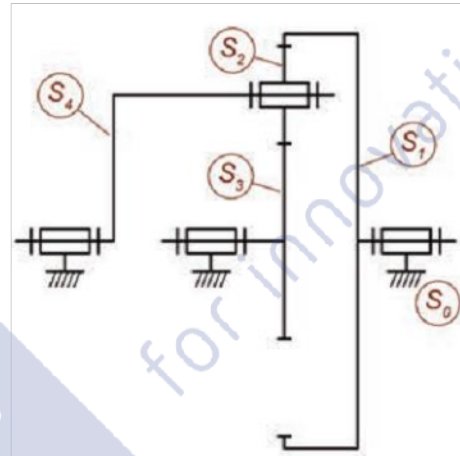
Question 8 : Montrer que la relation entre les fréquences de rotation N_m , N_3 et N_4 peut se mettre sous la forme ci-dessous où seront précisés les termes a , b et c en fonction des nombres de dents des roues jugés utiles.

$$a.N_m + b.N_3 + c.N_4 = 0$$

Modélisation cinématique :



Extrait du schéma cinématique



Définition des classes d'équivalence (figure 1 du document ressource XII)

Résolution :

Le train épicycloïdal est un train simple si l'on prend le porte satellite comme référence des mouvements de rotation. On peut alors écrire :

$$\frac{\omega_{3/4}}{\omega_{1/4}} = \frac{\omega_{3/4}}{\omega_{2/4}} \frac{\omega_{2/4}}{\omega_{1/4}} = \left(-\frac{Z_2}{Z_3} \right) \left(\frac{Z_1}{Z_2} \right) = -\frac{Z_1}{Z_3} = k$$

Par composition des vitesses de rotation entre S_3 , S_4 et S_0 : $\omega_{3/4} = \omega_{3/0} - \omega_{4/0}$ et entre S_1 , S_4 et S_0 : $\omega_{1/4} = \omega_{1/0} - \omega_{4/0}$

$$\text{On obtient : } \frac{\omega_{3/0} - \omega_{4/0}}{\omega_{1/0} - \omega_{4/0}} = k \Rightarrow \omega_{3/0} - \omega_{4/0} = k(\omega_{1/0} - \omega_{4/0}) \Rightarrow \omega_{3/0} - \omega_{4/0} - k\omega_{1/0} + k\omega_{4/0} = 0$$

$$\Rightarrow -k\omega_{1/0} + \omega_{3/0} + (k-1)\omega_{4/0} = 0 \Rightarrow \underbrace{-kN_1 + N_3 + (k-1)N_4}_{N_m} = 0 \quad (\text{Relation exprimée en}$$

fréquences de rotation et avec $k = -\frac{Z_1}{Z_3}$).

Remarque :

$$\begin{aligned} -kN_m + N_3 + (k-1)N_4 = 0 &\Rightarrow -\left(-\frac{Z_1}{Z_3}\right)N_m + N_3 + \left(-\frac{Z_1}{Z_3} - 1\right)N_4 = 0 \Rightarrow Z_1.N_m + Z_3.N_3 - (Z_1 + Z_3)N_4 = 0 \\ &\Rightarrow 20.N_m + 9.N_3 - 29.N_4 = 0 \quad (\text{On retrouve la relation donnée dans l'énoncé}). \end{aligned}$$

Question 9 : Dans le cas du rapport court, donner le rapport de transmission entre les fréquences de rotation N_m et N_{diff} en fonction des nombres de dents jugés utiles. Justifier l'état de la vanne pompe.

Rapport court \rightarrow (S1) et (S2) désaccouplés.

Vanne pompe bloquante $\Rightarrow N_{ph} = 0 \Rightarrow N_3 = 0$

(S1) désaccouplé $\Rightarrow N_4 \neq N_3$

$$\text{On a : } \frac{N_{diff}}{N_m} = \frac{N_{diff}}{N_4} \frac{N_4}{N_m} \quad (1) \quad \text{et} \quad \frac{N_{diff}}{N_4} = \left(-\frac{Z_4}{Z_5} \right) \left(-\frac{Z'_5}{Z_6} \right) = \frac{Z_4}{Z_5} \frac{Z'_5}{Z_6} \quad (2)$$

$$\text{En utilisant la relation : } Z_1 \cdot N_m + Z_3 \cdot \underbrace{N_3}_0 - (Z_1 + Z_3)N_4 = 0 \Rightarrow \frac{N_4}{N_m} = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_3} \quad (3)$$

$$(3) \text{ et } (2) \rightarrow \boxed{\frac{N_{diff}}{N_m} = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_3} \frac{Z_4}{Z_5} \frac{Z'_5}{Z_6}}$$

Application numérique :

$$\frac{N_{diff}}{N_m} = \frac{20}{20+9} \frac{4}{3} \frac{1}{4} = \frac{20}{29} \frac{1}{3} = \frac{29-9}{29} \frac{1}{3} = \left(1 - \frac{9}{29} \right) \frac{1}{3} \approx (1-0,3) \frac{1}{3} = \frac{0,7}{3} \Rightarrow \boxed{\frac{N_{diff}}{N_m} = \frac{1}{4,5} = 0,23}$$

Etat de la vanne : Si la vanne n'était pas bloquante, l'énergie mécanique de rotation issue du moteur serait transférée vers la pompe hydraulique, car sous l'action de la charge issue du différentiel la roue 4 serait soumise à une action s'opposant à sa mise en mouvement. Ce qui entrainerait la mise en circulation du fluide sans charge et le différentiel ne serait pas entraîné en rotation.

Question 10 : De même, dans le cas du rapport long, donner le rapport de transmission entre les fréquences de rotation N_m et N_{diff} en fonction des nombres de dents jugés utiles. Justifier l'état de la vanne pompe.

Rapport long \rightarrow (S1) accouplé et (S2) désaccouplé.

Vanne pompe passante $\Rightarrow N_{ph} \neq 0$

(S1) accouplé $\Rightarrow N_4 = N_3$ (1)

$$\text{On a : } \frac{N_{diff}}{N_m} = \frac{N_{diff}}{N_4} \frac{N_4}{N_m} \quad (2) \quad \text{et} \quad Z_1 \cdot N_m + Z_3 \cdot \underbrace{N_3}_{N_4 \text{ d'après (1)}} - (Z_1 + Z_3)N_4 = 0 \quad (3)$$

$$\Rightarrow Z_1 \cdot N_m - Z_1 N_4 = 0 \Rightarrow N_4 = N_m \Rightarrow \frac{N_4}{N_m} = 1 \quad (4)$$

$$\text{On a également (question 9) : } \frac{N_{diff}}{N_4} = \left(-\frac{Z_4}{Z_5} \right) \left(-\frac{Z'_5}{Z_6} \right) = \frac{Z_4}{Z_5} \frac{Z'_5}{Z_6} \quad (5). \text{ D'où : } \boxed{\frac{N_{diff}}{N_m} = \frac{Z_4}{Z_5} \frac{Z'_5}{Z_6}}$$

Application numérique :

$$\frac{N_{diff}}{N_m} = \frac{4}{3} \frac{1}{4} \Rightarrow \boxed{\frac{N_{diff}}{N_m} = \frac{1}{3} \approx 0,33}$$

Etat de la vanne : Dans ce cas, la vanne se doit d'être passante car la rotation du moteur entraîne la rotation de la pompe. Avec une vanne bloquée, le fluide serait comprimé jusqu'à endommagement des composants.

Question 11 : Montrer sous forme littérale que la transmission complète devient alors une CVT (transmission à variation continue).

Mode combiné \rightarrow (S1) désaccouplé et (S2) accouplé.

(S1) désaccouplé $\Rightarrow N_4 \neq N_3$ mais $N_3 \neq 0 \Rightarrow N_4 = \frac{Z_5}{Z_4} \frac{Z_6}{Z'_5} N_{diff}$ (1) d'après la question 9.

(S2) accouplé $\Rightarrow N_8 = N_{mh}$ (2)

On a : $\frac{N_3}{N_{ph}} = -\frac{Z_9}{Z'_3} \Rightarrow N_3 = -\frac{Z_9}{Z'_3} N_{ph}$ (3)

Relation du train épicycloïdal : $Z_1.N_m + Z_3.N_3 - (Z_1 + Z_3)N_4 = 0$ (4)

$\Rightarrow Z_1.N_m - Z_3 \frac{Z_9}{Z'_3} N_{ph} - (Z_1 + Z_3) \frac{Z_5}{Z_4} \frac{Z_6}{Z'_5} N_{diff} = 0$ et $N_{mh} = k N_{ph}$ (5) $\Rightarrow N_{ph} = \frac{1}{k} N_{mh}$

D'autre part :

$\frac{N_{diff}}{N_8} = \frac{N_{diff}}{N_7} \frac{N_7}{N_8} = \left(-\frac{Z_7}{Z_6} \right) \left(-\frac{Z_8}{Z'_7} \right) = \frac{Z_7}{Z_6} \frac{Z_8}{Z'_7}$ (6) $\Rightarrow N_{diff} = \frac{Z_7}{Z_6} \frac{Z_8}{Z'_7} N_8 = \frac{Z_7}{Z_6} \frac{Z_8}{Z'_7} N_{mh} \Rightarrow N_{mh} = \frac{Z_6}{Z_7} \frac{Z'_7}{Z_8} N_{diff}$

(6) \rightarrow (5) : $N_{ph} = \frac{1}{k} \frac{Z_6}{Z_7} \frac{Z'_7}{Z_8} N_{diff}$

On en déduit que :

$Z_1.N_m - Z_3 \frac{Z_9}{Z'_3} \frac{1}{k} \frac{Z_6}{Z_7} \frac{Z'_7}{Z_8} N_{diff} - (Z_1 + Z_3) \frac{Z_5}{Z_4} \frac{Z_6}{Z'_5} N_{diff} = 0$

$\Rightarrow Z_1.N_m = \left(\frac{Z_3}{k} \frac{Z_9}{Z'_3} \frac{Z_6}{Z_7} \frac{Z'_7}{Z_8} + (Z_1 + Z_3) \frac{Z_5}{Z_4} \frac{Z_6}{Z'_5} \right) N_{diff} \Rightarrow \frac{N_{diff}}{N_m} = \frac{Z_1}{f(k)}$

On peut montrer avec les valeurs numériques de k et des Z_i , que $f(k) \neq 0$. D'autre part, la fonction $k \rightarrow f(k)$ est continue sur l'intervalle $[-0,5;10]$. Le rapport de transmission varie donc continument en fonction de la valeur de k .

Question 12 : Donner une estimation numérique de la plage de variation du rapport de transmission global entre N_{diff} et N_m en fonction de la plage de variation du rapport de transmission k .

On a : $\frac{N_{diff}}{N_m} = \frac{Z_1}{\frac{Z_3}{k} \frac{Z_9}{Z'_3} \frac{Z_6}{Z_7} \frac{Z'_7}{Z_8} + (Z_1 + Z_3) \frac{Z_5}{Z_4} \frac{Z_6}{Z'_5}}$

Application numérique :

$r(k) = \frac{N_{diff}}{N_m} = \frac{20}{\frac{9}{k} 2.4.1 + 29 \frac{3}{4}} = \frac{20}{\frac{9.8}{k} + 29.3} = \frac{20.k}{72 + 87.k}$

Pour $k \in [-0,5;10]$, la fonction $k \rightarrow r(k)$ est croissante.

Pour $k = -0,5$:

$$\frac{N_{diff}}{N_m} = \frac{20 \cdot (-0,5)}{72 + 87 \cdot (-0,5)} = \frac{-10}{72 - 43,5} = -\frac{10}{28,5} = -\frac{10}{30 - 1,5} = -\frac{10}{30} \frac{1}{1 - \frac{1,5}{30}} \approx -\frac{1}{3} \left(1 + \frac{1}{20} \right)$$

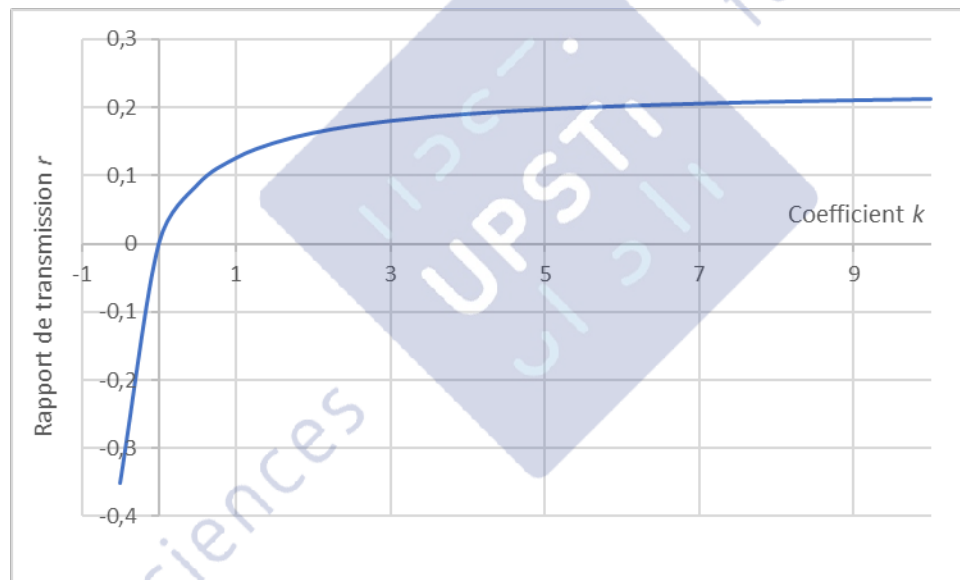
$$\Rightarrow \frac{N_{diff}}{N_m} \approx -\frac{1}{3} (1 + 0,05) = -0,333 \cdot 1,05 \Rightarrow \boxed{\frac{N_{diff}}{N_m} \approx -0,35 \approx -\frac{1}{3}}$$

Pour $k = 10$:

$$\frac{N_{diff}}{N_m} = \frac{20 \cdot (10)}{72 + 87 \cdot (10)} = \frac{200}{72 + 870} = \frac{200}{942} = \frac{200}{1000 - 58} = \frac{1}{5} \frac{1}{1 - \frac{58}{1000}} \approx \frac{1}{5} \left(1 + \frac{58}{1000} \right)$$

$$\Rightarrow \frac{N_{diff}}{N_m} \approx \frac{1}{5} (1 + 0,058) = 0,2 \cdot 1,058 \Rightarrow \boxed{\frac{N_{diff}}{N_m} \approx 0,21 \approx \frac{1}{4,7}}$$

La plage de variation du rapport de transmission r est : $[-0,35; 0,21] \approx [-1/3; 1/4,7]$



Evolution du rapport de transmission r en fonction de la valeur de k .

Question 13 : Quel est l'intérêt de pouvoir faire varier continuellement le rapport de transmission global ?

La courbe caractéristique du moteur thermique montre que le rendement énergétique pour une puissance donnée est maximal pour une fréquence de rotation particulière.

Par exemple, pour une puissance fournie de $50kW$, le rendement est maximal pour une fréquence de rotation de $2300tr/min$. Le moteur fournit alors un couple de $210Nm$.

Pour que le moteur soit toujours utilisé à son point de fonctionnement optimal, il faut que sa fréquence de rotation N_m soit fixée à cette valeur.

Lorsque la vitesse du véhicule évolue, en marche avant ou en marche arrière de l'arrêt à sa vitesse maximale, la fréquence de rotation entrée du différentiel N_{diff} varie. Le rapport de transmission entre N_m et N_{diff} doit par conséquent pouvoir varier continument.

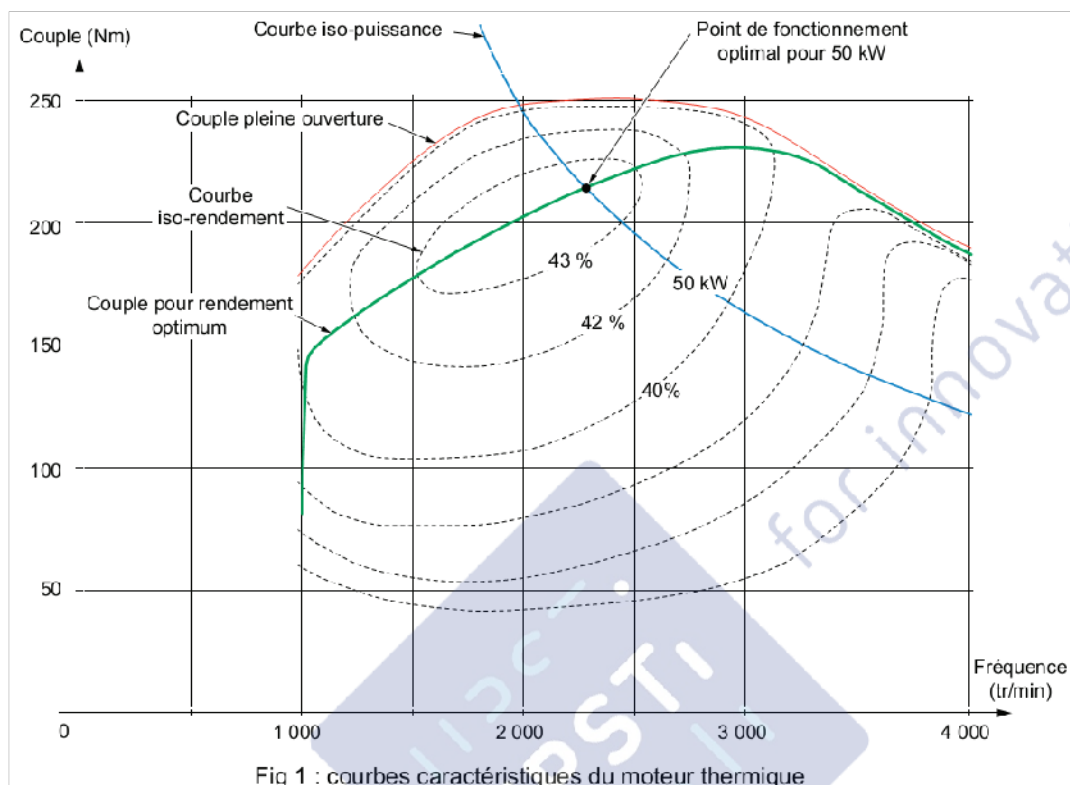


Fig 1 : courbes caractéristiques du moteur thermique

Question 14 : Comment est gérée la marche arrière ?

La fonction rapport de transmission $k \rightarrow r(k)$ est continue et croissante sur $[-0,5;10]$. Elle s'annule pour $k=0$.

Par conséquent, pour $k \in [-0,5;0]$, le rapport de transmission est négatif. Cela correspond au mode marche arrière du véhicule.

Question 15 : Rappeler la fonction d'un différentiel.

Un différentiel automobile a pour fonction de permettre aux roues motrices d'avoir des fréquences de rotations différentes. Il permet également de transmettre de la puissance mécanique car la vitesse moyenne des arbres en sortie est égale à la vitesse d'entrée.

Par exemple, la roue motrice extérieure au virage de d'avoir une fréquence de rotation plus élevée que la roue motrice intérieure.

III. Réalisation du train épicycloïdal

Question 16 : Donner, en justifiant, le degré de mobilité et le degré d'hyperstatisme de cette modélisation.

Modélisation cinématique :

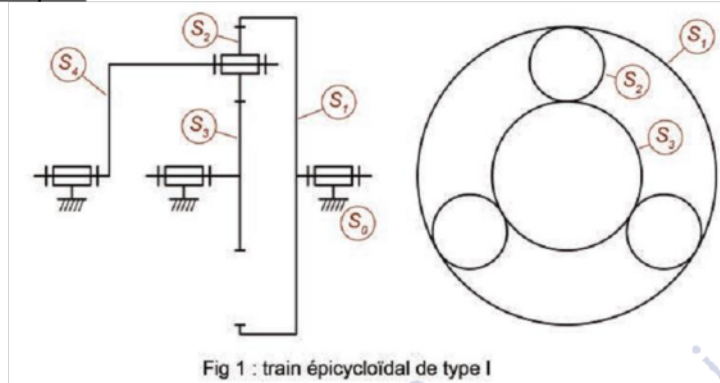


Fig 1 : train épicycloïdal de type I
(figure 1 du document ressource XII)

Degré de mobilité m :

C'est un mécanisme à deux paramètres cinématiques d'entrée et un paramètre cinématique de sortie. Il faut donc fixer la valeur de ces deux paramètres d'entrées pour obtenir celui de sortie : le degré de mobilité fonctionnel est de 2.

Première hypothèse : Les normales de contact des ponctuelles sont radiales : C'est le modèle des roues de friction avec l'hypothèse de liaisons sans frottement en analyse des mécanismes. Un fois fixé les deux paramètres d'entrée, les pignons satellites peuvent tourner par rapport au porte-satellite : le degré de mobilité interne est donc de 3.

Seconde hypothèse : Les normales de contact des ponctuelles ne sont pas radiales. Un fois fixé les deux paramètres d'entrée, les pignons satellites ne peuvent pas tourner par rapport au porte-satellite : le degré de mobilité interne est donc de 0.

En conclusion, le degré de mobilité total est $m=5$ pour la première hypothèse et $m=2$ pour la seconde.

Degré d'hyperstatisme h : Le modèle du mécanisme est constitué de :

- $n=7$ classes d'équivalence.
- 6 liaisons pivots et de 6 liaisons ponctuelles. On a donc $l=12$ liaisons.
- Le nombre de cycles indépendants (nombre cyclomatique) est :

$$\gamma = l - (n - 1) = 12 - (7 - 1) = 12 - 6 \Rightarrow \gamma = 6 \text{ cycles.}$$

Détermination par analyse cinématique :

$$h = 6\gamma - N_C + m$$

N_C : nombre d'inconnues cinématiques.

$$N_C = \underbrace{6}_{\text{pivots}} + \underbrace{6}_{\text{ponctuelles}} = 36 \text{ inconnues.}$$

$$h = 6 \cdot 6 - 36 + 5 \Rightarrow \boxed{h = 5} \text{ (hyp. 1)}$$

$$\text{Ou } h = 6 \cdot 6 - 36 + 2 \Rightarrow \boxed{h = 2} \text{ (hyp. 2)}$$

Détermination par analyse des actions mécaniques :

$$h = N_S - 6(n - 1) + m$$

N_S : nombre d'inconnues d'actions mécaniques.

$$N_S = \underbrace{6}_{\text{pivots}} + \underbrace{6}_{\text{ponctuelles}} = 36 \text{ inconnues.}$$

$$h = 36 - 6(7 - 1) + 5 \Rightarrow \boxed{h = 5} \text{ (hyp. 1)}$$

$$\text{Ou } h = 36 - 6(7 - 1) + 2 \Rightarrow \boxed{h = 2} \text{ (hyp. 2)}$$

Question 17 : Exprimer $J_A (=0)$, J_B et J_C en fonction de α , u , v et r . Montrer alors que ces trois déplacements sont nécessaires et suffisants pour annuler les jeux J_B et J_C et maintenir le contact en ($J_A=0$).

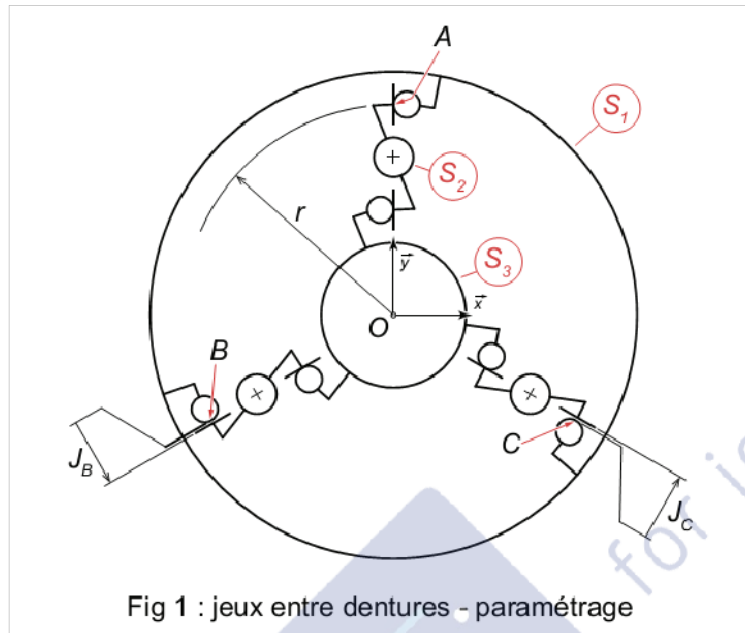


Fig 1 : jeux entre dentures - paramétrage
(figure 1 du document ressource XIII)

Notations : torseur de petit déplacement de $1/0$:

$$\{U_{1/0}\} = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}_{1/0} = \alpha \cdot \vec{z} \\ \vec{d}_{1/0}(O) = u \cdot \vec{x} + v \cdot \vec{y} \end{array} \right\}_O$$

Soit $M \in \{A; B; C\}$. On définit $\theta \in \left\{ \frac{\pi}{2}; \frac{7\pi}{6}; -\frac{\pi}{6} \right\}$. On pose : $\vec{OM} = r \cdot \vec{u}_\theta$ et \vec{v}_θ la direction de la normale des liaisons ponctuelles en $M \in \{A; B; C\}$ telle que $(\vec{u}_\theta, \vec{v}_\theta, \vec{z})$ soit une base directe.

Résolution :

Le jeu ortho-radial au point M est donné par : $J_M = \vec{v}_\theta \cdot \vec{d}_{1/0}(M)$

Relation de champ petit déplacement de $1/0$ entre O et A :

$$\vec{d}_{1/0}(M) = \underbrace{\vec{d}_{1/0}(O)}_{u \cdot \vec{x} + v \cdot \vec{y}} + \vec{MO} \wedge \vec{R}_{1/0} = \vec{d}_{1/0}(O) + (-r \vec{u}_\theta) \wedge (\alpha \cdot \vec{z}) = \vec{d}_{1/0}(O) - r\alpha \cdot \vec{u}_\theta \wedge \vec{z} = u \cdot \vec{x} + v \cdot \vec{y} + r\alpha \cdot \vec{v}_\theta$$

$$\text{On obtient : } J_M = \vec{v}_\theta \cdot \vec{d}_{1/0}(M) = \vec{v}_\theta \cdot (u \cdot \vec{x} + v \cdot \vec{y} + r\alpha \cdot \vec{v}_\theta) = \underbrace{u \cdot \vec{v}_\theta \cdot \vec{x}}_{-\sin\theta} + \underbrace{v \cdot \vec{v}_\theta \cdot \vec{y}}_{\cos\theta} + r\alpha$$

$$\Rightarrow J_M = -\sin\theta \cdot u + \cos\theta \cdot v + r\alpha$$

M	A	B	C
θ	$\pi/2$	$7\pi/6$	$-\pi/6$
$\cos\theta$	0	$-\sqrt{3}/2$	$\sqrt{3}/2$
$-\sin\theta$	-1	$1/2$	$1/2$

On obtient le système d'équations suivant :

$$\begin{cases} -u + 0 \cdot v + r\alpha = J_A \\ \frac{1}{2}u - \frac{\sqrt{3}}{2}v + r\alpha = J_B \\ \frac{1}{2}u + \frac{\sqrt{3}}{2}v + r\alpha = J_C \end{cases}$$

Pour résoudre le système, on écrit : $-u + r\alpha = J_A = 0 \Rightarrow u = r\alpha$

On en déduit que :

$$\begin{cases} \frac{1}{2}r\alpha - \frac{\sqrt{3}}{2}v + r\alpha = J_B \\ \frac{1}{2}r\alpha + \frac{\sqrt{3}}{2}v + r\alpha = J_C \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \frac{3}{2}r\alpha - \frac{\sqrt{3}}{2}v = J_B \\ \frac{3}{2}r\alpha + \frac{\sqrt{3}}{2}v = J_C \end{cases}$$

Ce système d'équations linéaires admet une solution unique si le déterminant du système est non nul.

$$\begin{vmatrix} \frac{3}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{3}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \end{vmatrix} = \frac{3\sqrt{3}}{2} - \frac{3}{2} \left(-\frac{\sqrt{3}}{2} \right) = \frac{3\sqrt{3}}{2} (1+1) = \frac{3\sqrt{3}}{2} \neq 0$$

On peut donc trouver les paramètres des trois déplacements α , u , v qui permettent d'annuler les jeux.

Question 18 : Proposer et justifier une nouvelle liaison entre le bâti et la couronne pour obtenir une modélisation isostatique.

Il faut imposer une liaison plane entre la couronne et le bâti pour obtenir une modélisation isostatique.

Degré d'hyperstatisme h : Le modèle du mécanisme est constitué de :

- $n=7$ classes d'équivalence.
- $l=11$ liaisons.
- Le nombre de cycles indépendants (nombre cyclomatique) est : $\gamma = 6$ cycles.

Détermination par analyse cinématique :

$$h = 6\gamma - N_c + m$$

N_c : nombre d'inconnues cinématiques.

$$N_c = \underbrace{5}_{\text{pivots}} + \underbrace{6}_{\text{ponctuelles}} + \underbrace{1}_{\text{plane}} = 38 \text{ inconnues.}$$

$$h = 6 \cdot 6 - 38 + 2 \Rightarrow h = 0$$

Détermination par analyse des actions mécaniques :

$$h = N_s - 6(n-1) + m$$

N_s : nombre d'inconnues cinématiques.

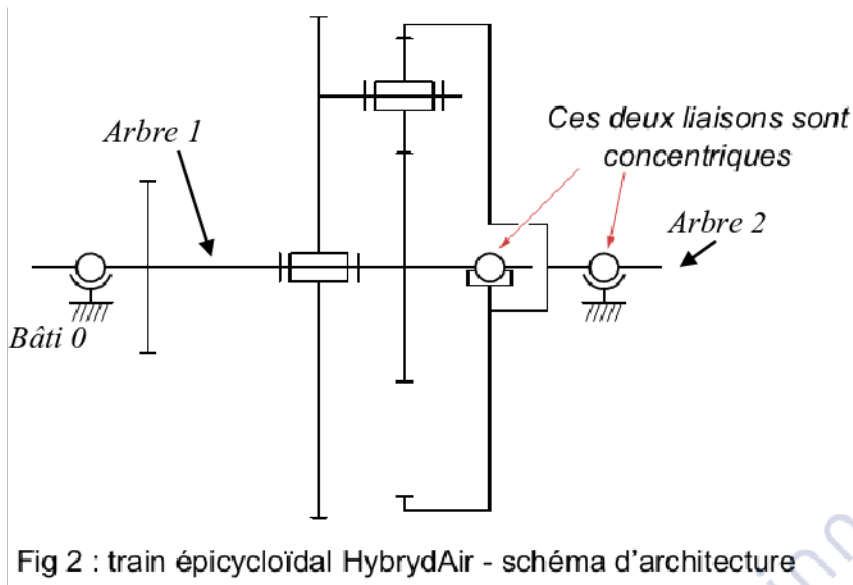
$$N_s = \underbrace{5}_{\text{pivots}} + \underbrace{6}_{\text{ponctuelles}} + \underbrace{1}_{\text{plane}} = 34 \text{ inconnues.}$$

$$h = 6 \cdot 6 - 34 + 2 \Rightarrow h = 0$$

Question 19 : Pourquoi les deux roulements de droites sont-ils concentriques ?

On souhaite obtenir un guidage en rotation de l'ensemble des pièces mobiles $\{1;2\}$ de la figure 2 par rapport au bâti 0. Par conséquent, le modèle cinématique équivalent du guidage doit être une liaison pivot.

Pour obtenir un modèle isostatique dont la liaison équivalente est une liaison pivot, il faut associer, en parallèle, une liaison linéaire rotule (représentée à gauche) et une liaison linéaire annulaire (à droite).



(figure 2 du document ressource XIII)

La liaison équivalente linéaire annulaire 1-0 est obtenue par association en série :

- de la liaison 1-2 : linéaire annulaire,
- de la liaison 2-0 : rotule.

Pour obtenir une liaison équivalente de type linéaire annulaire, il faut imposer une contrainte de concentricité entre ces deux liaisons.

Question 20 : Représenter sur le calque une solution constructive pour l'implantation de ce roulement. Les ajustements seront précisés et une attention toute particulière sera portée sur la montabilité de la solution présentée.

Cf. calque réponse. La bague intérieure du roulement est montée glissante sur l'arbre pour faciliter le montage.

IV. Commande du système et sûreté de fonctionnement

Question 21 : En quoi consiste le multiplexage et quel est son intérêt dans une automobile ?

Le multiplexage consiste à faire passer plusieurs informations à travers un même support de transmission. Il peut être temporel ou fréquentiel. Dans le cas du bus CAN, il s'agit de multiplexage temporel.

Son intérêt dans l'industrie automobile est de diminuer la longueur totale des câbles électriques dédiés à la transmission d'information ce qui permet de diminuer les coûts (matière et nombre d'opérations d'assemblage).

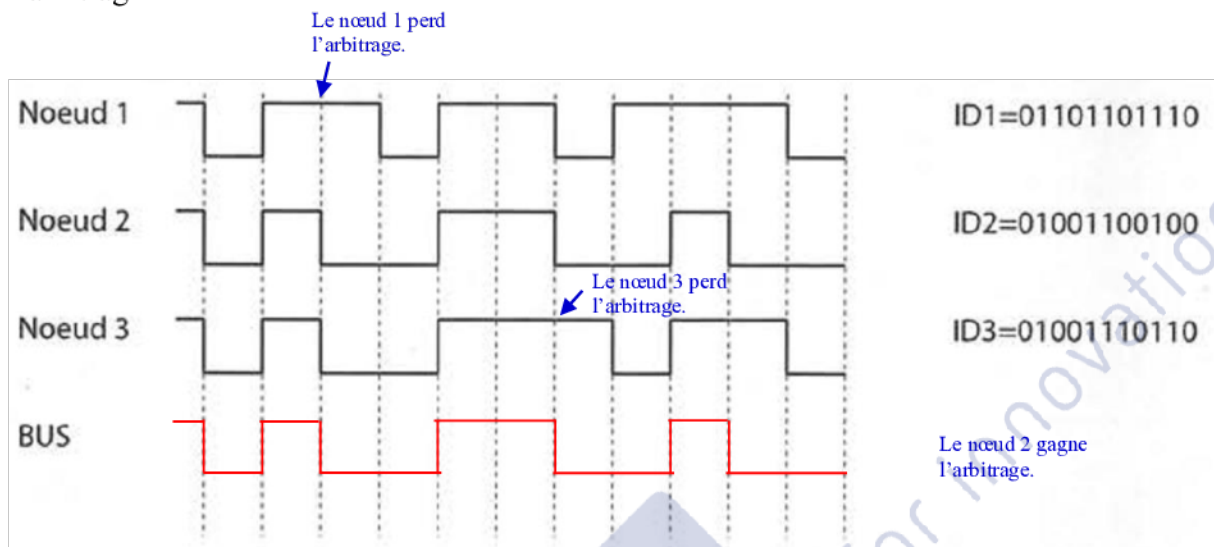
Question 22 : Le bus Can (Controller Area Network) est un bus de type série, asynchrone et half-duplex, très utilisé dans l'automobile. Expliquez chacun de ces termes.

Série : L'échange de donnée entre l'émetteur et le récepteur se fait par ligne unique. Les données sont donc envoyées à la suite.

Asynchrone : La durée séparant l'envoi de deux données élémentaires n'est pas fixé. Il faut donc définir un protocole de communication entre l'émetteur et le récepteur.

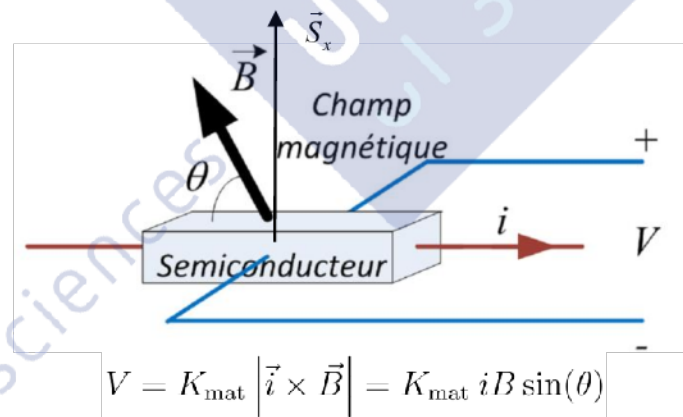
Half-duplex : La transmission de données est bidirectionnelle mais pas simultanée.

Question 23 : A partir de cette règle, compléter le document réponse en reconstruisant la trame qui transite sur le bus et en indiquant les instants où les nœuds concernés perdent l'arbitrage.

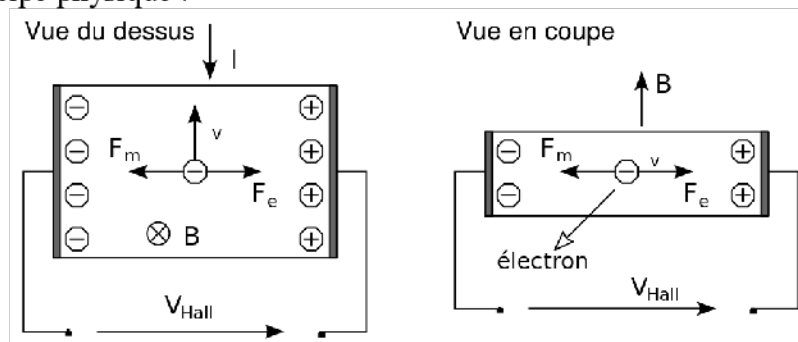


Question 24 : Expliquer le fonctionnement d'un capteur à effet Hall et représenter schématiquement la position des composants fixes et mobiles.

Un capteur à effet Hall délivre une tension V proportionnelle à l'intensité du champ magnétique \vec{B} mesuré dans sa direction de sensibilité \vec{S}_x et à l'intensité i du courant d'alimentation.



Rappel du principe physique :



La trajectoire des électrons dans le semi-conducteur est déviée par la présence du champ magnétique qui crée une force de Lorentz. Les électrons s'accumulent sur les armatures. Il y a

création d'un champ électrique dont la présence modère l'effet des forces de Lorentz. Le système atteint un équilibre et produit une tension constante entre les armatures appelée tension de Hall.

Utilisation pour un capteur de position angulaire :

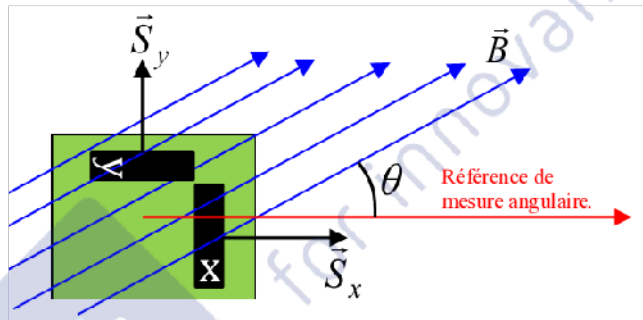
Capteur angulaire absolu (Principe de la boussole) :

On utilise deux capteurs de Hall en quadrature spatiale fixés sur la référence de la mesure angulaire. On fixe un générateur de champ magnétique \vec{B} sur la pièce mobile (ex : aimant permanent). Chaque capteur mesure une composante du champ \vec{B} . On en déduit la position angulaire.

$$V_x = K_x \vec{S}_x \cdot \vec{B}$$

$$V_y = K_y \vec{S}_y \cdot \vec{B}$$

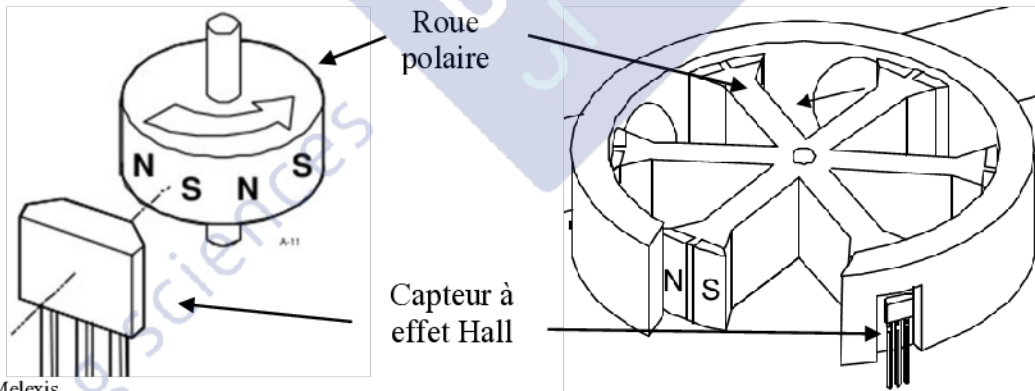
$$\theta = \text{Arctan} \left(\frac{V_y}{V_x} \right)$$



Capteur angulaire relatif :

On utilise deux capteurs décalés angulairement qui génèrent des signaux périodiques causés par le champ magnétique variable d'une roue polaire en rotation. Le comptage des périodes permet d'obtenir une image de la position angulaire. La combinaison des deux signaux permet de connaître le sens de rotation.

Exemples de réalisation :



Document Melexis.

Question 25 : Expliquer le fonctionnement du moteur brushless et pourquoi a-t-il été choisi dans le cas présent.

Le moteur brushless (sans balais) est une machine asynchrone autopilotée à aimant permanent.

Le rotor est constitué de plusieurs aimants permanents.

Les enroulements statoriques sont alimentés par des tensions alternatives destinées à créer un champ tournant en avance de phase de 90° par rapport au champ rotorique. La commande de ces tensions est liée à la position du champ rotorique. Celle-ci est connue par l'intermédiaire de capteurs à effet hall ou d'un capteur de position angulaire (résolveur, codeur absolu...).

L'absence de balais permet d'obtenir une durée de vie plus élevée.

Question 26 : Expliquer pourquoi le constructeur a fait ce choix d'évolution des variables booléennes associées à S1 et S2.

Le codage de la position angulaire à l'aide des variables S1 et S2 est réalisé en code binaire réfléchi ou code Gray.

Une seule des deux variables change d'état quand on change de secteur angulaire. Ce principe de codage évite les états transitoires lorsque l'on change de secteur angulaire.

Question 27 : Quelle conséquence peut avoir ce choix sur la sûreté de fonctionnement, par exemple si le superviseur du système subi une remise à zéro durant le fonctionnement du véhicule ? Justifier.

Un codeur incrémental mesure une position relative par rapport à une position de référence. La remise à zéro durant le fonctionnement conduit à la perte de l'information de la position angulaire.

A cause d'une lecture erronée de la position angulaire du barillet, la commande de position ne serait plus appropriée. Le système peut passer en mode tout hydraulique pour une vitesse élevée du véhicule par exemple.

Question 28 : Exprimer les relations entre les vitesses N_i fournies par les capteurs tachymétriques permettant de retrouver l'état des variables S1 et S2.

Rappel, le système est constitué de 4 tachymètres qui permettent de mesurer :

- N_m : la vitesse de rotation du moteur thermique.
- N_{ph} : la vitesse de rotation de la pompe hydraulique.
- N_{mh} : la vitesse de rotation du moteur-pompe.
- N_{diff} : la vitesse image de la rotation des roues.

Le programme de superviseur Hybrid Air effectue les tests suivants :

- Etat : S1=0 et S2=0 : Si [$N_{mh} = N_{ph} = 0$ et $N_{diff} = 0,22.N_m$].
- Etat : S1=1 et S2=0 : Si [$N_{ph}=k_1.N_m$ et $N_{diff} = 0,33.N_m$]. Le test est vrai lorsque l'embrayage S_1 est accouplé.
- Etat : S1=0 et S2=1 : Si [$N_{mh}=k_2.N_{diff}$]. Le test est vrai lorsque l'embrayage S_2 est accouplé.
- Etat : S1=1 et S2=1 : n'est pas un état évoqué dans le sujet.

En réalité, il faut prévoir une tolérance pour évaluer les tests car les informations issues des capteurs comportent une incertitude de mesure. De plus, l'approximation de calcul des valeurs de rapports k_1 et k_2 peuvent également conduire à un écart (les k_i peuvent être exprimés en fonction des Z_i).

Remarque : On a fait l'hypothèse que l'état 1 correspond à un embrayage accouplé.

IV. Commande du système et sureté de fonctionnement

Question 29 : A partir du dessin de définition (**document ressource XV**) et à l'aide des grilles GPS du document réponse expliquer les spécifications géométriques suivantes :

$$\boxed{\text{A} / 0,01} \quad \boxed{-\text{Ø}0,01 \text{ CZ}} \quad \boxed{\text{A} / 0,02}$$

Cf. réponse sur les grilles GPS.

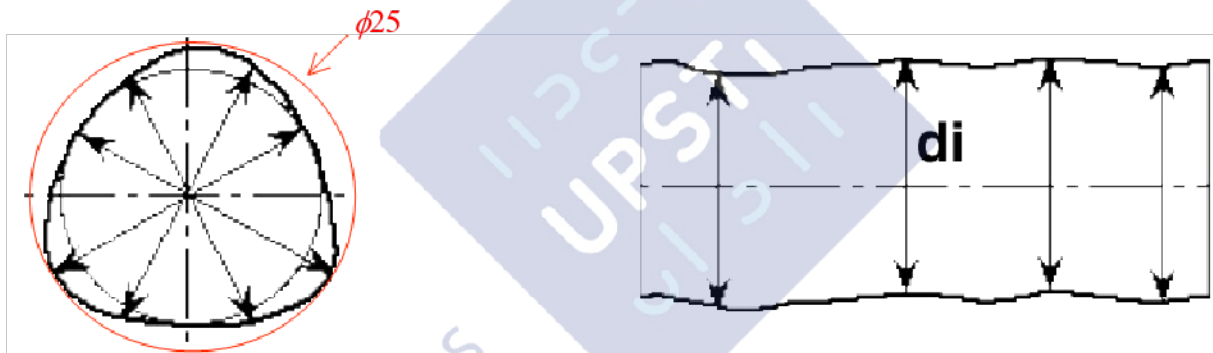
Question 30 : A partir du dessin de définition (**document ressource XV**) expliquer les spécifications suivantes :

$$\begin{matrix} +0,021 \\ +0,008 \\ \text{Ø} 25 \end{matrix} \quad \sqrt{\text{Ra } 3,2}$$

Spécification dimensionnelle :

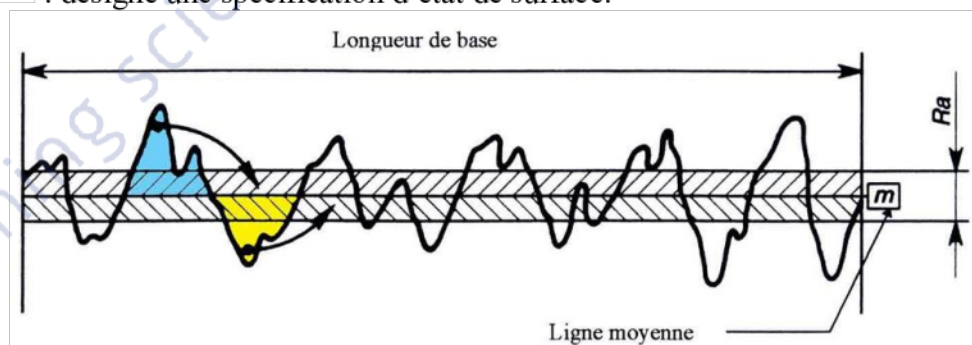
$\begin{matrix} +0,021 \\ +0,008 \\ \text{Ø} 25 \end{matrix}$ désigne l'intervalle dans lequel doivent se situer les dimensions locales d_i mesurées sur la surface réelle de diamètre nominal 25 pour être conformes à cette spécification :

$$\forall i; d_i \in [25,008; 25,021]$$



Spécification d'état de surface :

$\sqrt{\text{Ra } 3,2}$: désigne une spécification d'état de surface.




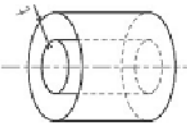


Représentation du profil de rugosité sur la longueur de base L .




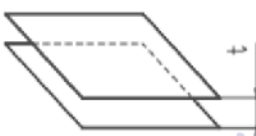
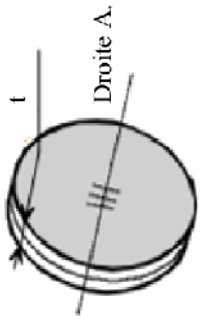
Critère spécifié : écart moyen arithmétique par rapport à la ligne moyenne.

$$Ra = \frac{1}{L} \int_0^L |Y(x)| dx = \frac{1}{L} [\text{Surf} \text{ (shaded with /)} + \text{Surf} \text{ (shaded with \backslash)}]$$

Où $|Y(x)|$ désigne la distance d'un point d'abscisse x du profil à la ligne moyenne.

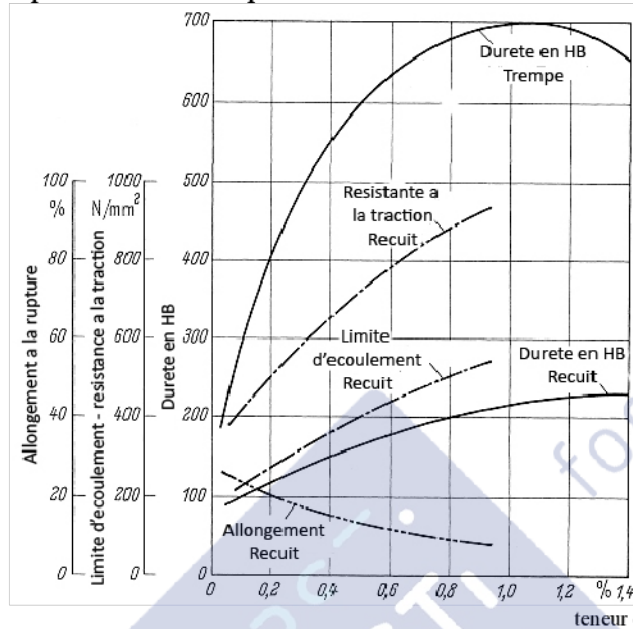
La valeur spécifiée de ce critère est de $3,2 \mu\text{m}$.

TOLERANCEMENT NORMALISE		Analyse d'une spécification par zone de tolérance	
		Eléments Idéaux	
Type de spécification Forme Position	Eléments non Idéaux extraits du « Skin Modèle »	Référence(s) spécifiée(s) *	Zone de tolérance *
Condition de conformité : L'élément tolérancé doit se situer tout entier dans la zone de tolérance.	Eléments Tolérancé(s) * unique groupe	simple commune système	Contraintes orientation position par rapport à la référence spécifiée
Schéma extrait du dessin de définition Cylindricité $\boxed{\sqrt{\alpha} 0,01}$	Unique : Surface nominale cylindrique. 	simple composée Simple : Volume limité par deux cylindres coaxiaux de différence de rayons t .  $t = 0,01$	
Rectitude $\boxed{-\emptyset 0,01 CZ}$	Groupe : Lignes nominale rectiligne. 	simple commune système Simple : Volume limité par un cylindre de diamètre 0,01. 	

TOLERANCEMENT NORMALISE		Eléments non idéaux extraits du « Skin Modèle »		Analyse d'une spécification par zone de tolérance Eléments idéaux	
Type de spécification Forme Position	Eléments Tolérancé(s) *	Eléments de référence *	Référence(s) spécifiée(s) *	Zone de tolérance *	Contraintes
Condition de conformité : L'élément tolérancé doit se situer tout entier dans la zone de tolérance.	unique groupe	unique multiples	simple commune système	simple composée	orientation position par rapport à la référence spécifiée
Schéma extrait du dessin de définition Battement total axial $\boxed{\text{L}} \boxed{0,02} \boxed{A}$	Surface : Nominale plane. 	Surfaces A Nominale cylindriques. 	Droite A : axe associé aux surfaces repérées A. Critère du diamètre mini. 	Volume limité par deux plans parallèles distants de $t=0,02$ mm. 	Direction de la zone de tolérance contrainte normale à la droite A. 

Question 31 : Justifier la nécessité d'effectuer une opération de cémentation avant la trempe compte tenu des caractéristiques du matériau utilisé.

La nuance d'acier faiblement allié choisie a une faible teneur de carbone 0,16% en masse. Le traitement thermique de trempe ne va pas produire de modification sensible des caractéristiques mécaniques si on ne fait pas de cémentation.

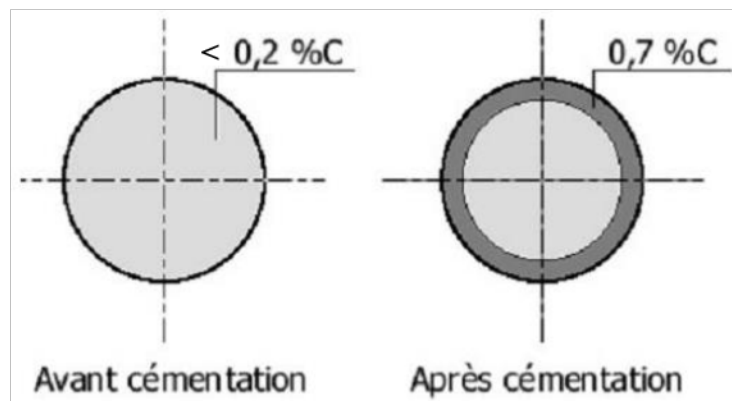


Evolution des caractéristiques mécaniques des aciers faiblement alliés en fonction de la teneur en carbone pour différents traitements thermiques (tandviel.info).

Question 32 : Décrire les étapes de la mise en œuvre de l'opération de cémentation. Vous pourrez vous appuyer sur un ou des schémas.

Les différentes étapes de l'opération sont :

- Préparation des surfaces et mise en place des réserves de cémentation.
- Chauffage pour austénitisation au-dessus du point de transformation Ac3.
- Traitement d'enrichissement en carbone de la couche superficielle de la pièce, en général par voie gazeuse dans un four à atmosphère contrôlé à base de méthane ou de monoxyde de carbone. La durée de maintien dépend de la profondeur de cémentation souhaitée.
- Refroidissement lent jusqu'à la température ambiante. L'opération de trempe peut également être réalisée directement à la sortie du four de cémentation.



Evolution de la couche superficielle pour les différentes étapes du traitement.

Question 33 : Décrire les étapes de la mise en œuvre de l'opération de trempe. Vous pourrez vous appuyer sur un ou des schémas.

Les différentes étapes de l'opération de trempe sont :

- Préparation des surfaces.
- Chauffage pour austénitisation au-dessus du point de transformation Ac3 dans un four à atmosphère contrôlée. Maintien en température (dépend de l'épaisseur de la pièce).
- Refroidissement rapide depuis le domaine austénitique (trempe) de façon à transformer toute l'austénite en martensite (acier faiblement allié avec une teneur en carbone <0,8%). La trempe se fait par immersion dans de l'eau en mouvement (agitation).

Remarque :

Le fluide de refroidissement peut être modulée :

- Par le choix du fluide : eau, huile, mélange eau-polymère, air, gaz (Ar, N, He, H).
- La température du fluide et le mouvement relatif pièce/fluide.

Le choix de la vitesse de refroidissement est un compromis entre :

- La transformation métallurgique souhaitée (martensitique, bainitique) et donc de la nuance de l'acier à traiter.
- La limitation des contraintes d'origine thermique induites par le refroidissement différentiel dans le cas de pièces de formes complexes. Dans certains cas, des fissures peuvent apparaître (tapures).

Question 34 : Quelles sont les caractéristiques mécaniques modifiées par ce dernier traitement thermique ?

Le traitement thermique de trempe modifie toutes les caractéristiques mécaniques :

- De dureté (*HV, HB, HRC...*).
- De ductilité mesurée par l'allongement à rupture *A%* (et le coefficient de striction *Z%*).
- De résistance (limite d'élasticité *Re* et à rupture *Rm*) mesurées en traction.
- De ténacité mesurée, entre-autre, par l'énergie de rupture dans un essai de flexion par choc (*KU, KV*).

Question 35 : Comment ont évolué les caractéristiques mécaniques *HV, Rm, A%* et *K* en surface et à cœur à la suite de l'enchaînement des traitements de cémentation et de trempe ?

Caractéristiques	En surface	A cœur
HV	Augmentation	Inchangé
Rm	Augmentation	Inchangé
A%	Diminution	Inchangé
K	Diminution	Inchangé

Question 36 : Donner deux critères qui justifient la nécessité de rectifier les portées de roulement.

- L'obtention de l'état de surface spécifié.
- Le respect de la spécification d'écart de forme.
- La suppression des défauts géométriques engendrés par les traitements thermiques. Les écarts géométriques produit par le traitement thermique ne peuvent pas être corrigés par un procédé de coupe à cause du copeau minimum.

Question 37 : Décrire le procédé de rectification cylindrique. Vous pourrez vous appuyer sur un ou des schémas.

C'est un procédé d'usinage par abrasion qui permet d'obtenir des surfaces cylindriques extérieures ou intérieures.

Exemple de cinématique :

- La pièce a un mouvement de rotation autour de son axe par rapport au bâti.
- La meule (outil) a un mouvement de rotation autour de son axe qui peut être combiné avec deux mouvements de translation rectiligne :
 - De direction axiale.
 - De direction radiale.

Ce procédé permet de fabriquer :

- Des surfaces cylindriques coaxiales.
- Des surfaces planes normales à l'axe.

Surface	Intérieure	Extérieure
Cylindrique		
Plane		

Question 38 : A partir des données du problème, définir les différentes phases permettant d'obtenir la pièce finie à partir d'une barre laminée et leur ordonnancement. Justifier.

- Obtention du brut par forgeage ou découpe des bruts à usiner dans la barre laminée suivant la taille de la série.

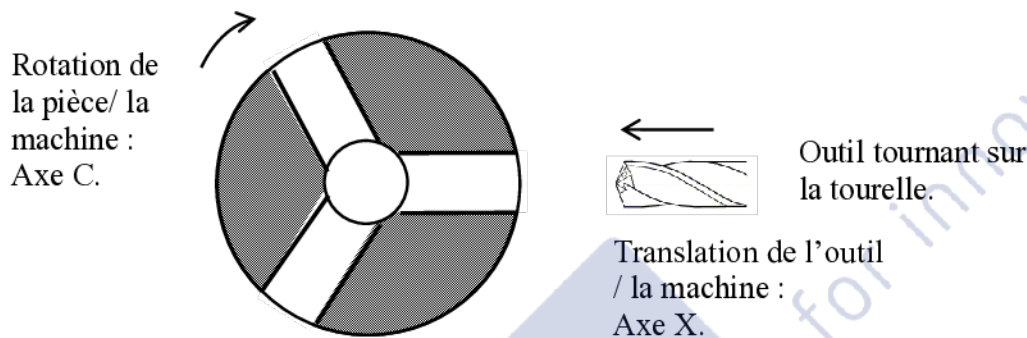
- Perçage des trous de centre à chaque extrémité.

Cela permet de pouvoir définir une même mise position pour les différentes phases d'usinage (tournage, taillage et rectification).

- Tournage de toutes les surfaces (en ébauche et finition).
- Taillage des cannelures et des dentures hélicoïdales.
- Traitement thermique (préparation, cémentation, trempe).
- Rectification cylindrique des surfaces a , b et c . Pour reprendre les défauts liés au traitement thermique et pour obtenir les spécifications d'état de surface et de forme.

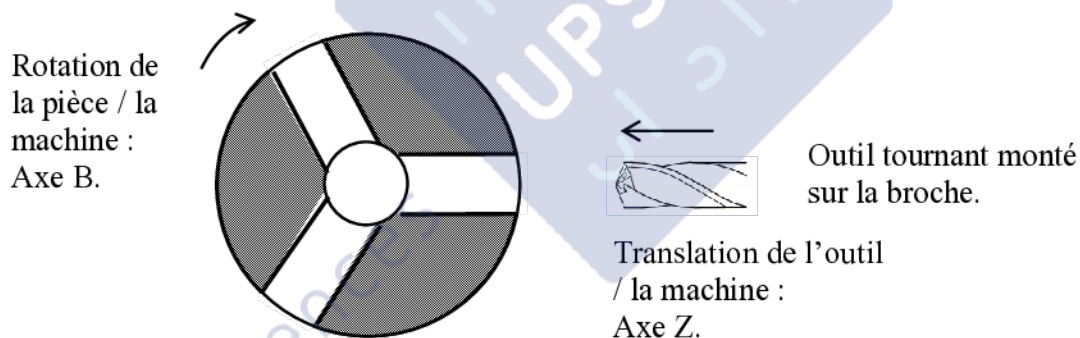
Question 39 : Proposer pour les deux types de machine les caractéristiques cinématiques minimales (le nombre d'axes de translation et de rotation) nécessaires à la réalisation de ces perçages sans démontage de la pièce. Vous détaillerez chaque cas avec une figure illustrant les mouvements relatifs entre la pièce et la machine d'une part, et l'outil et la machine d'autre part. Vous nommerez les axes concernés par X, Y et Z pour les translations et A, B, C pour les rotations respectivement autour de X, Y et Z. En tournage, l'axe Z est celui de la pièce alors que Z est l'axe de l'outil et de la broche en fraisage.

Tour 3 axes : un axe C en rotation et deux axes X et Z en translation.



La variable C associée à l'axe C prend successivement la valeur 0° , 120° et 240° .

Centre d'usinage 4 axes horizontal : un axe B en rotation et trois axes X, Y et Z en translation.



La variable B associée à l'axe B prend successivement la valeur 0° , 120° et 240° .

Question 40 : Compte tenu de la gamme proposée précédemment, laquelle de ces solutions paraît la plus appropriée d'un point de vue économique ? Justifier.

L'utilisation d'un centre d'usinage pour réaliser les perçages radiaux est plus coûteuse et plus complexe puisque la géométrie générale à réaliser est essentiellement coaxiale. Elle nécessite la mise en œuvre d'une machine supplémentaire et la réalisation d'un porte-pièce. La solution utilisant le tour 3 axes est donc plus indiquée.

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 : _____ N° du candidat

Né(e) le _____ (le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

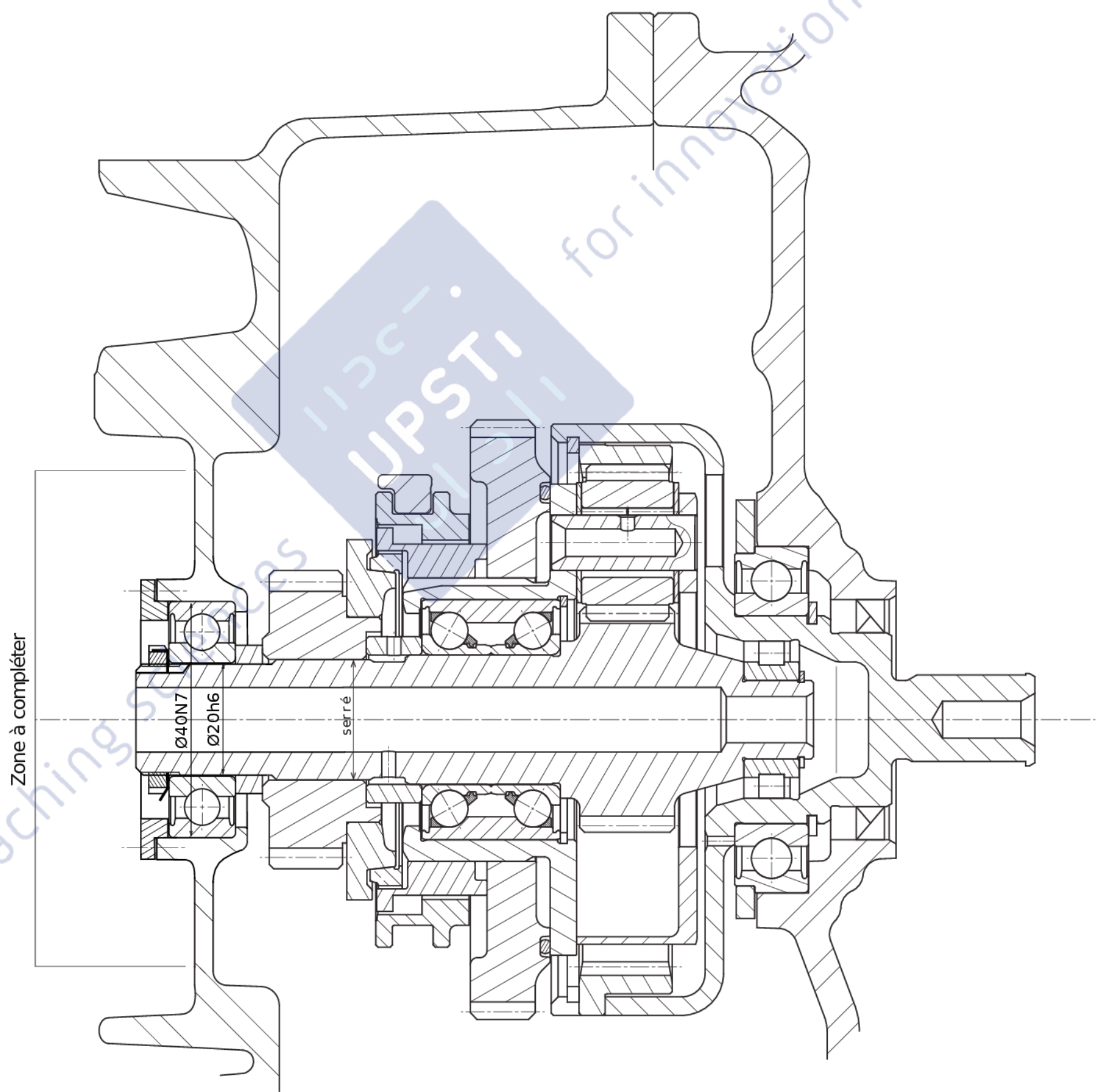
NE RIEN ÉCRIRE

DANS LA PARTIE BARRÉE

DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE

146



CALQUE REPONSE

Echelle 1:1



Taille : A3

