

<b>Examen : BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR</b>	<b>SESSION 2004</b>	
<b>Spécialité : MAINTENANCE ET APRES-VENTE AUTOMOBILE</b>	<b>Code : MAVPM</b>	
<b>Epreuve : U.4 VERIFICATION DES PERFORMANCES D'UN MECANISME</b>	<b>Durée: 6h</b>	<b>Coef.: 4</b>

## VERIFICATION DES PERFORMANCES D'UN MECANISME

Le sujet est constitué de deux thèmes indépendants.

### Premier thème

#### MOTEUR HPI A INJECTION DIRECTE ESSENCE

Comprend le texte du sujet :

- Documents techniques pages 1 à 4,
- travail demandé pages 5 à 8.

### Deuxième thème

#### DIRECTION ASSISTEE ELECTRIQUE

Comprend le texte du sujet :

- Documents techniques pages 9 à 12,
- travail demandé pages 13 à 15,
- document réponse page 16 à compléter et à joindre à la feuille de copie.

### Barème :

#### Premier thème : MOTEUR HPI A INJECTION DIRECTE ESSENCE SUR 100 POINTS

<b>N°</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>
<b>poids</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>8</b>
<b>N°</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>27</b>
<b>Poids</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>7</b>
<b>N°</b>	<b>31</b>	<b>32</b>	<b>331</b>	<b>332</b>	<b>333</b>	<b>334</b>	<b>34</b>
<b>Poids</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>4</b>

#### Deuxième thème : DIRECTION ASSISTEE ELECTRIQUE SUR 100 POINTS

<b>N°</b>	<b>1.1</b>	<b>1.2</b>	<b>1.3</b>	<b>1.4</b>	<b>1.5</b>	<b>1.6</b>	<b>1.7</b>
<b>poids</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>20</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>5</b>
<b>N°</b>	<b>2.1</b>	<b>2.2</b>	<b>3.1</b>	<b>3.2</b>	<b>3.3</b>	<b>3.4</b>	<b>3.5</b>
<b>Poids</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>10</b>

**AUCUN DOCUMENT N'EST AUTORISE**

Examen : Brevet de Technicien Supérieur	Session : 2004
Spécialité : Maintenance et Après-Vente Automobile	Code : MAVPM
Epreuve : U4 Vérification des performances d'un mécanisme	NOTE

**A lire aux candidats en début d'épreuve**

Mardi 25 mai 2004, à 9h00

**Epreuve U4**

**Page 2/16**

*En bas de la page, dans le tableau :*

**En face Cylindrée (cm<sup>3</sup>) lire : 1998 (au lieu de V = 1998)**

**PREMIER THEME : MOTEUR HPI A INJECTION DIRECTE ESSENCE****A - PRINCIPE DE L'INJECTION DIRECTE HPI**

Dans un système à injection directe, le carburant est directement injecté sur la tête des pistons qui a une forme particulière.

L'injection est réalisée à très haute pression grâce à une rampe d'injection commune aux injecteurs électromagnétiques.

La pression d'injection peut atteindre les valeurs suivantes :

- 100 bars (pression maxi),
- 70 bars au ralenti,
- 30 bars en régime transitoire.

*Le moteur HPi utilise deux modes de fonctionnement :*

**1 Fonctionnement à mélange air/essence très pauvre et stratifié :**

Ce mode de fonctionnement est utilisé lorsque les performances demandées par le conducteur sont faibles (richesse moyenne entre 0,2 et 0,6 ou excès d'air 1,7 à 5).

La combustion est effectuée avec un excès d'air (mélange pauvre).

Le papillon motorisé est ouvert au maximum, indépendamment de la position de la pédale d'accélérateur. La vanne EGR est commandée, on recycle une partie des gaz brûlés.

La charge moteur est alors commandée par le temps d'injection (masse de carburant admise dans les cylindres).

L'injection du carburant s'effectue en fin de phase compression, juste avant l'allumage, de sorte qu'une partie de la faible quantité d'essence injectée n'ait pas le temps de se vaporiser totalement dans le cylindre. Ainsi on obtient à proximité de la bougie, une zone de mélange suffisamment riche pour initier la combustion lors de l'allumage.

La combinaison du tourbillon d'air et du jet de carburant sur la tête du piston crée un mélange stratifié (couches successives de mélange à richesse décroissante dans la chambre de combustion).

Le pot catalytique stocke les oxydes d'azote. Sa capacité d'accumulation dépend beaucoup de la température des gaz d'échappement. Elle atteint un maximum dans la plage de 300° C à 400°C.

Ce nouveau mode de fonctionnement du moteur permet des gains importants de consommation de carburant en roulage urbain.

**2 Fonctionnement à mélange air/essence homogène :**

Ce mode de fonctionnement est utilisé pour obtenir les performances maximales du moteur (richesse à environ 1).

L'injection du carburant s'effectue dès la course d'admission de sorte que le mélange air/essence ait le temps de s'homogénéiser parfaitement avant la combustion.

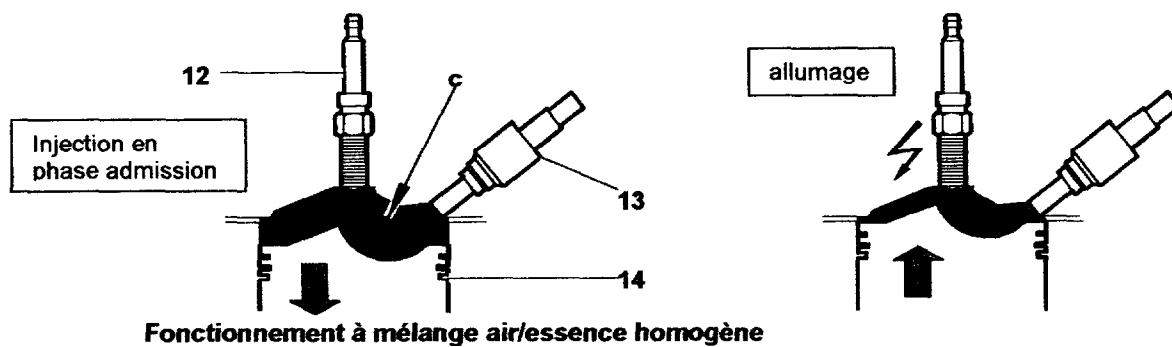
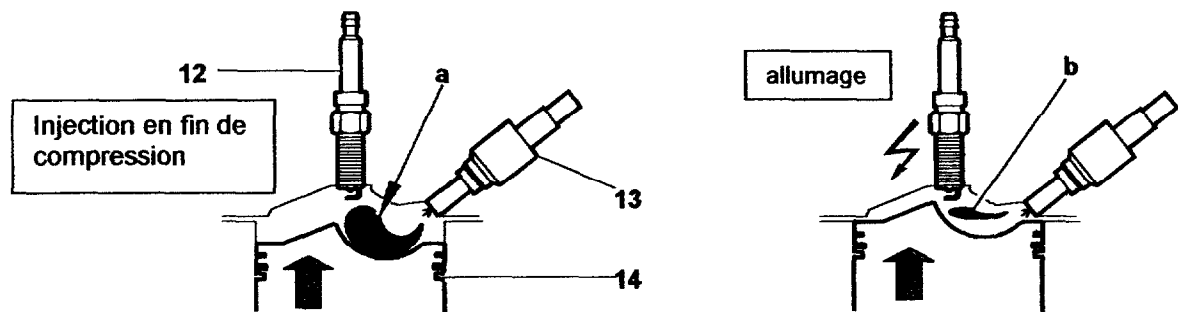
La charge moteur est commandée par la position du papillon motorisé.

Le fonctionnement est semblable à celui d'un moteur à injection indirecte.

La pression dans la tubulure d'admission se situe alors entre 0,3 et 0,9 bar suivant l'ouverture du papillon des gaz.

Le déstockage des oxydes d'azote se produit lors d'un fonctionnement du moteur à mélange air/essence homogène.

### Fonctionnement à mélange air/essence très pauvre et stratifié

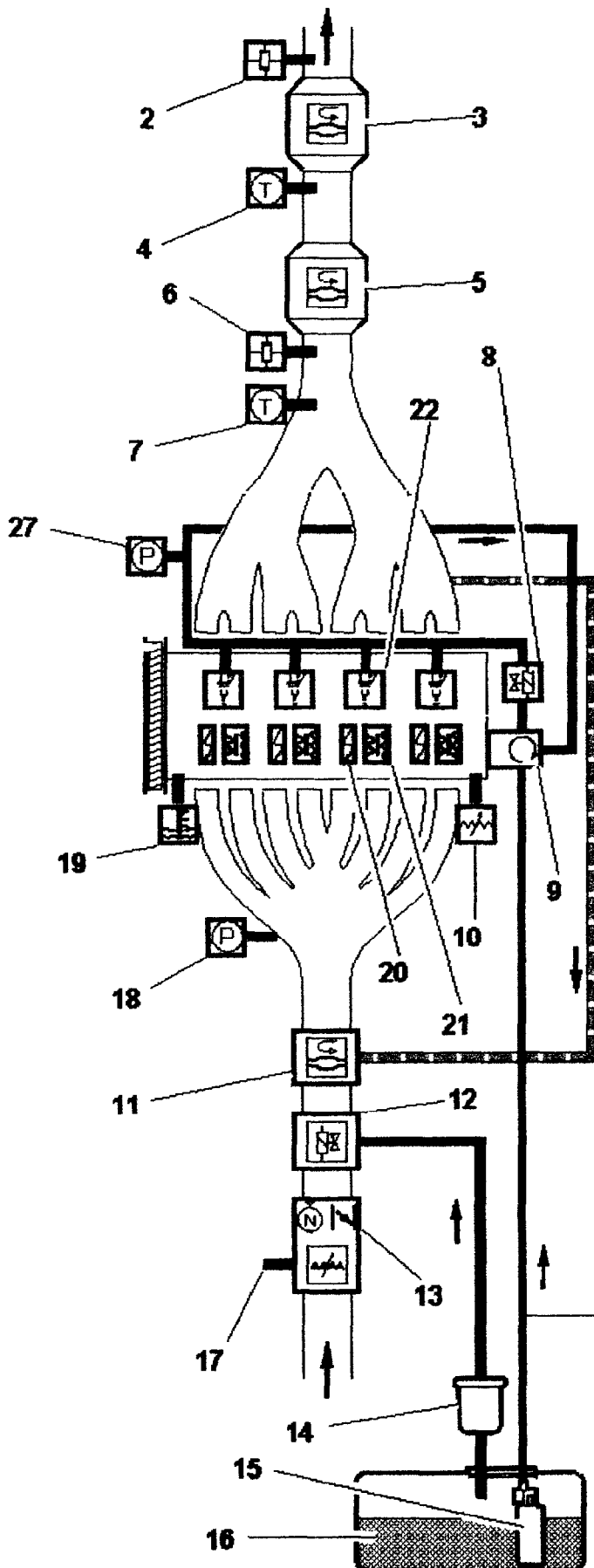


- a - Carburant amené vers la bougie d'allumage par la forme du piston.
- b - Carburant concentré près de la bougie d'allumage.
- c - Mélange air/essence homogène.
- 12 - Bougie d'allumage.
- 13 - Injecteur essence.
- 14 - Piston.

## B - CARACTERISTIQUES DU MOTEUR HPI 16 EW10D

Code moteur	EW10 D
Nombre de cylindres	$n = 4$
Alésage x course (mm)	85 x 88
Cylindrée (cm <sup>3</sup> )	$V = 1998$
Rapport volumétrique $\epsilon$	$\epsilon = 11.4$
Puissance maxi (C.E.E.)	$P_e = 103 \text{ kW}$
Régime puissance maxi	$N = 6000 \text{ tr/min}$
Couple maxi (C.E.E.)	$C_e = 19,2 \text{ daN.m}$
Régime couple maxi	4100 tr/min
Système d'injection	Multipoint à haute pression
Marque / type	SIEMENS / Sirius 81

**SYNOPTIQUE MOTEUR**



Rep.	Désignation
2	Sonde à oxygène
3	Pot catalytique à accumulateur de NOx
4	Capteur de température échappement
5	Précatalyseur à trois voies
6	Sonde à oxygène
7	Capteur de température échappement
8	Régulateur pression essence
9	Pompe essence haute pression
10	Capteur de cliquetis
11	Vanne EGR
12	Electrovanne de purge canister
13	Boîtier papillon motorisé
14	Canister
15	Pompe de gavage essence
16	réservoir
17	sonde de température d'air
18	Capteur de pression tubulure d'admission
19	Sonde de température d'eau moteur
20	Bougies d'allumage
21	Boîtier bobines compact
22	Injecteurs
27	Capteur haute pression essence

Circuit de recyclage des gaz brûlés

Circuit d'alimentation essence

**C – OBJET DE L'ETUDE**

On étudiera dans un premier temps le cycle thermodynamique du moteur à injection directe en mode "à mélange homogène" puis en mode "pauvre et stratifié".

Objectifs :

- Déterminer en mode stratifié la température du mélange admis nécessaire à l'obtention de températures à l'échappement correspondant aux conditions de stockage des oxydes d'azote (voir page 1 et les capteurs 4 et 7 page3).
- Comparer d'un point de vue énergétique les deux modes de fonctionnement.

On étudiera dans un second temps les caractéristiques d'injection dans les deux modes de fonctionnement.

Objectif :

- Dimensionner les injecteurs et la pompe haute pression de sorte qu'ils soient compatibles avec les deux modes de fonctionnement.

**D – DONNEES**

**Ces valeurs caractéristiques sont communes aux deux modes de fonctionnement**

Gaz admis dans le cylindre = gaz parfait :

- Constante caractéristique  $r_{\text{air}} = r_{\text{mélange}} = r = 287 \text{ J}/(\text{kg.K})$
- Capacité thermique massique à volume constant :  
 $c_v = c_{v\text{air}} = c_{v\text{mélange}} = 713 \text{ J}/(\text{kg.K})$

Carburant :

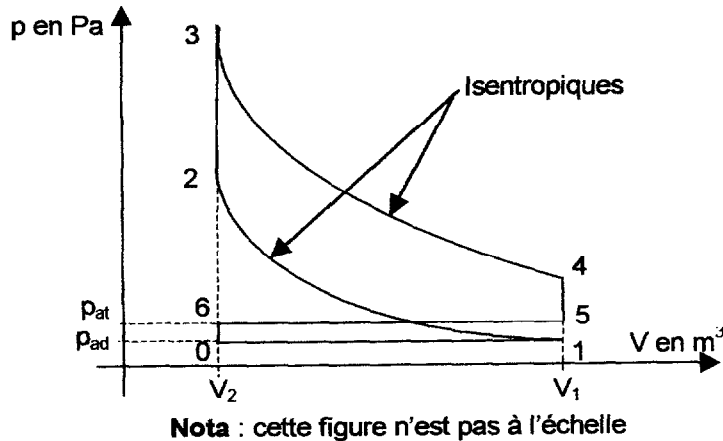
- Pouvoir calorifique inférieur  $P_{\text{ci}} = 4,5 \cdot 10^7 \text{ J/kg}$
- Dosage stœchiométrique  $d_s = 1/15$

Conditions ambiantes :

- Température ambiante  $20^\circ\text{C}$
- Pression atmosphérique  $10^5 \text{ Pa}$

Moteur :

- voir caractéristiques page 2
- le moteur est toujours étudié à mi-charge, car cette phase correspond à une situation où l'injection peut adopter l'un ou l'autre mode de fonctionnement.
- On a renouvellement de tous les gaz lors d'un cycle.

**1 – Etude du cycle moteur en mode injection directe à mélange homogène.**

*L'injection est réalisée pendant la phase d'admission d'air dans les cylindres, on se retrouve dans une situation identique à celle de l'injection indirecte classique avec une masse de mélange définie lors de la fermeture des soupapes.*

Le cycle théorique étudié est un cycle à admission partielle dérivé du cycle de Beau de Rochas. On admet qu'il est formé de deux boucles.

La boucle supérieure 1, 2, 3, 4, 1 constituée de deux isentropiques et de deux isochores. La boucle inférieure (0, 1, 5, 6, 0) formée de deux opérations mécaniques de transvasement (l'admission 0→1 et l'échappement 5→6) et de deux isochores. L'étude proposée concerne un cylindre.

Remarque : on fournira l'expression littérale puis l'application numérique lors des calculs.

- 1.1. Déterminer, en fonction de  $V$  et  $\varepsilon$ , les volumes  $V_1$  et  $V_2$  en  $m^3$ ; avec  $V_1 - V_2 = V$  cylindrée unitaire du moteur.
- 1.2. Calculer  $\gamma$  exposant isentropique
- 1.3. A mi-charge, la pression de fin d'admission est de  $p_1 = 0,5 \cdot 10^5$  Pa et la température  $\theta_1 = 20^\circ C$ .
  - Déterminer la masse de mélange  $m_{mél}$  au point 1 du cycle, on suppose que cette masse occupe tout le volume  $V_1$ .
- 1.4. En fin de compression
  - Calculer la pression  $p_2$ ,
  - Calculer la température  $T_2$ .
- 1.5. En mode "mélange homogène" la richesse est  $Ri = 1$ . On considère le rendement de combustion  $\eta_{comb} = 1$ 
  - Déterminer la masse d'essence brûlée  $m_e$ .
  - Déterminer la quantité de chaleur apportée au cours d'un cycle :  $Q_{23}$ .
- 1.6. En fin de combustion :
  - Déterminer la température  $T_3$ .
  - Calculer la pression  $p_3$ .
- 1.7. On donne :  $T_1 = 293$  K,  $T_2 = 776$  K,  $T_3 = 4720$  K,  $T_4 = 1783$  K,  $V = 499,5$   $cm^3$ ,  $p_{ad} = p_0 = p_1 = 0,5$  bar et  $p_{at} = p_5 = p_6 = 1$  bar.
  - Calculer le travail échangé au cours du cycle moteur  $W_{cycle}$  ( $W_{01234560}$ ).
  - En déduire son rendement  $\eta_c$ .

## 2 – Etude du cycle en mode injection directe à mélange très pauvre et stratifié

Dans cette phase en mélange très pauvre ( $0,2 < Ri < 0,6$ ) on a recours à une injection stratifiée (voir page1) avec une richesse locale (autour de la bougie) suffisante pour que la combustion se déroule correctement.

Afin que les cycles soient comparables on considère :

- Une même quantité d'essence injectée qu'au cycle précédent  $m_e = 20,3 \cdot 10^{-6} \text{ kg}$ .
- Le moteur fonctionne encore à mi-charge, mais avec une pression dans la tubulure d'admission de  $0,9 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  (papillon motorisé en pleine ouverture).

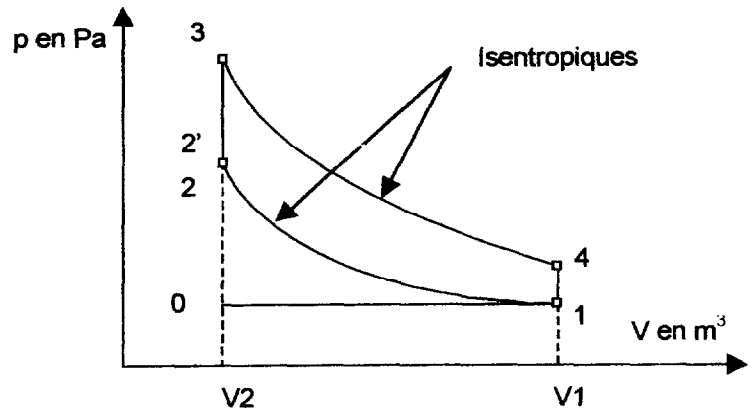
### Modélisation adoptée pour cette étude théorique:

On considère que toute la masse d'essence est injectée en fin de compression juste avant l'allumage au cours du passage  $2 \rightarrow 2'$ .

Les points 2 et 2' sont **supposés confondus** sur le cycle théorique (durée d'injection négligeable). On admettra par conséquent que les volumes et les pressions sont identiques aux points 2 et 2'. Seules la température et la masse évoluent au cours du passage  $2 \rightarrow 2'$ . ( $T_2 \neq T_2'$ )

On admet que :

- La pression d'admission étant voisine de la pression atmosphérique on néglige la boucle inférieure et on assimile le cycle théorique au cycle de Beau de Rochas.
- Le point 2, début d'injection, est situé à la fin de la phase compression. La masse de gaz contenue dans le cylindre est égale  $m_a$  (masse de gaz admis).
- Le point 2' est situé à la fin de la phase d'injection de la masse d'essence  $m_e$ . Le cylindre contient maintenant une masse de mélange  $m_a + m_e$ .



$$\text{On donne : } T_4 = \frac{1}{m_a + m_e} \left[ \frac{m_e P_{ci}}{C_v} \varepsilon^{1-\gamma} + \frac{P_1 V_1}{r} \right]$$

- 2.1. Dédurre de la relation précédente l'expression littérale de la masse de mélange  $m_a + m_e$  en fonction de  $T_4$ ;  $V_1$ ;  $p_1$ ;  $r$ ;  $\varepsilon$ ;  $\gamma$ ;  $m_e$ ;  $P_{ci}$  et  $C_v$ .
  - 2.2. On considère que la température des gaz d'échappement en sortie de cylindre doit être  $T_4 = 1200 \text{ K}$  pour obtenir un bon fonctionnement du catalyseur. On rappelle que la masse d'essence injectée par cylindre est  $m_e = 20,3 \cdot 10^{-6} \text{ kg}$  (même masse que dans le mode précédent).
- Calculer à partir de ces valeurs la masse  $m_a$  de gaz admis dans un cylindre.



2.3. On redonne :  $T_4 = \frac{1}{m_a + m_e} \left[ \frac{m_e P_{ci}}{C_v} \epsilon^{1-\gamma} + m_a T_1 \right]$ .

- A l'aide de la relation fournie ci-dessus exprimer la température  $T_1$  en fonction de  $T_4$ ;  $m_a$ ;  $\epsilon$ ;  $\gamma$ ;  $m_e$ ;  $P_{ci}$  et  $C_v$ .
- Puis calculer  $T_1$  utile dans le cas d'une température des gaz d'échappement imposée  $T_4 = 1200K$ .

2.4. Comparer  $T_1$  utile avec la température ambiante de l'air d'admission. Quelle est sur ce moteur la solution utilisée pour augmenter la température des gaz admis dans le cylindre (voir page 3) ?

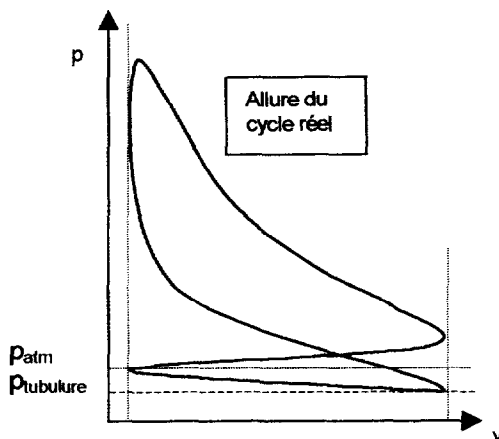
2.5. En considérant une masse de gaz admis  $m_a = 526 \cdot 10^{-6} kg$ , à la température de 324 K.

- Calculer les valeurs numériques de  $T_2$ ,  $T_2$  et  $T_3$ . (Voir page 6 pour  $T_2$ )
- Montrer que le rendement du cycle théorique peut se mettre sous la forme :  $\eta = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$ . En déduire la valeur du rendement thermodynamique de ce cycle en injection stratifiée à mélange pauvre.

2.6. Comparer les rendements des deux cycles théoriques précédents (mélange homogène et mélange pauvre) et conclure.

2.7. Dans le cycle réel moteur, la boucle basse de changement de charge induit un travail résistant  $W_{\text{boucle basse}}$  dû essentiellement aux pertes de charge à l'admission.

- Comment évolue l'aire de cette boucle lorsque l'on passe du mode homogène au mode stratifié. Justifier en fonction de la pression dans la tubulure d'admission. On rappelle  $|W_i| = |W_{\text{boucle haute}}| - |W_{\text{boucle basse}}|$
- Montrer que le rendement de forme en charge stratifiée  $\eta_{\text{forme}} = \frac{W_{\text{indiqué}}}{W_{\text{cycle théorique}}}$  s'en trouve amélioré par rapport au fonctionnement en charge homogène : faire une figure.



Mode de fonctionnement :	Pression tubulure
Mélange homogène	$0,5 \cdot 10^5 Pa$
Mélange stratifié	$0,9 \cdot 10^5 Pa$

### 3 – Dimensionnement des injecteurs d'essence.

Pour dimensionner un injecteur il faut évaluer le débit maximal requis. Celui-ci correspond au fonctionnement en phase d'injection stratifiée où l'on impose une durée d'injection extrêmement courte. La situation de débit maxi en mode stratifié est réalisée à mi-charge et à 3500 tr/min (au delà de ces valeurs le calculateur passe en mode « mélange homogène » ). On rappelle qu'à mi-charge, la masse d'essence injectée par cycle moteur est  $m_e = 20,3 \cdot 10^{-6}$  kg pour un cylindre.

Données d'étude :

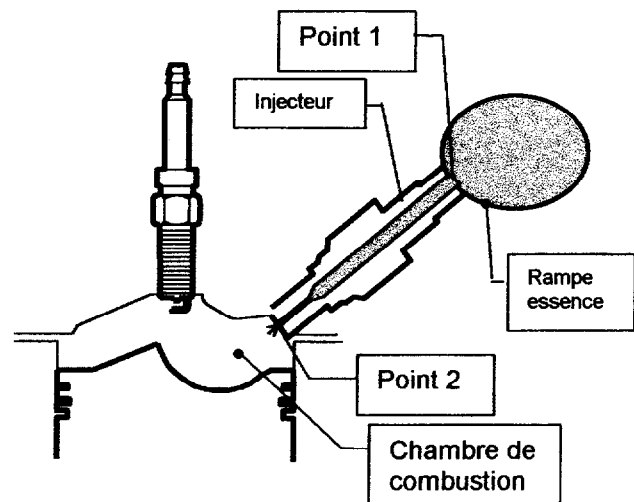
Pression essence dans la rampe d'injection	$p_r = 100 \cdot 10^5$ Pa
Pression air dans la tubulure admission	$p_{\text{tub}} = 0,9 \cdot 10^5$ Pa
Pression air dans cylindre en phase injection	$p_{\text{cyl}} = 20 \cdot 10^5$ Pa
Durée d'injection (angle vilebrequin)	$\alpha_i = 25^\circ$
Régime maxi de phase stratifiée	$N = 3500$ tr/min
Masse d'essence par cycle et par cylindre	$m_e = 20,3 \cdot 10^{-6}$ kg

- 3.1. Calculer dans les conditions données ci-dessus la durée d'injection  $t_i$  en secondes.
- 3.2. Déterminer le débit masse d'essence d'un injecteur  $q_{m_i}$  en kg/s.
- 3.3. Expression littérale de  $q_{m_i}$  :

- 3.3.1. Appliquer l'équation de Bernoulli entre les sections 1 et 2 de l'écoulement.

On remarque que  $z_2 - z_1 = 46$  mm, donc le terme  $g(z_2 - z_1)$  est négligeable. De même  $V_1^2$  ( $C_1^2$ ) est négligée devant  $V_2^2$  ( $C_2^2$ ), ainsi que les pertes de charge  $J_{1 \rightarrow 2}$ .  $V_1$  et  $V_2$  sont les vitesses d'écoulement de l'essence à l'entrée et à la sortie de l'injecteur.

- 3.3.2. Justifier l'hypothèse précédente : " $V_1^2$  est négligeable devant  $V_2^2$ ", en écrivant la conservation du débit masse entre 1 et 2 et en considérant que  $S_2$  est très petit devant  $S_1$ . ( $S_1$  et  $S_2$  étant respectivement les sections à l'entrée et à la sortie de l'injecteur).
- 3.3.3. Tirer de l'équation de Bernoulli simplifiée l'expression littérale de  $V_2$  en fonction de la différence de pressions ( $p_2 - p_1$ ) et de la masse volumique de l'essence  $\rho_{\text{ess}}$ .
- 3.3.4. En déduire l'expression littérale du débit masse d'un injecteur  $q_{m_i}$  en fonction de  $p_2 - p_1$  ;  $\rho_{\text{ess}}$  et  $S_2$ .



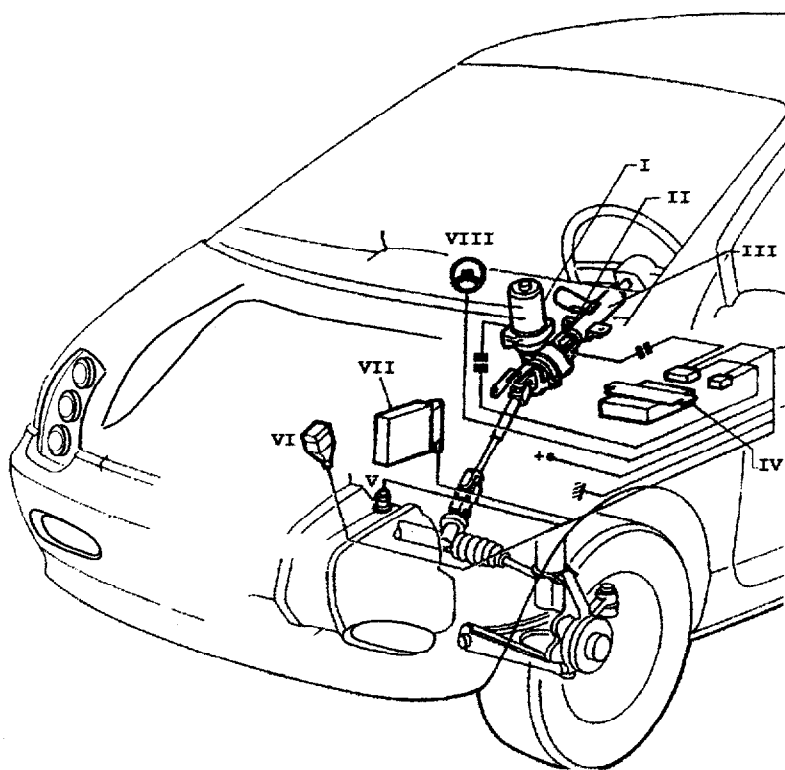
- 3.4. Calculer le diamètre  $d_2$  de l'injecteur avec  $\rho_{\text{ess}} = 760$  kg/m<sup>3</sup>.

## SECOND THEME : DIRECTION A ASSISTANCE ELECTRIQUE : DAE

### A – MISE EN SITUATION DU PRODUIT

Les fortes contraintes d'encombrement dans le compartiment moteur, la réduction des coûts de fabrication ainsi que la recherche d'économie en énergie embarquée ont motivé l'exploration vers des assistances de direction utilisant l'énergie électrique. Cette énergie électrique est consommée uniquement en phase d'assistance contrairement à une pompe de direction assistée hydraulique qui est entraînée en permanence par le moteur.

L'assistance apportée par la DAE permet de réduire les efforts tout particulièrement en manœuvre de parking et à basse vitesse.



- I. Moteur électrique d'assistance
- II. Capteur de couple
- III. Colonne de direction
- IV. Calculateur de la DAE
- V. Capteur de vitesse

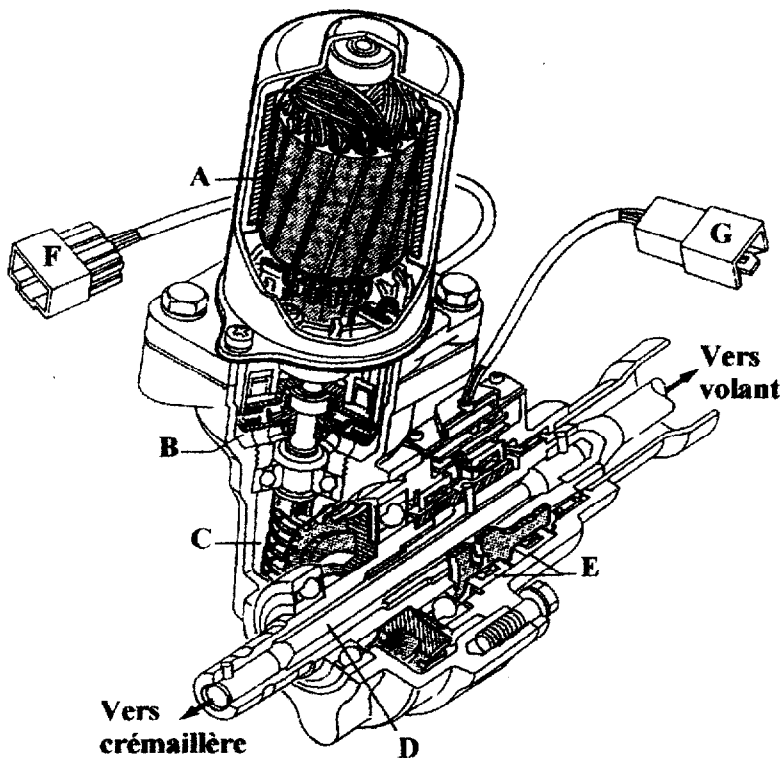
### B – PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

La DAE assiste les efforts de direction dès la sollicitation du volant. Lorsqu'un couple est appliqué au volant, celui-ci est transmis mécaniquement à la crémaillère et électriquement au calculateur sous forme d'un signal émis par le capteur de couple. Le couple d'assistance est fourni à l'aide d'un moteur électrique, s'additionnant au couple volant appliqué par le conducteur.

Le calculateur fournit au moteur électrique un courant d'alimentation en fonction :

- du couple au volant
- de la vitesse véhicule.

Le système de direction assistée électrique est monté sur une crémaillère de direction classique. Un embrayage puis un réducteur à roue et vis sans fin transmettent l'effort d'assistance du moteur électrique à la colonne.



- A. Moteur électrique d'assistance
- B. Embrayage électromagnétique
- C. Réducteur roue et vis sans fin
- D. Barre de torsion
- E. Bobines de détection d'écart angulaire sur la barre de torsion
- F. Connecteur moteur et embrayage
- G. Connexion détecteur

### C – OBJET DE L'ETUDE

Il s'agit d'évaluer le couple maximal exercé sur la colonne de direction vers la crémaillère. Cette situation fréquente en manœuvre de parking correspond aux conditions suivantes :

- Braquage à l'arrêt (Vitesse véhicule = 0)
- Véhicule en charge maxi
- Conditions d'adhérence élevée.

#### Objectif :

La connaissance du couple maximal exercé sur la colonne permettra de dimensionner les éléments de la chaîne cinématique de cette direction et plus particulièrement :

- Le moteur électrique qui délivre le couple d'assistance.
- La barre de torsion dont la déformation angulaire est l'image du couple exercé sur le volant.

## D - DONNEES D'ETUDE

**Modélisation cinématique du système :**

Le système pignon 6 /crémaillère 5 transforme le mouvement de rotation du volant en mouvement de translation de la crémaillère par rapport au châssis 0' du véhicule.

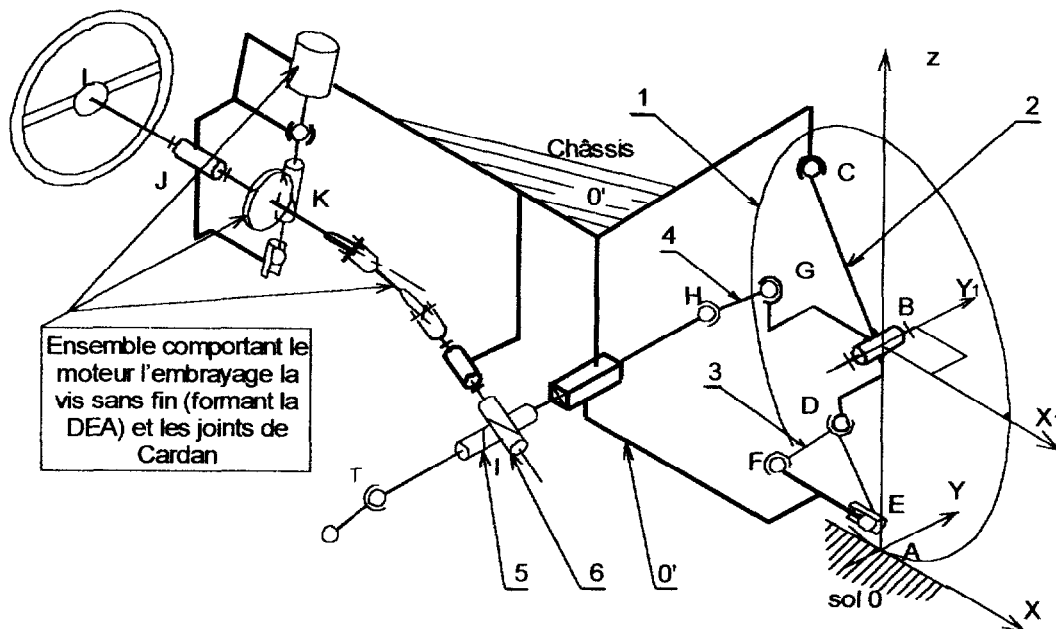
La crémaillère 5 déplace à ses extrémités des biellettes 4 qui déterminent le pivotement des porte moyeux 2 réalisant ainsi le braquage des roues directrices 1.

Les biellettes 4 sont reliées au bras des portes moyeux 2 d'une part et à la crémaillère 5 d'autre part par des rotules.

Le porte moyeu 2 est constitué d'un bras et du moyeu de roue.

La roue est liée par une liaison pivot d'axe  $\vec{B}, \vec{Y}_1$  au porte moyeu 2.

Le repère  $\vec{B}, \vec{X}_1, \vec{Y}_1, \vec{Z}$  est lié à la roue 1.

**Remarque :**

- A : centre de la liaison sol 0 / roue 1.
- B : centre de la liaison pivot 2/1 d'axe  $\vec{Y}_1$ .
- C : centre de la liaison sphérique 2/0'.
- D : centre de la liaison sphérique 2/3.
- E : centre de la liaison sphère/cylindre 3/0' d'axe  $\vec{X}$ .
- F : centre de la liaison sphérique 3/0'.
- G : centre de la liaison sphérique 2/4.
- H : centre de la liaison sphérique 4/5.

**Hypothèses d'étude :**

- La voiture est à l'arrêt au moment du braquage (manœuvre de parking). Pour simplifier l'étude on admettra que le comportement cinématique de la roue durant le braquage est le suivant :
  - La roue ne tourne pas autour de l'axe de son moyeu  $\vec{B}, \vec{Y}_1$  (pas de rotation de  $\frac{1}{2}$ ,  $\omega_{Y1} = 0$ ) donc l'ensemble roue 1 plus porte moyeu 2 sera assimilé à un solide.
- Le poids propre des pièces est négligé.
- La répartition du poids de la voiture sur le train est symétrique par rapport au plan longitudinal.
- Les liaisons sont supposées parfaites, sauf la liaison sol/roue.
- En début de braquage les roues sont parallèles au plan longitudinal de symétrie.
- Les résistances au roulement sont négligées ( $\vec{M}_{A(sol/roue)}, \vec{Y}=0$ )

**Caractéristiques techniques :**

- La composante normale de l'action du sol sur chacune des roues avant a pour valeur 2300 N.
- Le «coefficient de frottement longitudinal» d'un pneu par rapport au sol est :  $\tan\varphi = 0,9 = \mu_L$ .
- Points caractéristiques du train avant dans le repère  $O, \vec{X}, \vec{Y}, \vec{Z}$  **repère de travail pour la partie statique 1 :**

Points	X	Y	Z
A	0	633,9	0
B	0	633,9	250
C	-5	550,8	730
D	0	625,3	160
E			160
F			160
G	-111,4	613,9	250
H	-161,3	240,6	300

## E – TRAVAIL DEMANDE

Une étude du contact du sol-roue nous permet de déterminer que l'action du sol 0 sur la roue 1 est de la forme :

$$[A_{0/1}]_A = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 2300 & 70 \end{bmatrix}_{(x, y, z)} \quad \text{unités N et Nm}$$

### 1. DETERMINATION DU COUPLE NECESSAIRE SUR LA COLONNE DE DIRECTION LORS DU BRAQUAGE.

#### Hypothèses de travail

- Nous considérons l'engrènement pignon/crémaillère comme étant un engrenage à denture droite.
- Caractéristique du pignon et de la crémaillère :  
Diamètre primitif pignon  $D_6$  : 20 mm ; angle de pression :  $20^\circ$   
contact considéré comme ponctuel (sphère plan) au point I.
- Les roues sont parallèles au plan longitudinal de symétrie.
- La crémaillère est en liaison glissière d'axe  $\vec{Y}$  par rapport châssis.
- La crémaillère admet un plan de symétrie  $(I, \vec{Y}, \vec{Z})$ .

1.1. Compléter le graphe des liaisons document réponse page 16

1.2. Etude de l'équilibre de la biellette 4 :

Les actions en G de 2 sur 4 peuvent se mettre sous la forme :  $[G_{2/4}]_G = \begin{Bmatrix} X_G & 0 \\ Y_G & 0 \\ Z_G & 0 \end{Bmatrix}_{(x, y, z)}$ .

Etudier l'équilibre statique de la biellette 4 et montrer que l'on a :

$$X_G = 0,134.Y_G \text{ et } Z_G = -0,134.Y_G.$$

1.3. Etude de l'équilibre du triangle inférieur 3.

Montrer que l'action en D de 2 sur 3 n'a pas de composante sur  $\vec{Z}$  ( $Z_D = 0$ ) ; on remarquera que les trois points D, E et F du triangle sont dans un plan perpendiculaire à  $\vec{Z}$ .

1.4. Etude de l'équilibre de l'ensemble 1 + 2 :

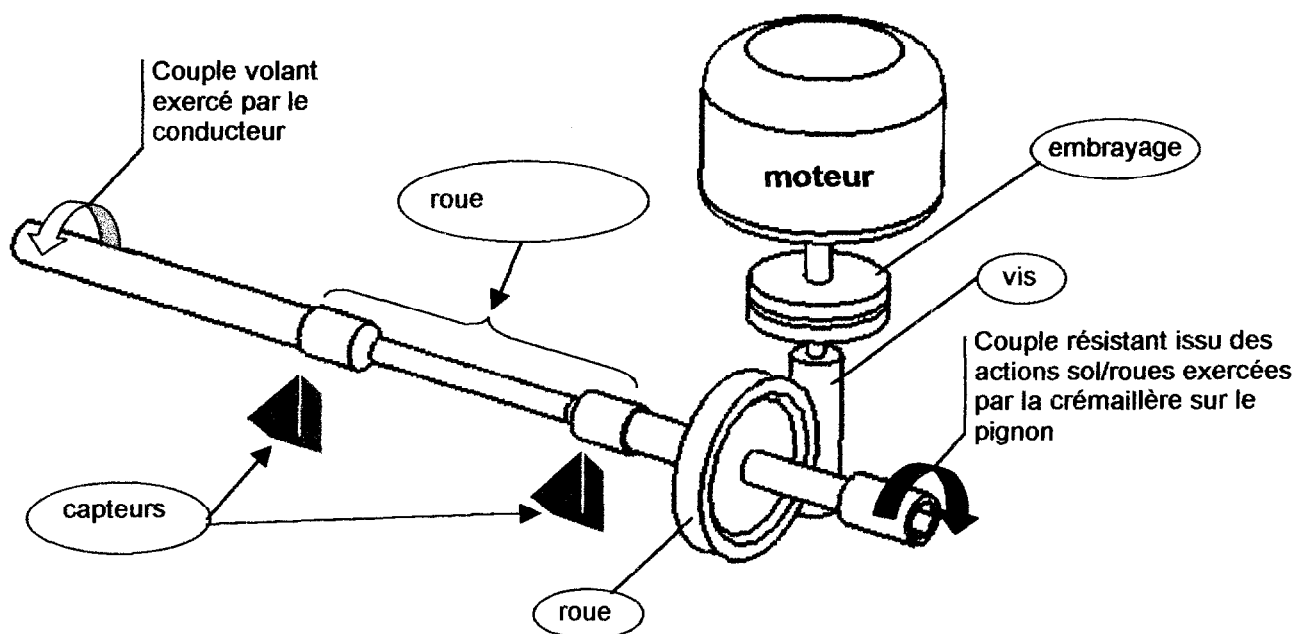
- Exprimer les torseurs des actions mécaniques extérieures à 1+2.
- Ecrire les équations découlant de l'application du Principe Fondamental de la Statique (PFS) appliqué au point C..
- Déterminer complètement les composantes de l'action mécanique de 4 sur 2 au point G représentées par le torseur  $[G_{4/2}]$ .

1.5. On donne :  $[G_{4/2}]_G = \begin{Bmatrix} 86 & 0 \\ 642 & 0 \\ -86 & 0 \end{Bmatrix}_{(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})}$  unités N et Nm

- En déduire les composantes du torseur  $[H_{4/5}]$  des actions mécaniques de 4 sur 5 au point H.
- 1.6. Déterminer la composante tangentielle (portée par  $\vec{Y}$ ) de l'effort transmis par la crémaillère sur le pignon. On admet que les composantes axiales des actions des biellettes 4 sur la crémaillère 5 sont égales.
- 1.7. En déduire la valeur absolue du moment transmis sur l'axe du pignon 6.

**2 Dimensionnement de la barre de torsion:**

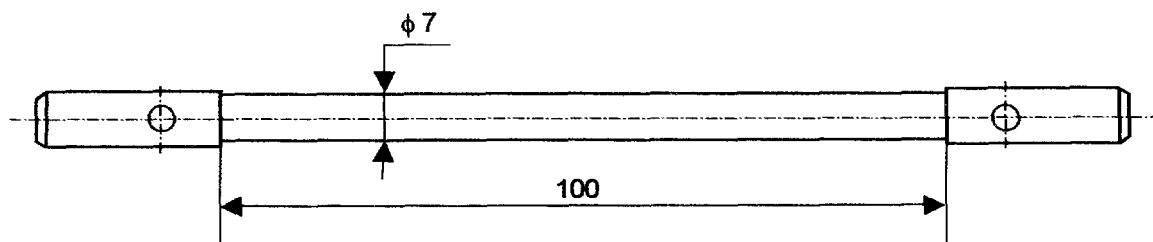
Mise en situation :



caractéristiques de la barre de torsion :

$G = 8 \cdot 10^4 \text{ MPa}$

$I_0 = (\pi d^4) / 32$



- 2.1. Déterminer la déformation angulaire  $\alpha$  de la barre de torsion pour un couple au volant  $M_t = 5 \text{ Nm}$  afin de définir la sensibilité angulaire des capteurs.
- 2.2. Calculer la contrainte maximale de torsion  $\tau_{\text{maxi}}$  pour  $M_t = 5 \text{ Nm}$ .



### 3 Dimensionnement de l'ensemble moto-réducteur :

Conditions d'étude :

- Le couple résistant du pignon sur la crémaillère est de 13 Nm
- Le couple exercé par le conducteur sur le volant est de 3Nm
- On néglige les inerties.
- Caractéristiques du système roue et vis sans fin :

$\beta_{roue} = 16^\circ$ ,  $Z_{roue} = 33$  dents, module normal (ou réel)  $m_n = 2$  mm,  $d_{roue} = 68,66$  mm,  $Z_{vis} = 2$  filets,  $d_{vis} = 13,07$  mm  
 $f = 0,085$  coefficient de frottement roue et vis sans fin.

On rappelle que le rendement d'un système roue-vis sans fin est :

$$\eta = \frac{\tan\beta_{roue}}{\tan(\beta_{roue} + \varphi)}$$

- 3.1. Ce système roue et vis sans fin est-il réversible, pourquoi ?
- 3.2. Déterminer le couple fourni par le moteur sur la vis du réducteur.
- 3.3. L'alimentation électrique du moteur, pilotée par le calculateur, diffère selon les situations de braquage. Dans les manœuvres de parking on considère qu'une rotation du volant de  $710^\circ$  est effectuée en 2 secondes. Déterminer la vitesse de rotation du moteur correspondante en rad/s et en tr/min.
- 3.4. Lors des manœuvres d'évitements la vitesse de rotation doit être du double. Déterminer la puissance mécanique fournie par le moteur dans ce cas.
- 3.5. Le constructeur du moteur indique que dans les conditions de fonctionnement de la question 3.4; le couple fourni est de 0,033 Nm/A avec une tension de 12V.
  - Calculer l'intensité maximale  $I_{max}$  consommée par le moteur pour choisir un fusible adapté.
  - En déduire la puissance électrique consommée  $P_{elec}$
  - Calculer le rendement du moteur  $\eta_{mot.élec.}$

Document réponse à rendre avec la copie

Compléter le graphe des liaisons entre les pièces du train avant  
Indiquer le nom de chacune des liaisons

