

DOSSIER D'ETUDE

Cette étude comprend 5 parties.

Ces parties sont indépendantes et peuvent être traitées dans n'importe quel ordre.

Il est conseillé de consacrer à chacune de ces parties la durée suivante :

Lecture du dossier et des documents techniques	0 h 30
1 ^{ère} partie : étude technologique de la boîte de vitesses (page 4/27).....	1 h 00
2 ^{ème} partie : étude cinématique de la boîte de vitesses (page 5/27).....	0 h 50
3 ^{ème} partie : étude dynamique de la boîte de vitesses (pages 5/27 à 7/27)....	1 h 10
4 ^{ème} partie : étude de la résistance de l'arbre (pages 7/27 et 8/27)	0 h 40
5 ^{ème} partie : conception (page 8/27).....	0 h 30

PRESENTATION DU MECANISME

De nos jours de nombreux véhicules sont équipés d'une boîte de vitesses automatique, celle-ci permettant un confort de conduite supérieur. Le conducteur, après avoir choisi son mode de conduite à l'aide du levier de sélection (choix du cycle), ne s'occupe plus du passage des vitesses ; cette opération s'effectue de façon automatique à l'aide d'actionneurs hydrauliques (vérins commandés par des électrovannes) agissant sur des embrayages et des freins dont la fonction est de modifier le rapport de vitesse entre le vilebrequin et le pignon de sortie 7 de la boîte de vitesses (voir le **DT1**). Un dispositif permet d'obtenir toute la puissance du moteur sur les positions 3M et 4M en éliminant le glissement inévitable de l'ordre de 3 à 5% du convertisseur (voir le **DT2** : états des actionneurs en fonction de la position de la commande).

Ce choix de rapport est défini par un calculateur qui prend en compte les informations suivantes :

- Vitesse de rotation du moteur
- Vitesse de déplacement du véhicule
- Position de la pédale d'accélérateur

Le **tableau 1 du DT1** indique les différents seuils de passage de vitesse.

La boîte de vitesses est constituée de quatre sous-ensembles (voir **DT2** schéma cinématique) :

- Un **convertisseur** composé d'un impulseur lié au vilebrequin donnant le mouvement à l'embrayage **E3** ; Une **turbine** donnant le mouvement aux embrayages **E1** et **E2** ; un **réacteur** (monté sur roue libre) interposé entre l'impulseur et la turbine permet d'augmenter le couple reçu par l'arbre d'entrée de la boîte (à bas régime moteur) par rapport au couple fourni par le moteur pour ce même régime ;
- **Des embrayages E1, E2, E3, des freins F1, F2** commandés par le calculateur et qui permettent les changements de vitesse ;
- Un **train épicycloïdal** composé de deux planétaires 1 et 2, de trois couples de satellites 3 et 4, d'un porte satellite 5 et d'une couronne de sortie 6 ;
- Un **réducteur** à deux étages (7,8) et (9,10).

La partie train épicycloïdal est commune à toutes les boîtes de la gamme alors que le réducteur est adapté au type de véhicule sur lequel est montée la boîte de vitesses. Le **tableau 2 du DT2** indique les différents choix opérés par le constructeur.

Le réducteur à deux étages est représenté sur le document technique **DT3** en coupe à plans sécants dont l'orientation est définie sur le document technique **DT4**. Le guidage en rotation de l'arbre 9 avec le carter de la boîte de vitesses n'a pas été représenté sur le plan, cette liaison faisant l'objet de la partie conception du sujet.

Le document technique **DT5** donne la nomenclature relative au plan représenté sur le **DT3**. Les éléments de la nomenclature non représentés sur le plan seront à dessiner par le candidat dans la partie conception.

Partie 1 : TECHNOLOGIE

Matière d'œuvre : DR1, DT1, DT2, DR1 et données ci-dessous

Domaine étudié : la boîte de vitesses

Objectif : compréhension du fonctionnement du mécanisme

Répondre à toutes les questions sur le DR1 (format A3)

- 1.1 A l'aide du texte de présentation et des documents techniques, réaliser l'actigramme de niveau A-0 de cette boîte de vitesses (la consigne sera la position du pied sur la pédale d'accélérateur).
- 1.2 Expliquer, en vous aidant du schéma cinématique **DT2** et du tableau des actionneurs comment il est possible d'éviter le glissement du convertisseur pour les troisième et quatrième vitesses.
- 1.3 A l'atelier on a relevé le diamètre de tête de la roue **8** ($d_a = 138,2\text{mm}$) ; le nombre de dents de ce pignon est $Z_8 = 87$ et l'angle d'inclinaison de l'hélice $\beta = 28^\circ$.

On rappelle les formules donnant l'expression du diamètre primitif et du diamètre de tête :

$$d_a = d + 2m_n \text{ et } d = Z m_t \text{ avec } m_t = m_n / \cos\beta.$$

Calculer le diamètre primitif, le module et le diamètre de pied de ce pignon en supposant que la denture est du type à développante de cercle sans déport de denture.

Le pignon 7 qui engrène avec 8 à un nombre de dents $Z_7 = 74$.
Déterminer l'entraxe de cet engrenage.

- 1.4 On donne le schéma cinématique minimal de la boîte correspondant à la deuxième vitesse, seuls les éléments transmettant le couple entre l'entrée et la sortie de la boîte ont été représentés.
Faire le schéma cinématique correspondant à la marche arrière et à la quatrième vitesse.
Calculer sur feuille de copie, pour ces deux vitesses, si nécessaire, le rapport $\omega_{\text{entrée}} / \omega_6$ et utiliser la formule de WILLIS pour le rapport de quatrième.

La formule de Willis peut s'écrire pour le train considéré : $\frac{\omega_{2/0} - \omega_{5/0}}{\omega_{6/0} - \omega_{5/0}} = \frac{-Z_6}{Z_2}$

Données : $Z_1 = 22$; $Z_2 = 27$; $Z_3 = 16$; $Z_4 = 15$; $Z_6 = 57$

- 1.5 Déterminer le rapport de réduction du réducteur à deux étages : $i_r = \omega_{10/0} / \omega_{6/0}$.
Données : $Z_9 = 21$; $Z_{10} = 73$.
- 1.6 Le guidage en rotation de l'ensemble $\{6+7+13+14\}$ est réalisé par deux roulements à rouleaux coniques.
Définir si le type de montage est en « X » ou en « O ».
Justifier le type de montage et indiquer comment est réglée la précontrainte des roulements.

Partie 2 : CINEMATIQUE DU SOLIDE

Matière d'œuvre : DR2, DT2

Domaine étudié : le train épicycloïdal

Objectif : déterminer le rapport de deuxième vitesse.

On veut déterminer le rapport de deuxième en utilisant la cinématique du solide (équiprojectivité et CIR)
Les tracés seront effectués sur le **DR2** ; les cercles représentés correspondent aux diamètres primitifs des pignons et roues, la vitesse du planétaire 1 par rapport au bâti 0 est fixée à 100 rd/s ($\omega_{1/0}=100$ rd/s).

Notation: $\vec{V}_A(1/0)$ représente le vecteur vitesse du point A appartenant à 1 dans son mouvement par rapport à 0.

2.1 Justifier les égalités : $\vec{V}_A(1/0)=\vec{V}_A(3/0)$, $\vec{V}_C(2/0)=\vec{V}_C(4/0)$, $\vec{V}_B(3/0)=\vec{V}_B(4/0)$, $\vec{V}_E(4/0)=\vec{V}_E(6/0)$.

2.2 Déterminer et tracer $\vec{V}_A(1/0)$ sur le document DR2

2.3 Déterminer le CIR du mouvement 4 par rapport à 0. Justifier.

2.4 Déterminer le support de $\vec{V}_B(4/0)$ et en déduire par équiprojectivité sur le solide 3 le vecteur $\vec{V}_B(3/0)$ sachant que $\vec{V}_B(3/0)=\vec{V}_B(4/0)$.

En déduire $\vec{V}_E(6/0)$ sachant que $\vec{V}_E(4/0)=\vec{V}_E(6/0)$.

2.5 Calculer $\omega_{6/0}$ et en déduire le rapport de deuxième $\omega_{6/0}/\omega_{1/0}$.

Partie 3 : COMPORTEMENT DYNAMIQUE DU VEHICULE

Matière d'œuvre : DT2, DR3, les données ci-dessous.

Domaine étudié : le véhicule.

Objectif : déterminer la vitesse maximale du véhicule sur route horizontale

Dans toute l'étude qui suit, la norme du vecteur vitesse d'un point de la carrosserie du véhicule par rapport au sol sera notée : V (exprimée en m/s)

Les caractéristiques techniques sont les suivantes:

Boîte de vitesses et réducteur :

Pignon 7 : 74 dents Pignon 8 : 87 dents Pignon 9 : 21 dents Pignon 10 : 73 dents
Rayon de la roue sous charge : $R=0,306$ m

Moteur : les courbes représentatives sont données sur le DR3

P maxi = 101 kW à 5750 tr/min
Cmot maxi = 19 daN.m à 4500 tr/min,

Masse du véhicule : $m = 1530$ kg Rendement de transmission : $\eta = 0,92$

Hypothèses de travail :

Vitesse du véhicule stabilisée en quatrième, accélération du véhicule : $\gamma = 0$

L'étude se fera dans le plan médian du véhicule noté Axy

Le glissement du pneumatique sur le sol est nul.

Le véhicule roule en ligne droite

Les actions mécaniques du sol sur les roues avant 36 et les roues arrière 35 sont modélisées par des glisseurs notés $\vec{B}_{sol/36}$ et $\vec{A}_{sol/35}$ définis respectivement aux points B et A. Ces points ne correspondent pas aux points théoriques de contact, ils sont décalés vers l'avant à cause du phénomène de résistance au roulement engendré par le pneumatique.

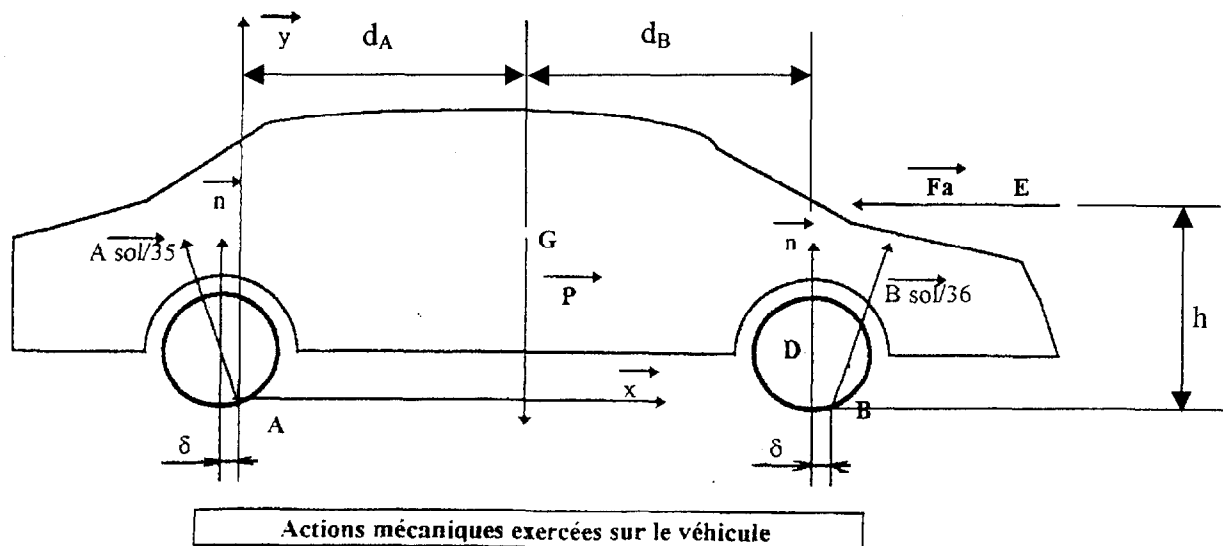
On donne dans le repère $(A, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$:

$$\vec{A}_{sol/35}(X_A, Y_A, 0) \text{ avec : } X_A = -Y_A \cdot \frac{\delta}{R}$$

$$\vec{B}_{sol/36}(X_B, Y_B, 0)$$

- La cote δ défini ce décalage, δ s'appelle le paramètre de résistance au roulement.
La valeur pour ce véhicule est $\delta = (2,9 + 1,6 \cdot 10^{-3} \cdot V^2) 10^{-3}$ valeur exprimée en **mètre**.
- L'action aérodynamique de l'air sur le véhicule est modélisée par un glisseur dont la résultante est notée \vec{F}_a ,
de norme $F_a = 0,409 \cdot V^2$ (valeur exprimée en N). Ce glisseur est défini au point E.
- Le poids du véhicule est noté \vec{P} de norme $P = 15000\text{N}$.

La figure ci-dessous défini les différents points A, B, D, E, G nécessaires à l'étude qui va suivre.
Les torseurs des actions du sol sur les roues sont des glisseurs donnés ci-dessous:



Isolons le véhicule.

3.1 Exprimer le torseur en G de l'action de pesanteur sur le véhicule : $\{T(\text{pes} \rightarrow \text{véhicule})\}$.

3.2 Exprimer le torseur en E de l'action aérodynamique : $\{T(\text{air} \rightarrow \text{véhicule})\}$.

3.3 Ecrire les équations issues du théorème de la résultante dynamique relatives au véhicule isolé.

Isolons les roues avant.

L'arbre de transmission exerce sur celles-ci un torseur couple dont le moment est noté C_t , la liaison pivot en D des « roues avant 36 » avec le véhicule est supposée parfaite.

3.4 Ecrire en projection sur l'axe (Dz) l'équation du moment dynamique en D relatif à cette roue isolée au cours de la phase de vitesse maximale atteinte.

3.5 Montrer, en combinant les équations obtenues au 3.3 et 3.4, que l'on peut mettre le moment du torseur couple sous la forme: $C_t = -(\delta.P + R.F_a)$.

3.6 Tracer point par point sur le document DR3 la courbe donnant le couple moteur nécessaire pour faire avancer le véhicule.

On note ce couple : $C_{\text{mot}} = C_t \cdot I_r \cdot I_4 / \eta$. (Rappel : $I_r = \frac{\omega_{10/0}}{\omega_{6/0}}$ et $I_4 = \frac{\omega_{6/0}}{\omega_{\text{entrée}}}$).

Le document DR3 peut être utilisé pour calculer le produit $I_r \cdot I_4$.

Déterminer les points correspondants à $V = 45$ m/s, $V = 50$ m/s, $V = 55$ m/s, et $V = 58$ m/s.

En déduire le point de fonctionnement donc la vitesse maximale du véhicule.

3.7 Le véhicule roulant à la vitesse $V = 46$ m/s, déterminer sur le document DR3 la réserve de couple entre le couple moteur disponible en quatrième à 46 m/s et le couple moteur nécessaire pour faire avancer le véhicule.

En déduire l'accélération que peut avoir le véhicule à cet instant.

Partie 4 : RESISTANCE DES MATERIAUX

Matière d'œuvre : DT6, DR4 et données ci-dessous,

Domaine étudié : l'arbre 9

Objectif : déterminer les contraintes de flexion et de torsion dans une section droite

Le moment du couple transmis par l'arbre 9 en première vitesse est évalué à **950 N.m** du fait du convertisseur de couple. L'action mécanique correspondante sur la denture de la roue 8 est représentée sur le document technique **DT6** ainsi que l'action mécanique exercée sur la denture du pignon 9.

Les calculs donnant les autres actions mécaniques exercées par les roulements ont été effectués sans tenir compte des "charges axiales induites".

Toutes les actions mécaniques sont modélisées par des glisseurs définis en A et D (milieu de la droite de contact des profils sur le diamètre primitif des éléments) et en B et C, centres de poussée des roulements.

Les coordonnées des différents points données dans le repère du document technique DT6 sont :

$$O\vec{A}(0;67,8;0) \quad O\vec{B}(22;0;0) \quad O\vec{C}(185;0;0) \quad O\vec{D}(215;-6;31)$$

On donne sur le DT6 les diagrammes des moments de flexion M_{f_y} et M_{f_z} sur les deux axes (Oy) et (Oz).

Unité d'abscisse : 1cm sur le dessin pour 2 cm réel.

Répondre sur le document réponses DR4.

4.1 Déterminer dans la section droite d'abscisse $x = 120$ mm au point G le moment de flexion résultant \vec{M}_f dans le plan (yOz).

- 4.2 Tracer sur le document DR4, dans la section d'abscisse $x=120\text{mm}$, le vecteur représentant ce moment de flexion. En déduire les points M et N de la section où la contrainte de flexion sera maximale. Calculer cette contrainte de flexion si le moment quadratique de la section est égal à 51440mm^4 .
- 4.3 Déterminer la contrainte de torsion maximale dans cette section si le moment quadratique polaire de la section est égal à 102880mm^4 .

Partie 5 : CONCEPTION

Matière d'œuvre : DR5, DT3, DT5, DT7, DT8

Domaine étudié : le réducteur

Objectif : réaliser le guidage en rotation de l'arbre 9

Sur le document réponses DR5, les roulements sont mis en position, la précontrainte est réalisée par l'entretoise calibrée 19.

Le document technique DT8 donne la forme du carter moulé 0 partiellement usiné ; ce carter recevra un chapeau 21 destiné à immobiliser la bague extérieure du roulement 24.

Le montage et le démontage sont réalisés par le couvercle 12

- 5.1 Réaliser l'arrêt en translation de la bague extérieure du roulement 24 à l'aide du chapeau 21 dont les formes sont à définir.
- 5.2 Réaliser l'étanchéité statique entre 21 et 0 à l'aide du joint 23.
- 5.3 Réaliser l'étanchéité dynamique entre l'arbre 9 et le chapeau 21 à l'aide du joint 22.
- 5.4 Positionner la bague extérieure du roulement 26 dans une boîte à roulement 28 montée en liaison encastrement (centrage court + appui plan) avec le carter 0.
Vous indiquerez les repères manquants et les ajustements nécessaires à la compréhension du montage.
Vous dessinerez en perspective à main levée sur feuille de copie l'outil de mise en place du chapeau 21 dans le cas où cela se justifierait.