Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV©

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour en savoir plus sur nos formations disponibles, veuillez visiter :
www.formav.co/explorer

# BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

## MOTEURS À COMBUSTION INTERNE

## Session 2015

# E 4 - ÉTUDE DES CONSTRUCTIONS

Durée : 6 heures – Coefficient : 4

### Documents et matériels autorisés :

- Guide du dessinateur (ou documents équivalents)
- Matériel du dessinateur (té, équerre, compas, ...)

### Moyens de calculs autorisés :

**Calculatrice électronique de poche, y compris calculatrice programmable et alphanumérique à fonctionnement autonome, non imprimante, conformément à la circulaire N° 99-186 du 16 novembre 1999.**

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il soit complet.
Le sujet comporte 21 pages numérotées de la façon suivante :

- Page de garde : 1 page
- Dossier technique : de 1 à 11
- Dossier d'étude : de 12 à 17
- Dossier des documents réponse : de 18 à 21

*Les candidats rédigeront les réponses aux questions posées sur feuilles de copie ou, lorsque cela est indiqué sur le sujet, sur les documents réponse prévus à cet effet.*

*Tous les documents réponse sont à remettre en un seul exemplaire en fin d'épreuve.*

Base Nationale des Sujets d'Examen de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

| CODE ÉPREUVE : 1506MOEDC | | EXAMEN BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR | SPÉCIALITÉ : MOTEURS À COMBUSTION INTERNE |
|---|---|---|---|
| SESSION : 2015 | SUJET | *ÉPREUVE* : E4 - ÉTUDE DES CONSTRUCTIONS | |
| Durée : 6h | Coefficient : 4 | SUJET N°02ED14 | 21 pages |

# DOSSIER TECHNIQUE

Ce dossier contient 10 documents numérotés de DT1 à DT10


DT1 : Présentation du système Hybride page 2/21
DT2 : Plan d'ensemble de la transmission de puissance page 3/21
DT3 : Schéma cinématique de la transmission 1ère génération page 4/21
DT4 : Principe de fonctionnement du système Hybride page 5/21
DT5 : Fonctions de service page 6/21
DT6 : Caractéristiques du véhicule Hybride page 7/21
DT7 : Caractéristiques de la chaîne silencieuse page 8/21
DT8 : Schéma cinématique de la transmission 3ème génération page 9/21
DT9 : Équilibre statique de l'arbre 8+9 et Guidage en rotation page 10/21
DT10 : Liaison moyeu cannelé page 11/21


Base Nationale des Sujets d'Examen de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

# *TECHNOLOGIE HSD DU VÉHICULE HYBRIDE*

## I - Présentation du système et de ses modes de fonctionnement

### 1.1 - Introduction



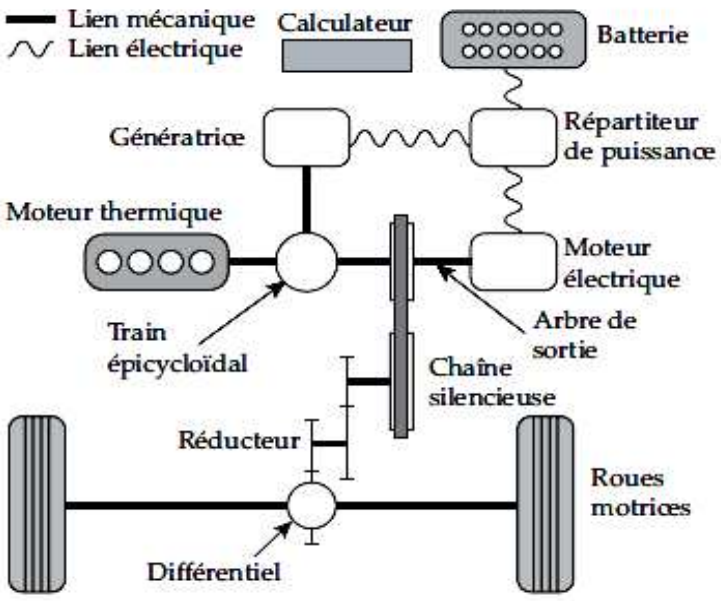

*Dans le contexte actuel d'économie des énergies fossiles et de réduction des émissions de gaz nocifs, le système de propulsion hybride constitue une alternative intéressante à la propulsion classique par moteur thermique seul car il permet de réduire la consommation.*
*La spécificité de la solution retenue sur la Prius consiste à :*

- *récupérer l'énergie du véhicule lors du freinage ;*
- *exploiter le moteur thermique à son rendement optimal.*

### 1. 2 - Architecture du système hybride HSD 1ère génération

*Comme le montre la figure ci-dessous, la technologie hybride de Toyota, nommée HSD (Hybrid Synergy Drive), associe un moteur thermique à essence et sa transmission à deux machines électriques et une batterie de puissance.*
*Le schéma de principe ci-dessous met en évidence les deux machines électriques (le moteur électrique et la génératrice) reliées au moteur thermique par un train épicycloïdal*.

**Figure 1**

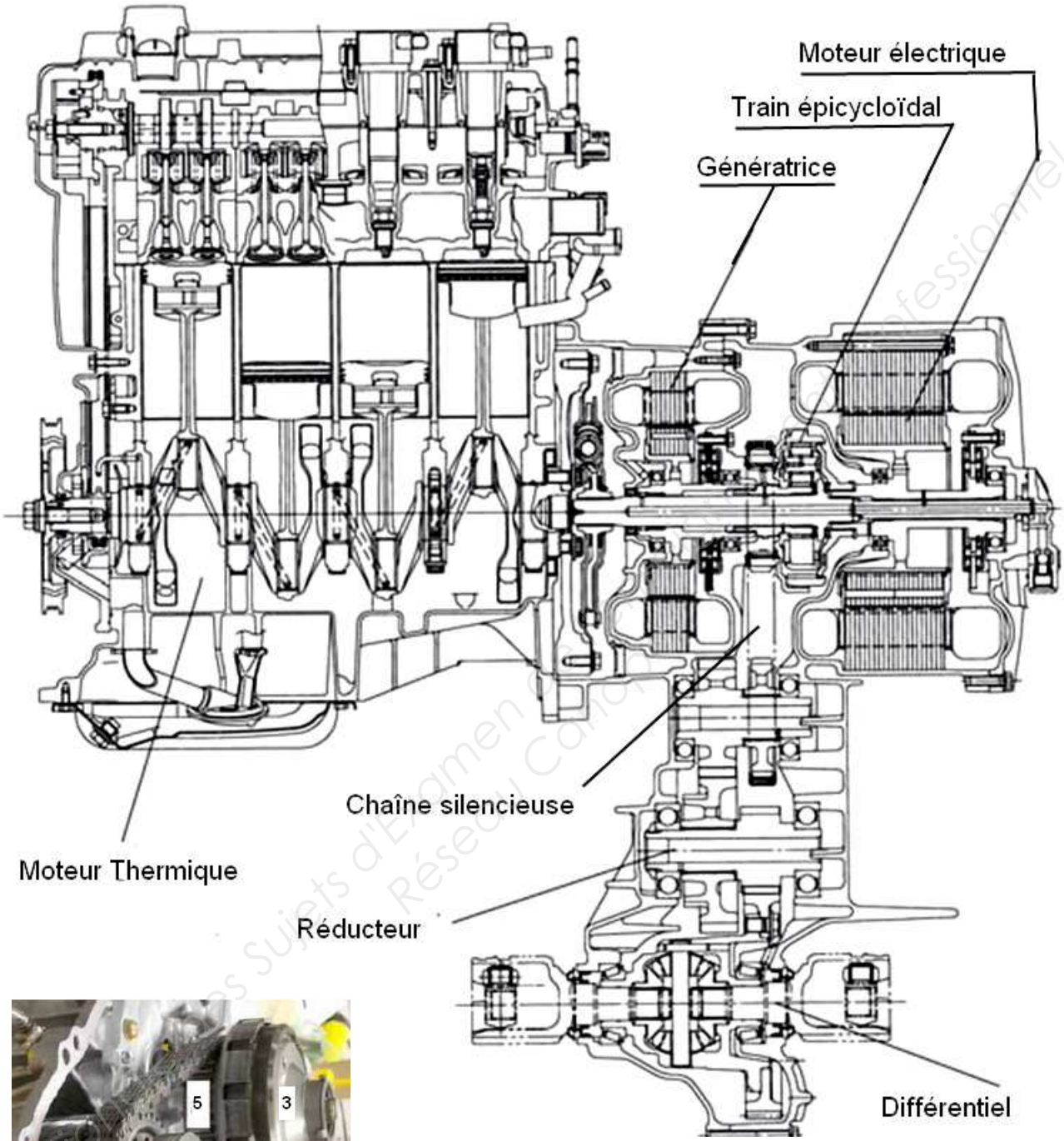



**DT1**

Base Nationale des Sujets d'Examen de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

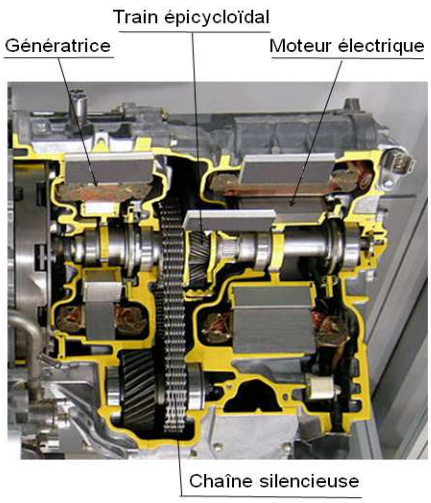
## Ensemble de la transmission de puissance 1ère génération

**Figure 2**







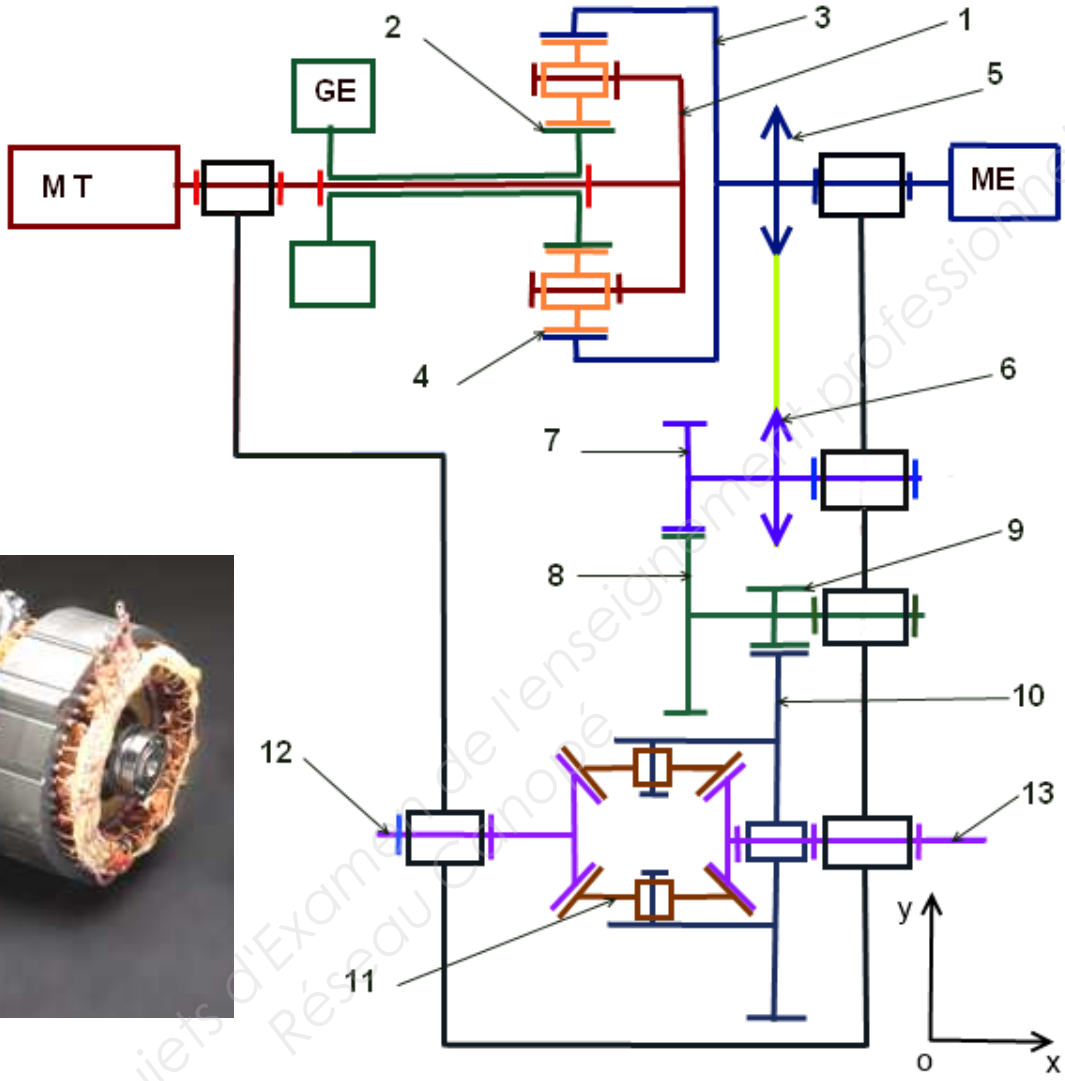



**DT2**

## Schéma cinématique de la transmission de puissance 1ère génération

**Figure 3**






Base Nationale des Sujets d'Examen de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

## Caractéristiques de la transmission :

**Train épicycloïdal :** Pignon **2** lié à la génératrice **GE** $Z_2$ = 20 dents ;
4 satellites rep **4** $Z_4$= 16 dents ;
Couronne **3** liée au Moteur électrique **ME** $Z_3$= 52 dents ;
Porte satellite **1** lié au moteur Thermique **MT**.

**Transmission :**

| | | |
|---|---|---|
| **5** | : pignon moteur pour chaine | $Z_5$ = 36 dents pas 1/2" ; |
| **6** | : pignon récepteur pour chaine | $Z_6$ =35 ; |
| **7** | : roue dentée | $Z_7$ =30 ; mn=2.5 β=20° ; |
| **8** | : roue dentée | $Z_8$ =44 ; |
| **9** | : pignon arbré | $Z_9$ =26 ; mn= 3 ; β= 18° ; |
| **10** | : couronne différentiel | $Z_{10}$= 75 ; |
| **11** | : satellite différentiel ; | |
| **12** | : arbre de sortie roue gauche ; | |
| **13** | : arbre de sortie roue droite. | |

**DT3**

## 1. 3 - Principe de fonctionnement

*À partir de la position de la pédale d'accélérateur et de la vitesse du véhicule, le calculateur détermine la vitesse de rotation optimale du moteur thermique et la consigne d'ouverture du papillon des gaz. La puissance en sortie du moteur thermique est transmise, grâce à un train épicycloïdal, à la chaîne silencieuse et à la génératrice.*

*Un asservissement en vitesse de la génératrice permet de contrôler la vitesse de rotation du moteur thermique. Le répartiteur de puissance gère les échanges de puissance électrique entre la génératrice, le moteur électrique et la batterie.*

*Le moteur électrique entraîne la chaîne silencieuse, seul ou en complément du moteur thermique. Il récupère également l'énergie cinétique ou potentielle du véhicule lors des phases de ralentissement. Les chaînes d'énergie et d'information permettent de percevoir l'organisation des différents composants du HSD.*

## 1.4 - Présentation des modes de fonctionnement

*La gestion optimale des modes de fonctionnement du système hybride permet d'optimiser la consommation d'énergie chimique. La vitesse du moteur thermique est asservie (par le biais d'un asservissement de la vitesse de la génératrice) à des valeurs optimales définies par le calculateur.*
*Le moteur est ainsi exploité à son rendement maximal.*

**Tableau 1**

| Mode | Commentaires |
|---|---|
| **Mode 1** : tout électrique | Le moteur électrique entraîne le véhicule en puisant l'énergie électrique dans la batterie.<br>Le moteur thermique est généralement arrêté. |
| **Mode 2** : hybride | Le moteur thermique entraîne le véhicule. La puissance du moteur thermique en fonctionnement se répartit dans le train épicycloïdal entre<br>• la puissance directement transmise aux roues ;<br>• la puissance transmise à la génératrice qui recharge la batterie. |
| **Mode3** : récupération d'énergie | Le moteur électrique, entraîné par le véhicule, récupère une partie de l'énergie cinétique et la convertit en énergie électrique qui recharge la batterie. |
| **Mode 4** : mode mixte | Le moteur électrique et le moteur thermique entraînent le véhicule, lors de fortes accélérations. Dans ce mode, le moteur électrique est alimenté non seulement par l'énergie délivrée par la génératrice mais aussi par la batterie. |

**DT4**

Base Nationale des sujets d'examen de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

## 1.5 - Caractérisation des fonctions de service en phase d'utilisation

*Le Cahier des Charges, **tableau 2**, caractérise les fonctions de service du système HSD*

.

**Figure 4**

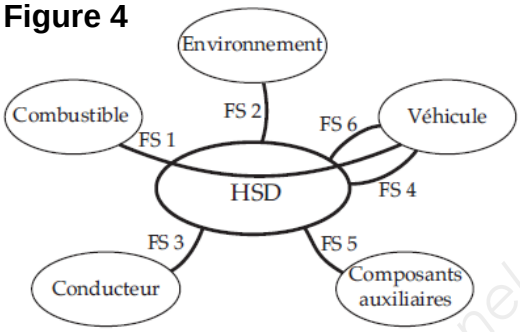



**Tableau 2**

| Fonctions de service | Critères | Niveaux |
|---|---|---|
| **FS1** : permettre au combustible d'entraîner le véhicule | Réduction de la consommation par rapport aux véhicules traditionnels comparables | 40% |
| | Consommation en cycle mixte | 4,3 litre aux 100 km |
| | Vitesse maximale | 170 km/h |
| | Temps d'accélération de 0 à 100 km/h | 10,9 s |
| | Temps d'accélération de 50 à 80 km/h | 4,4 s |
| | Puissance maximale du système hybride | 110 kW à 85 km/h |
| **FS2** : respecter l'environnement | Réduction des émissions nocives de $CO_2$ | 40% en dessous des normes européennes |
| **FS3** : être commandé par le conducteur | Positions du sélecteur<br>Enfoncement des pédales | PM / MA / Mar<br>Accélérateur / frein |
| **FS4** : s'adapter à la vitesse du véhicule | Vitesse de passage du mode tout électrique au mode hybride (démarrage du moteur thermique) | 50 km/h |
| **FS5** : alimenter en énergie les composants auxiliaires | Puissance maximale absorbée par les « consommateurs » d'énergie (climatisation, direction assistée, confort,…) | 4 kW maxi |
| **FS6** : récupérer l'énergie cinétique du véhicule au freinage | Pourcentage de l'énergie cinétique récupérable | 70% |

## 1.6 - Courbes de fonctionnement

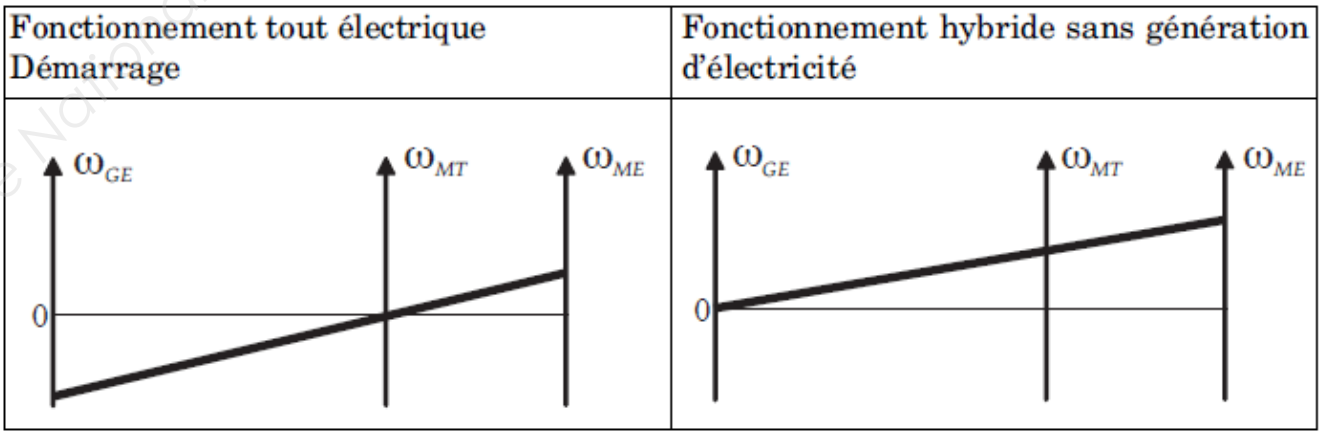



**Figure 5**

**DT5**

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

## 2. Caractéristiques du véhicule Hybride

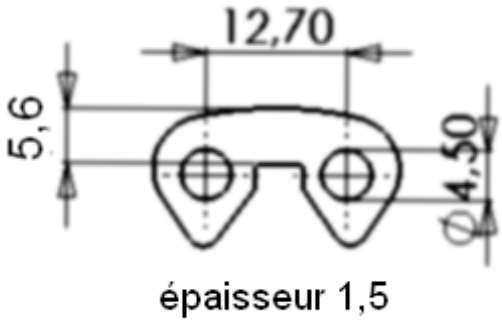
**Tableau 3**

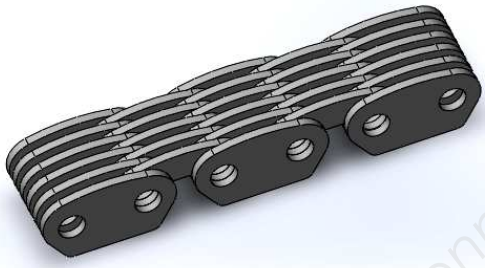
| **Composants** | **Caractéristiques** |
|---|---|
| Réducteur + différentiel | Rapport de transmission : $K = \omega_R/\omega_S = \omega_{10}/\omega_5$<br>Où $\omega_S$ est la vitesse de rotation de l'arbre de sortie du train épicycloïdal par rapport au châssis.<br>On considère $\omega_S > 0$.<br>Rendement réducteur + différentiel : $\eta_R = 0,9$ |
| Train épicycloïdal de répartition de puissance | Voir schéma cinématique (figure3) liant $\omega_{1/0}$, $\omega_{2/0}$ et $\omega_{3/0}$<br>Rendement Train épicycloïdal : $\eta_T = 1$ |
| Moteur Électrique (*ME*) | Le moteur électrique de 104 kg est un moteur synchrone (triphasé) à aimant permanent. Il est alimenté sous 500 V triphasé alternatif à fréquence variable. On admet un rendement de 95 % et un facteur de puissance ($\cos\varphi$) de 0,8 à pleine puissance.<br>Vitesse de rotation notée $\omega_{ME}$, telle que :<br>- $\omega_{ME} <$ 6200 tr/min ;<br>- Puissance maxi de 50 kW pour $\omega_{ME} >$ 1200 tr/min ;<br>- Couple maxi de 400 Nm constant de 0 à 1200 tr/min. |
| Moteur Thermique essence *(MT*) | Le moteur thermique est un 4 cylindres de 1497 $cm^3$ (1,5 l). Il fonctionne au sans plomb 95 ou 98. Le rendement au régime optimal est de $\eta_{MT}$=35% (incluant le rendement thermodynamique).<br>Vitesse de rotation notée $\omega_{MT}$, telle que :<br>- 0 tr /min $< \omega_{MT} <$ 5000 tr/min ;<br>- Puissance maxi de 57 kW à 5000 tr/min ;<br>- Couple maxi de 115 Nm à 4200 tr/min. |
| Génératrice Électrique (GE) | Vitesse de rotation notée $\omega_{GE}$, telle que :<br>- $\omega_{GE} <$ 10000 tr/min ;<br>On admet un rendement de 95 %. |
| Batterie | La batterie du système hybride est une association série de 38 petites batteries à Nickel-Métal Hydrures (NiMH) de 7,2 V de tension chacune. Sa capacité est de 6,8 Ah, sa masse de 39 kg. L'énergie maximale contenue est de $E_{Bat}$ = 6,7 MJ = 1,86 kWh.<br>À la charge comme à la décharge, la batterie présente une résistance interne impliquant un rendement de $\eta_{Bat}$= 0,95.<br>La batterie est initialement à sa charge maximale. |
| Véhicule | Vitesse maxi = 170 Km/h<br>Démarrage : 0 à 100 Km/h en 10,9 secondes<br>Masse totale M=1360 kg<br>Roue diamètre 600 mm<br>Coefficient de résistance au roulement k = 0,03<br>Coefficient aérodynamique S Cx = 0,55 |

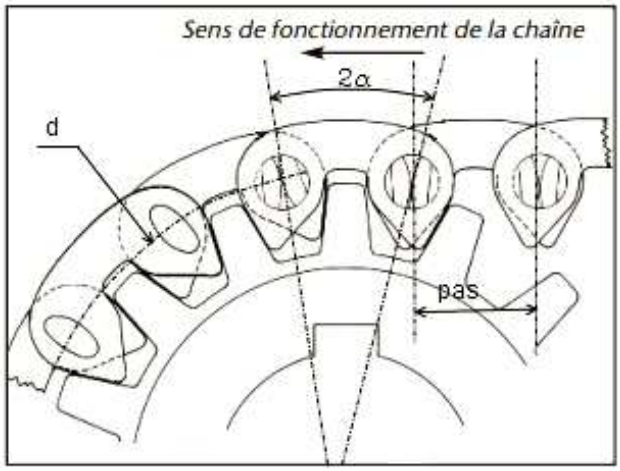
**DT6**

Base Nationale des Sujets d'Examen de l'enseignement professionnel Réseau Canopé

## 3. Caractéristiques de la chaîne silencieuse



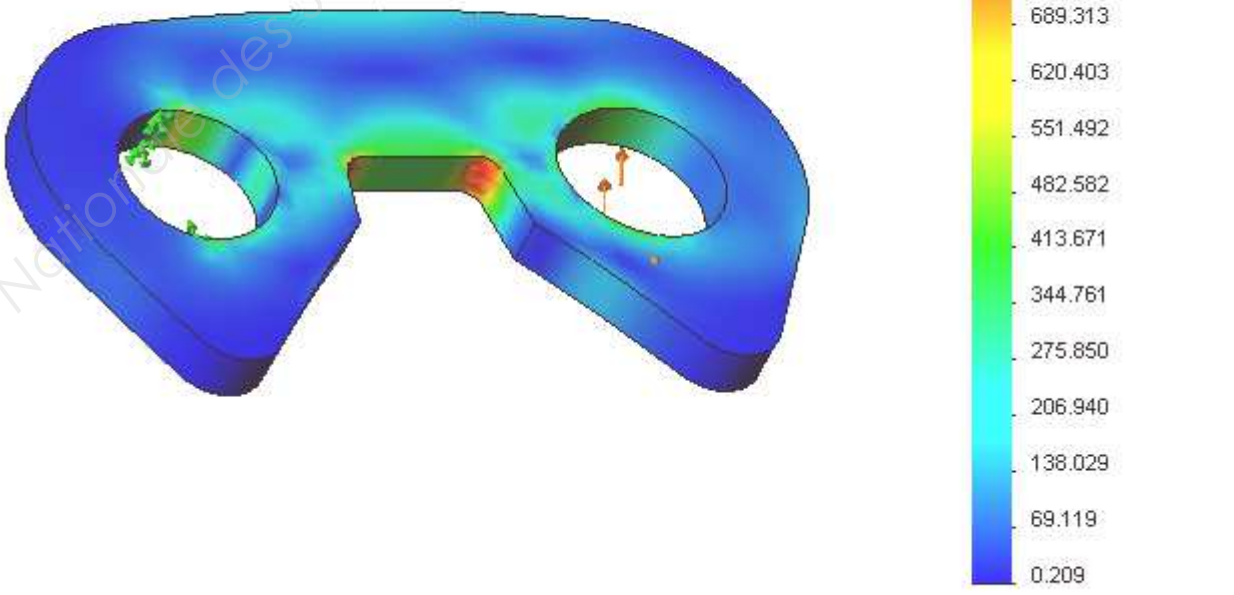






| **Caractéristiques du pignon** |
|---|
| Pas de la chaine : p |
| Nombre de dents : Z |
| Angle au centre : $2\alpha = 360°/Z$ |
| Diamètre primitif : $d = p/\sin \alpha$ |
| Rapport des fréquences de rotation $N_A/N_B = Z_B/Z_A$ |

## Simulation par élément finis : critères de von Mises

**Figure 6**

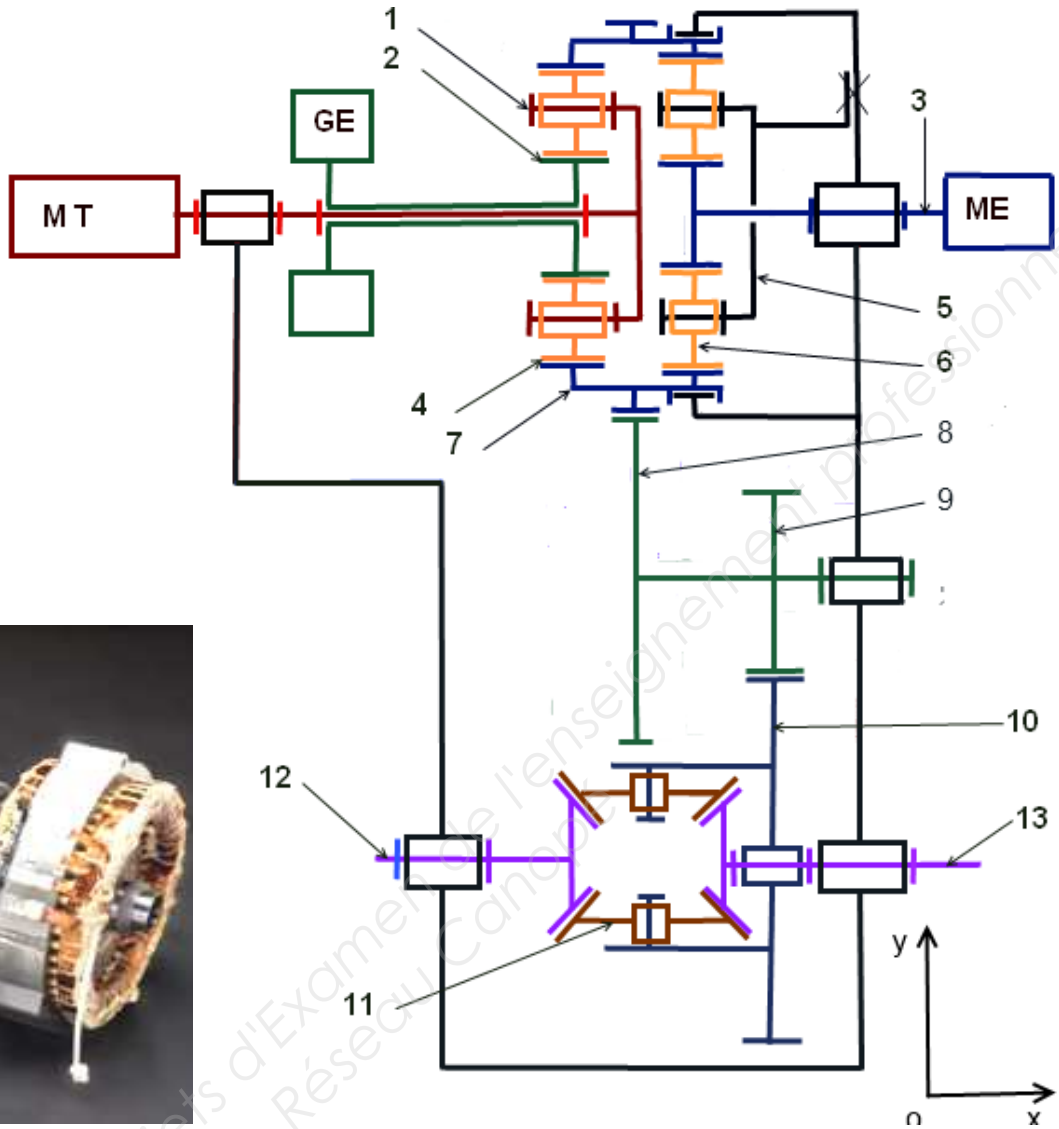



Base Nationale des Sujets d'Examen de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

**DT7**

## Schéma cinématique de la transmission de puissance 3ème génération






Base Nationale des Sujets d'Examen de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

## Caractéristiques de la transmission :

**Train épicycloïdal 1 :** Pignon **2** lié à la génératrice **GE** : $Z_2$ = 30 dents
5 satellites rep **4** : $Z_4$ = 24 dents
Couronne **7** : $Z_{7a}$= 78 dents
Porte satellite **1** lié au moteur Thermique **MT**.

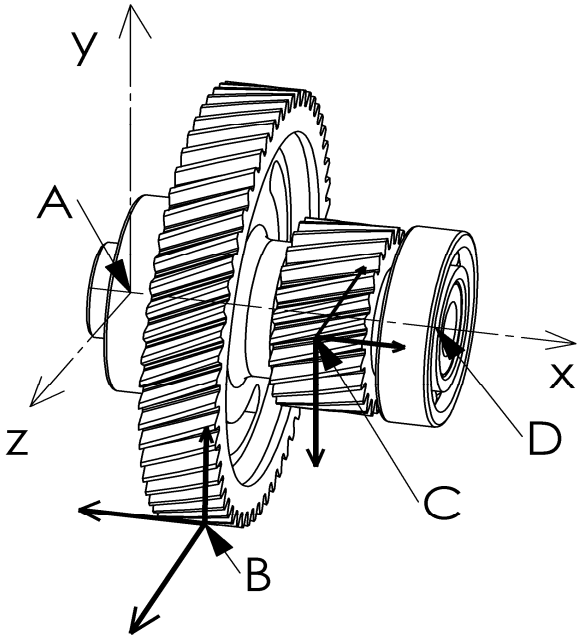
**Train épicycloïdal 2 :** Pignon **3** lié au Moteur électrique **ME** $Z_3$ = 22 dents
5 satellites rep **6** : $Z_6$ = 18 dents
Couronne **7** : $Z_{7b}$= 58 dents
Porte satellite **5** fixe.

**Transmission :** Couronne **7** : denture extérieure $Z_{7c}$= 54 dents
**8** : roue dentée : $Z_8$ = 55 dents
**9** : pignon arbré : $Z_9$ = 24 dents
**10** : couronne différentiel : $Z_{10}$= 77 dents
**11** : satellite différentiel ;
**12** : arbre de sortie roue gauche ;
**13** : arbre de sortie roue droite.

**DT8**

## Équilibre arbre 8+9

**(Résultats obtenus avec un logiciel de calcul mécanique)**




Coordonnées des points :

Origine : A (0 ; 0 ; 0)
B (26 ; -77.8 ; 0)
C (60 ; 0 ; 32)
D (89 ; 0 ; 0)

Le système matériel proposé est sollicité par 4 actions mécaniques

$\{A_{\text{Roulement 1}\rightarrow 8+9}\}$ $\{B_{7\rightarrow 8+9}\}$ $\{C_{10\rightarrow 8+9}\}$ $\{D_{\text{Roulement 2}\rightarrow 8+9}\}$

Résultats des actions sous forme de torseurs

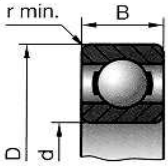
$$A\begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 191.74 & 0 \\ -3864.2 & 0 \end{Bmatrix}_{\vec{x},\vec{y},\vec{z}} \quad B\begin{Bmatrix} -2796.79 & 0 \\ 2168.29 & 0 \\ 5260 & 0 \end{Bmatrix}_{\vec{x},\vec{y},\vec{z}} \quad C\begin{Bmatrix} 4921.62 & 0 \\ -12821.25 & 0 \\ -4998.56 & 0 \end{Bmatrix}_{\vec{x},\vec{y},\vec{z}} \quad D\begin{Bmatrix} -2124.83 & 0 \\ 10461.23 & 0 \\ 3602.75 & 0 \end{Bmatrix}_{\vec{x},\vec{y},\vec{z}}$$

## *GUIDAGE EN ROTATION PAR ROULEMENT*

Caractéristiques des Roulements

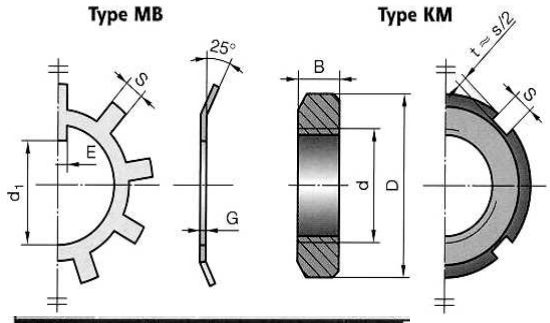
**Roulements ouverts**
**Roulements à flasques**
**Roulements à joints**

$C_0$ : charge statique de base
C : charge dynamique de base




| d | D | B | r | $C_0$ N | C N | n max.* tr/min |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 17 | 47 | 14 | 1 | 6 550 | 13 500 | 19 000 |
| 20 | 42 | 12 | 0,6 | 5 000 | 9 360 | 20 000 |
| 20 | 47 | 14 | 1 | 6 550 | 12 700 | 18 000 |
| 20 | 52 | 15 | 1,1 | 7 800 | 15 900 | 16 000 |
| 25 | 47 | 12 | 0,6 | 6 550 | 11 200 | 18 000 |
| 25 | 52 | 15 | 1 | 7 800 | 14 000 | 15 000 |
| 25 | 62 | 17 | 1,1 | 11 600 | 22 500 | 14 000 |
| 30 | 55 | 13 | 1 | 8 300 | 13 300 | 15 000 |
| 30 | 62 | 16 | 1 | 11 200 | 19 500 | 13 000 |
| 30 | 72 | 19 | 1,1 | 16 000 | 28 100 | 11 000 |
| 35 | 62 | 14 | 1 | 10 200 | 15 900 | 13 000 |
| 35 | 72 | 17 | 1,1 | 15 300 | 25 500 | 11 000 |
| 35 | 80 | 21 | 1,5 | 19 000 | 33 200 | 10 000 |

Écrou à encoches




**Rondelles frein – Écrous à encoches**

| N° | d × pas | D | B | S | $d_1$ | E | G |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | M10 × 0,75 | 18 | 4 | 3 | 8,5 | 3 | 1 |
| 1 | 12 × 1 | 22 | 4 | 3 | 10,5 | 3 | 1 |
| 2 | 15 × 1 | 25 | 5 | 4 | 13,5 | 4 | 1 |
| 3 | 17 × 1 | 28 | 5 | 4 | 15,5 | 4 | 1 |
| 4 | 20 × 1 | 32 | 6 | 4 | 18,5 | 4 | 1 |
| 5 | 25 × 1,5 | 38 | 7 | 5 | 23 | 5 | 1,25 |
| 6 | 30 × 1,5 | 45 | 7 | 5 | 27,5 | 5 | 1,25 |
| 7 | 35 × 1,5 | 52 | 8 | 5 | 32,5 | 6 | 1,25 |
| 8 | 40 × 1,5 | 58 | 9 | 6 | 37,5 | 6 | 1,25 |
| 9 | 45 × 1,5 | 65 | 10 | 6 | 42,5 | 6 | 1,25 |
| 10 | 50 × 1,5 | 70 | 11 | 6 | 47,5 | 6 | 1,25 |

**DT9**

Base Nationale des Sujets d'Examen de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

# ***LIAISON COMPLÈTE : MOYEU CANNELÉ***

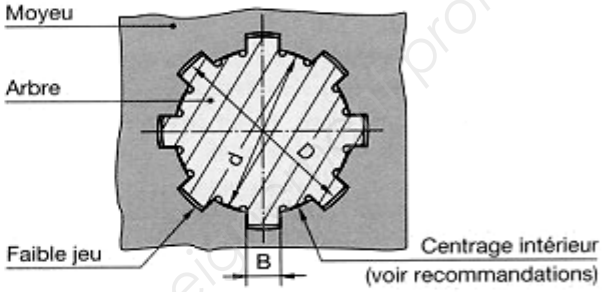
Pour le calcul de la transmission de couple par assemblage cannelé, on suppose une répartition de pression uniforme sur les flancs de cannelures.
On définit **A** : **surface portante équivalente** par unité de longueur (75% de la surface portante théorique)
A = n.h.0.75 (avec n : nombre de cannelures ; h = (D-d)/2 hauteur d'une cannelure)
On définit **p** : la **pression de contact**.
Le couple transmissible **C** est donné par : **C = p.A.L.D/2**
Pour éviter le matage des cannelures, on veut que **p = (2.C)/(A.L.D) < Padmissible**.

## Cannelures

Pour transmettre des couples importants, on peut mettre **deux clavettes opposées**.

Si cette solution est insuffisante, on utilise des cannelures, véritables clavettes taillées dans l'arbre.

**Cannelures à flancs parallèles** NF E 22-131




## Cannelures à flancs parallèles

**EMPLOIS**
Du fait des difficultés d'usinage pour obtenir un centrage précis, ces cannelures ne conviennent pas pour les grandes vitesses de rotation. Préférer, dans ce cas, les cannelures à flancs en développante § 56.22.

**RECOMMANDATIONS**

**SÉRIES LÉGÈRE ET MOYENNE**
Centrage pour le diamètre **d** seulement (voir figure).

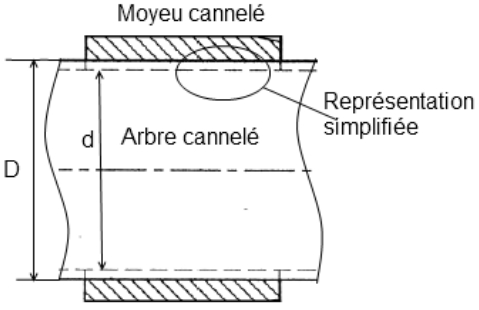
**SÉRIE FORTE**
Centrage sur le diamètre **D** seulement.

| Série légère | | | | | Série moyenne | | | | | Série forte* | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| n | d | D | B | s | n | d | D | B | s | n | d | D | B | s |
| 6 | 23 | 26 | 6 | 5 | 6 | 11 | 14 | 3 | 5 | 10 | 16 | 20 | 2,5 | 12 |
| | 26 | 30 | 6 | 7,2 | | 13 | 16 | 3,5 | 5 | | 18 | 23 | 3 | 16 |
| | 28 | 32 | 7 | 7,2 | | 16 | 20 | 4 | 7,2 | | 21 | 26 | 3 | 16 |
| 8 | 32 | 36 | 6 | 8,4 | | 18 | 22 | 55 | 7,2 | | 23 | 29 | 4 | 19 |
| | 36 | 40 | 7 | 8,4 | | 21 | 25 | 5 | 7,2 | | 26 | 32 | 4 | 19 |
| | 42 | 46 | 8 | 8,4 | | 23 | 28 | 6 | 9,5 | | 28 | 35 | 4 | 22 |
| | 46 | 50 | 9 | 8,4 | | 26 | 32 | 6 | 10,8 | | 32 | 40 | 5 | 25 |
| | 52 | 58 | 10 | 12 | | 28 | 34 | 7 | 10,8 | | 36 | 45 | 5 | 29 |
| | 56 | 62 | 10 | 12 | 8 | 32 | 38 | 6 | 14,4 | | 42 | 52 | 6 | 30 |
| | 62 | 68 | 12 | 12 | | 36 | 42 | 7 | 14,4 | | 46 | 56 | 7 | 30 |
| 10 | 72 | 78 | 12 | 15 | | 42 | 48 | 8 | 14,4 | 16 | 52 | 60 | 5 | 36 |
| | 82 | 88 | 12 | 15 | | 46 | 54 | 9 | 18 | | 56 | 65 | 5 | 42 |
| | 92 | 98 | 14 | 15 | | 52 | 60 | 10 | 18 | | 62 | 72 | 6 | 48 |
| | 102 | 108 | 16 | 15 | | 56 | 65 | 10 | 21 | | 72 | 82 | 7 | 48 |
| | 112 | 120 | 18 | 22,5 | | 62 | 72 | 12 | 24 | 20 | 82 | 92 | 6 | 60 |
| | | | | | 10 | 72 | 82 | 12 | 30 | | 92 | 102 | 7 | 60 |
| | | | | | | 82 | 92 | 12 | 30 | | 102 | 115 | 8 | 82 |
| | | | | | | 92 | 102 | 14 | 30 | | 112 | 125 | 9 | 82 |
| | | | | | | 102 | 112 | 16 | 30 | | | | | |
| | | | | | | 112 | 125 | 18 | 41 | | | | | |

n = nombre de cannelures.
s = surface réelle d'appui des cannelures par millimètre de longueur.

* Emploi à éviter.
Voir également page suivante.

***Dessin cannelures***




**DT10**

# DOSSIER D'ÉTUDE

Ce dossier contient 6 parties

| | |
|---|---|
| Durée de lecture conseillée | Durée : 0h30 |
| **Partie 1** :<br>Étude de la transmission 1ère génération | Durée : 0h45 |
| **Partie 2** :<br>Valorisation du système hybride | Durée : 1h30 |
| **Partie 3** :<br>Étude de la transmission par chaîne silencieuse | Durée : 0h45 |
| **Partie 4** :<br>Évolution de la transmission hybride 1ère et 3ème génération | Durée : 1h00 |
| **Partie 5** :<br>Transmission hybride 3ème génération | Durée : 1h30 |

Base Nationale des Sujets d'Examen de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

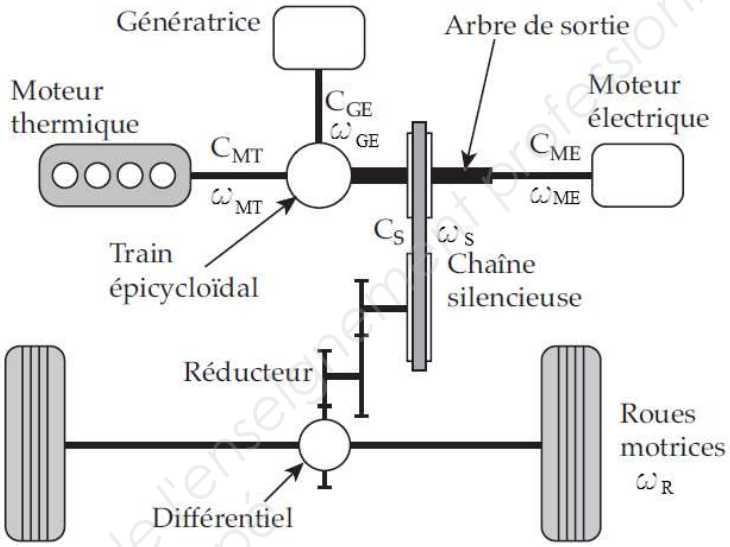
## PARTIE 1 : Étude de la transmission

*Dans cette partie on étudiera la transmission de 1ère génération*

*Matière d'œuvre :* Documents DT1 ; DT2 ; DT3 ; DT4 ; DT5 ; DT6.
*Domaine étudié :* Train épicycloïdal.
*Objectif* : Déterminer les relations entre la vitesse du véhicule et la fréquence de rotation des moteurs.

*Remarques :*

$\omega_{MT} = \omega_{1/0}$
$\omega_{GE} = \omega_{2/0}$
$\omega_{ME} = \omega_{3/0} = \omega_S = \omega_{5/0}$
$\omega_R = \omega_{10/0} = \omega_{12/0} = \omega_{13/0}$




1.1 Calculer le rapport de transmission du réducteur entre l'arbre de sortie du moteur électrique ME et les roues R : $K = \omega_R / \omega_{ME} = \omega_{10/0} / \omega_{5/0}$.

1.2 Établir la relation entre la vitesse du véhicule V et la fréquence de rotation de la roue $N_R$.

1.3 Exprimer V en fonction de Ns= $N_{ME}$ et montrer que $N_S = 36{,}38\ V$.
($N_S$ en tr/min et V en km/h)

*On rappelle la formule de Willis* : $\dfrac{\omega_{\text{Planétaire d'entrée/bâti}} - \omega_{\text{Porte-satellite/bâti}}}{\omega_{\text{Planétaire de sortie/bâti}} - \omega_{\text{Porte-satellite/bâti}}} = \lambda$.

1.4 Exprimer et calculer la raison λ du train en fonction des nombres de dents.
Montrer que : $\omega_{2/0} - 3{,}6\ \omega_{1/0} + 2{,}6\ \omega_{3/0} = 0$ et que $N_{GE} - 3{,}6\ N_{MT} + 2{,}6\ N_{ME} = 0$

1.5 Vérifier et interpréter à l'aide de la relation précédente les courbes **figure 5 DT5**.
(Pour $N_{MT}$ =o alors $N_{GE}$ = ? puis pour $N_{GE}$=0)

*Au moment du passage du mode électrique au mode thermique la vitesse du véhicule est de 50 km/h sans génération d'énergie $N_{GE}$=0.*

1.6 Calculer la fréquence de rotation du moteur électrique $N_{ME}$.
Calculer la fréquence de rotation du moteur thermique $N_{MT}$.

Base Nationale des Sujets d'Examen de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

## PARTIE 2 : Valorisation du Système hybride

*Matière d'œuvre :* Documents DT4 ; DT5 ; DT6 ; DR1.
*Domaine étudié* : Chaîne énergétique.
*Objectif :* Mettre en évidence les avantages du système hybride.

*2.1* À partir des courbes **figure 7** du **DR1** et des modes figurant dans le **tableau 1** du **DT4** de l'analyse fonctionnelle compléter le tableau du **DR1**.

*Les efforts de pénétration dans l'air et de résistance au roulement sur un sol horizontal sont exprimés par la formule :* $F_{rés} = ½\ \rho_{air}\ S\ Cx\ V^2 + k\ m\ g$
*avec* $\rho_{air} = 1,2\ kg.m^{-3}$ *et* $g = 9,81\ m.s^{-2}$. *voir tableau* ***DT6***

*2.2* Écrire l'équation de la Puissance résistante $P_{res}$ à la jante générée par ces efforts (sol horizontal, à vitesse constante). Calculer cette puissance $P_{res}$ pour les vitesses suivantes : 50 km/h, 90 km/h.

*2.3* Quelle est la puissance nécessaire à l'arbre de sortie : $P_S$ à 50 km/h et 90 km/h (rappel le rendement du train épicycloïdal est de 1 ; réducteur+ chaîne $\eta = 0,9$) ?

*La voiture roule à la vitesse de 50 km/h en mode tout électrique avec (quel que soit le résultat de la question 2.3) une puissance de 7,2 kW.*
*Remarque : Energie (kWh) = Puissance(kW) $_x$ temps(h)*

*2.4* Quelle est la puissance électrique nécessaire au moteur électrique $P_{ME}$ (rappel le rendement du moteur électrique est de 0.95) ?
Quelle sera l'autonomie de la voiture en temps puis en kilomètre (la batterie à pleine charge voir **DT6**) ?

*La voiture roule à la vitesse de 50 km/h en mode Thermique avec une puissance de 7,2kW.*
*Remarque : consommation (g)= cs (g/kWh) $_x$ Puissance (kW) $_x$ temps(h)*
*et la densité de l'essence : 0,72.*

*2.5* Relever sur la courbe de consommation spécifique **figure 8** du **DR1** la consommation spécifique cs à la fréquence de rotation de 1314 tr/min pour cette puissance de 7,2 kW. Faire apparaître les traces de relevé.

*2.6* Calculer la consommation de la voiture à 50 km/h en grammes puis en litres aux 100 km.

*La voiture roule à la vitesse de 50 km/h en mode Mixte : le moteur thermique développe une puissance de 22,6 kW à 2400 tr/min pendant 3 minutes. Une partie de cette puissance est utilisée pour déplacer le véhicule (7,2 kW), l'autre pour recharger la batterie, puis le moteur électrique prend le relais pour consommer l'énergie ainsi stockée.*

*2.7* Tracer sur la courbe de consommation spécifique **figure 8** du **DR1** ce point de fonctionnement et relever la consommation spécifique cs et le couple moteur.

*2.8* Calculer la quantité d'essence consommée en grammes puis en litres de la voiture pendant cette période de 3 minutes à 50 km/h.
Calculer la distance parcourue $d_1$ pendant les 3 minutes.

Base nationale des sujets d'Examens de l'enseignement professionnel Réseau Canopé

*2.9* Quelle est la puissance disponible à la génératrice $P_{GE}$ ? En déduire la puissance électrique $P_{El}$. Calculer la quantité d'énergie stockée pendant ces 3 minutes.

*Au bout des 3 minutes, le moteur électrique prend le relais pour consommer l'énergie ainsi stockée, le moteur thermique est à l'arrêt ; le moteur électrique consomme 7,47 kW à 50 km/h.*

*2.10* Calculer le temps de fonctionnement du moteur électrique, et la distance parcourue $d_2$ avec cette énergie électrique.

*2.11* Calculer la consommation moyenne du véhicule pendant le trajet $d_1+d_2$ en litres aux 100 km.

## Récupération de l'énergie

*Le véhicule de masse M=1360 kg stocke de l'énergie sous forme d'énergie cinétique Ec et d'énergie potentielle Ep de pesanteur. La technologie HSD permet de récupérer, au freinage, une part de l'énergie cinétique*.

*2.12* Quelle est l'énergie cinétique du véhicule à 50 km/h en Joule puis en Wh ?

*2.13* Quelle quantité d'énergie allons-nous récupérer à chaque arrêt en Wh (rappel pourcentage de l'énergie récupérable de 70%) ?

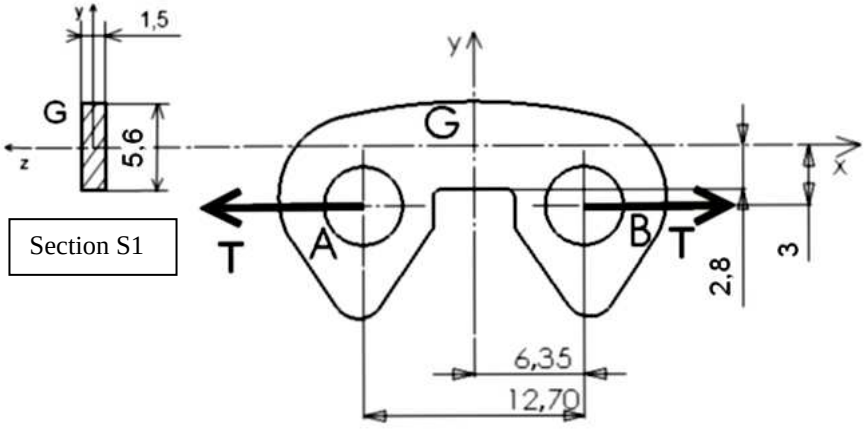
*2.14* Calculer la distance parcourue en mode électrique avec cette énergie. (On considère le rendement global électrique de 1, et à 50 km/h $P_{ME}$ = 7,47 kW ; 1 Wh = 3600 J).

*La voiture descend une pente de 10% (tan $\alpha$ = 0,1 et $\alpha$ = 5,7°) à vitesse constante de 90 km/h sur 5 km. Rappel : $P_{réc}$ =( ½ $\rho_{air}$ S Cx $V^3$ + k m g V – m g sin$\alpha$ V).*$\eta_R.\eta_T.\eta_{GE}$

*2.15* Calculer la puissance récupérée $P_{réc}$ puis l'énergie récupérée $E_{réc}$ en kWh pendant cette descente. Quel sera le % de recharge de la batterie (rappel : $\eta_{BAT}$=0.95) ?

# PARTIE 3 : Étude de la transmission par chaîne silencieuse

*Matière d'œuvre :* Documents DT2 ; DT3 ; DT6 ; DT7.
*Domaine étudié :* Chaîne de transmission silencieuse.
*Objectif :* Vérifier la résistance de la chaîne.
*D'après le cahier des charges, le couple maxi est de 400 Nm.*




Base Nationale des Sujets d'Examen de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

3.1 À l'aide du document **DT7** calculer le diamètre primitif du pignon **6** et en déduire l'effort tangentiel transmis dans la chaîne.

3.2 La chaine est constituée de maillons de 5 ou 6 lamelles assemblées. Calculer l'effort de traction maximal dans une lamelle.

3.3 Prendre comme effort tangentiel T = 1100 N. Déterminer le torseur de cohésion dans la section S1 en G.
Calculer dans cette section la contrainte normale due à la traction $\sigma_T$ et celle due à la flexion $\sigma_{Mf.}$
En déduire la contrainte maximale dans cette section.

(rappel : $\sigma_T = N/S$ ; $\sigma_{Mf} = Mf / I_{Gz/v}$ et $I_{Gz/v} = bh^2/6$)

*La figure 6 **DT7** représente la répartition des contraintes sur une lamelle.*

3.4 Sur la figure 6, retrouver et donner la contrainte maximale dans la section S1 étudiée en 3.3 ; indiquer à quel endroit il y a risque de rupture. Comment appelle-t-on ce phénomène ?

3.5 Quelle doit être la résistance minimale du matériau pour que celle-ci résiste ?

## PARTIE 4 : Évolution de la transmission hybride 1ère et 3ème génération

*Dans cette partie on étudiera la transmission de 3ème génération.*

*Matière d'œuvre :* Documents DT8 ; DR2.

*Domaine étudié :* Transmission de la 3ème génération.

*Objectif :* Comparer les 2 générations d'un point de vue cinématique.

*La génératrice est à l'arrêt dans cette étude, $N_{2/0} = 0$.*

4.1 Détermination du rapport de Réduction du train épicycloidal 1 entre le moteur thermique (entrée sens horaire) et la couronne **7** : $k_{MT} = \omega_{7/0} / \omega_{1/0}$

4.11 Écrire la relation entre $\omega_{1/0}$ et $V_{C1/0.}$
4.12 Calculer et tracer $\overrightarrow{V_{C1/0.}}$ Pour tracer on prendra $\omega_{1/0} = 100$ rad/s.
4.13 Justifier l'égalité $\overrightarrow{V_{C1/0}} = \overrightarrow{V_{C4/0.}}$
4.14 Le pignon 2 lié à la génératrice est fixe. En déduire le $CIR_{4/0}$.
4.15 En utilisant le $CIR_{4/0}$, déterminer $\overrightarrow{V_{D4/0.}}$ En déduire $\overrightarrow{V_{D7/0}}$.
4.16 Écrire la relation entre $\omega_{7/0}$ et $V_{D7/0}$. Calculer $\omega_{7/0.}$
4.17 En déduire le rapport $k_{MT} = \omega_{7/0} / \omega_{1/0.}$

4.2 Calculer le rapport $k_{RE} = \omega_{10/0} / \omega_{7/0}$ puis $K_T = k_{MT} \times k_{RE} = \omega_R / \omega_{MT} = \omega_{10/0} / \omega_{1/0.}$

*À la vitesse de 50 km/h, au moment du passage du mode électrique au mode thermique, la fréquence de rotation des roues est de 440 tr/min, la fréquence de rotation de la génératrice est nulle.*

4.3 Calculer la fréquence de rotation du moteur thermique.

Base Nationale des Sujets d'Examen de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

*Le porte satellite **5** du train (**3**, **5**, **6**, **7**) étant fixe, il se comporte comme un réducteur simple.*

4.4 Calculer le rapport de réduction entre le moteur électrique et la couronne **7** :
$k_{ME} = \omega_{7/0}/\omega_{3/0}$, puis $K_E = \omega_R/\omega_{ME} = \omega_{10/0}/\omega_{3/0}$
$K_E$ (rapport entre le moteur électrique et les roues) $K_E = k_{ME} \times k_{RE}$

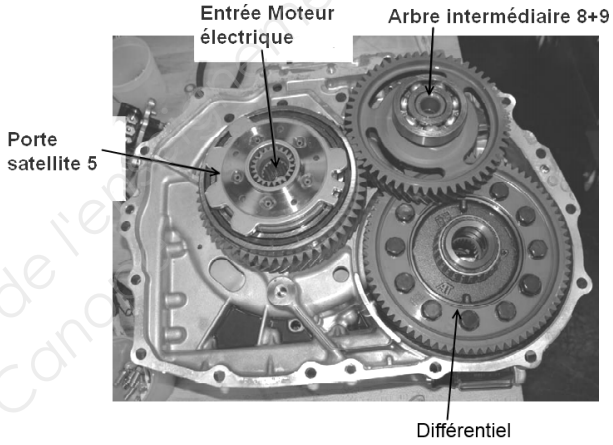
4.5 Calculer la fréquence de rotation du moteur électrique à 50 km/h.

4.6 Comparer les résultats avec ceux obtenus à la question 1.6 pour le système 1ère génération. Que peut-on conclure sur le moteur électrique ?

## PARTIE 5 : Transmission hybride 3ème génération

*Matière d'œuvre :* Documents : DT8 ; DT9 ; DT10 ; DR3.
*Domaine étudié :* Transmission de la 3ème génération.
*Objectif :* Concevoir le guidage de l'arbre intermédiaire **9**.

*Dans la transmission hybride 3ème génération il n'y a plus la chaîne silencieuse, entre la couronne du train épicycloïdal et le différentiel, la transmission est obtenue par l'arbre intermédiaire **9** et la roue dentée **8**.*




*5.1 La liaison entre la roue dentée **8** et le pignon arbré **9** doit transmettre un couple.*

5.11 À partir du document technique **DT9** (dimensions en mm et actions en N), retrouver la valeur de l'effort qui engendre ce couple. Calculer ce couple.

*On prendra pour la suite un couple C = 410 Nm, le diamètre mini de l'arbre est de 35 mm, la longueur maxi du moyeu de la roue dentée L = 35, la pression admissible du matériau est de 80 MPa.*

5.12 À partir des documents techniques **DT10**, choisir les dimensions des cannelures série moyenne. Vérifier la condition de non matage.

*5.2 Conception de l'ensemble roue **8** arbre intermédiaire **9**.*

*Sur le document réponse **DR3** proposer une solution de la conception de l'ensemble **8**+**9** et de son guidage en rotation par rapport au carter.*

5.21 La fonction guidage en rotation sera réalisée par 2 roulements à billes (35*72*17).

5.22 La roue dentée **8** sera rapportée sur le pignon arbré **9** en liaison encastrement dont la solution technologique est à définir sur le dessin **DR3**. Faire des coupes ou des sections nécessaires pour définir certaines formes.

5.23 Indiquer les conditions fonctionnelles (jeux, ajustements).

Base Nationale des Sujets d'Examen de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

# DOSSIER RÉPONSE

Ce dossier contient 3 documents numérotés de DR1 à DR3

DR1 : Courbes de puissance page 19/21

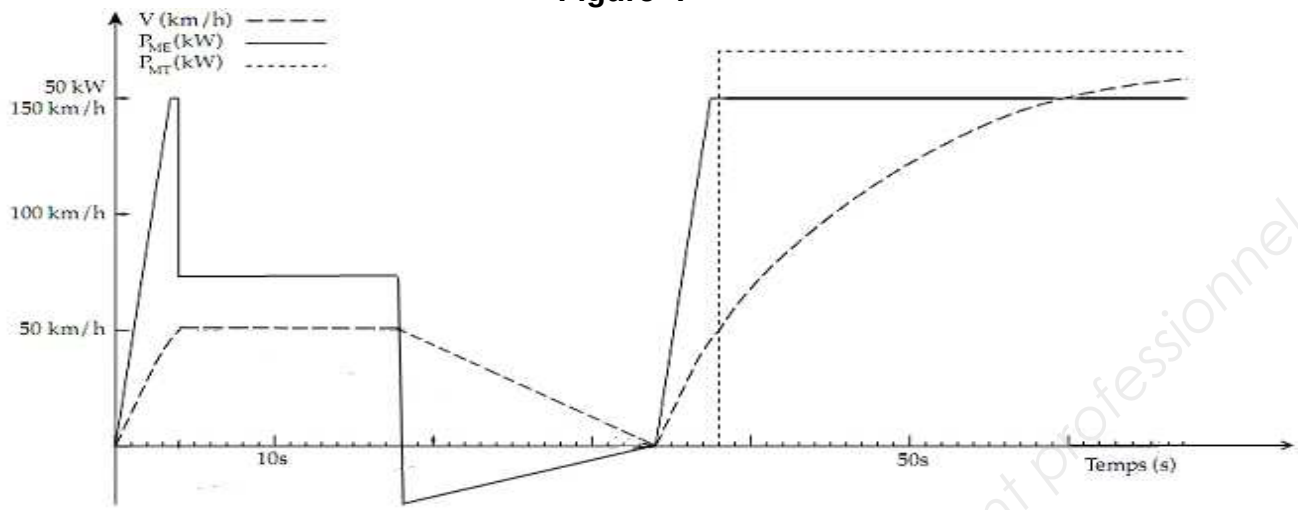
DR2 : Transmission 3ème génération page 20/21

DR3 : Conception page 21/21

Base Nationale des Sujets d'Examen de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

## DR1 : Caractéristiques dynamiques relevées expérimentalement :

**Figure 7**



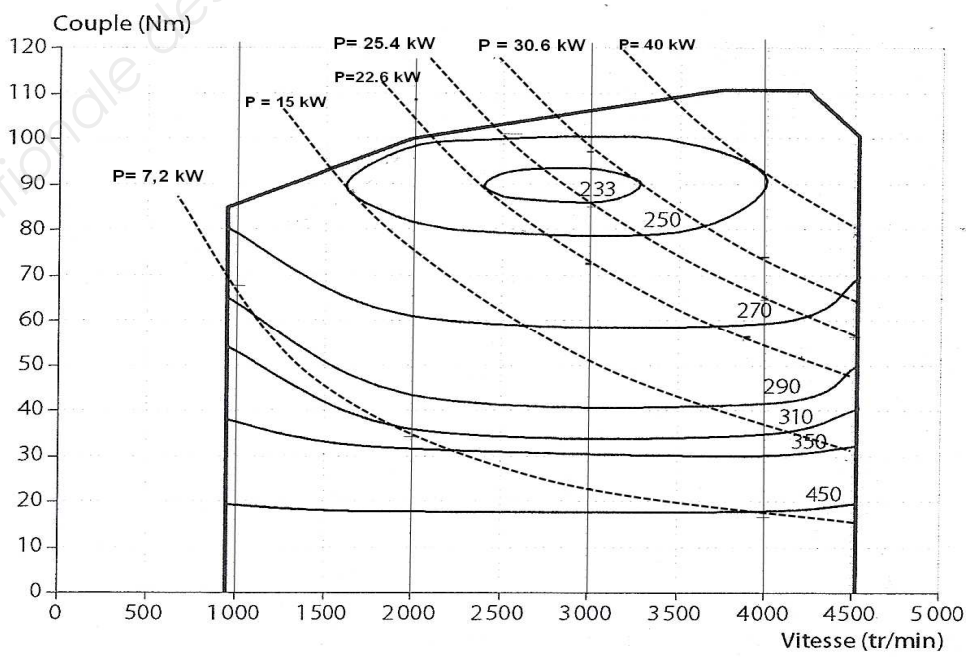

La vitesse du véhicule V en km/h : – – – – – -
La puissance électrique consommée ou générée par le moteur électrique $P_{ME}$ en kW :————
La puissance mécanique fournie par le moteur thermique $P_{MT}$ en kW : - - - - - - - -

**Question 2.1**

| Temps | Phase | Mode | Vitesse |
|---|---|---|---|
| *0 à 4 s* | *Démarrage* | *Tout électrique* | *De 0 à 50 km/h* |
| 4 à 18 s | | | |
| 18 à 34 s | | | |
| 34 à 38 s | | | |
| Plus de 38 s | | | |

## Consommation spécifique en g/kWh
## Courbe isopuissance

**Figure 8**

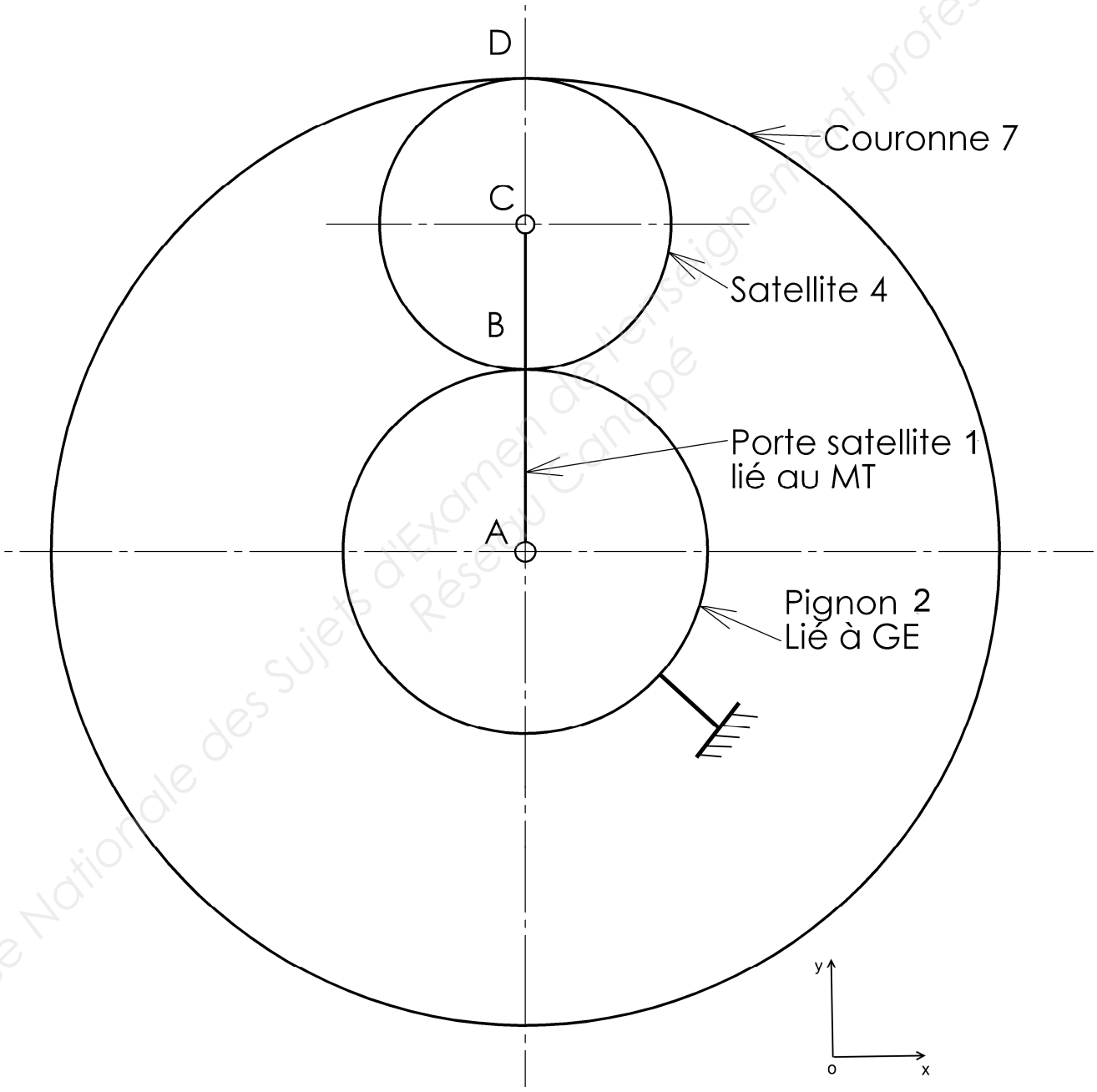



Base Nationale des Sujets d'Examen de l'enseignement professionnel Réseau Canopé

**DR2 :** Transmission 3ème Génération

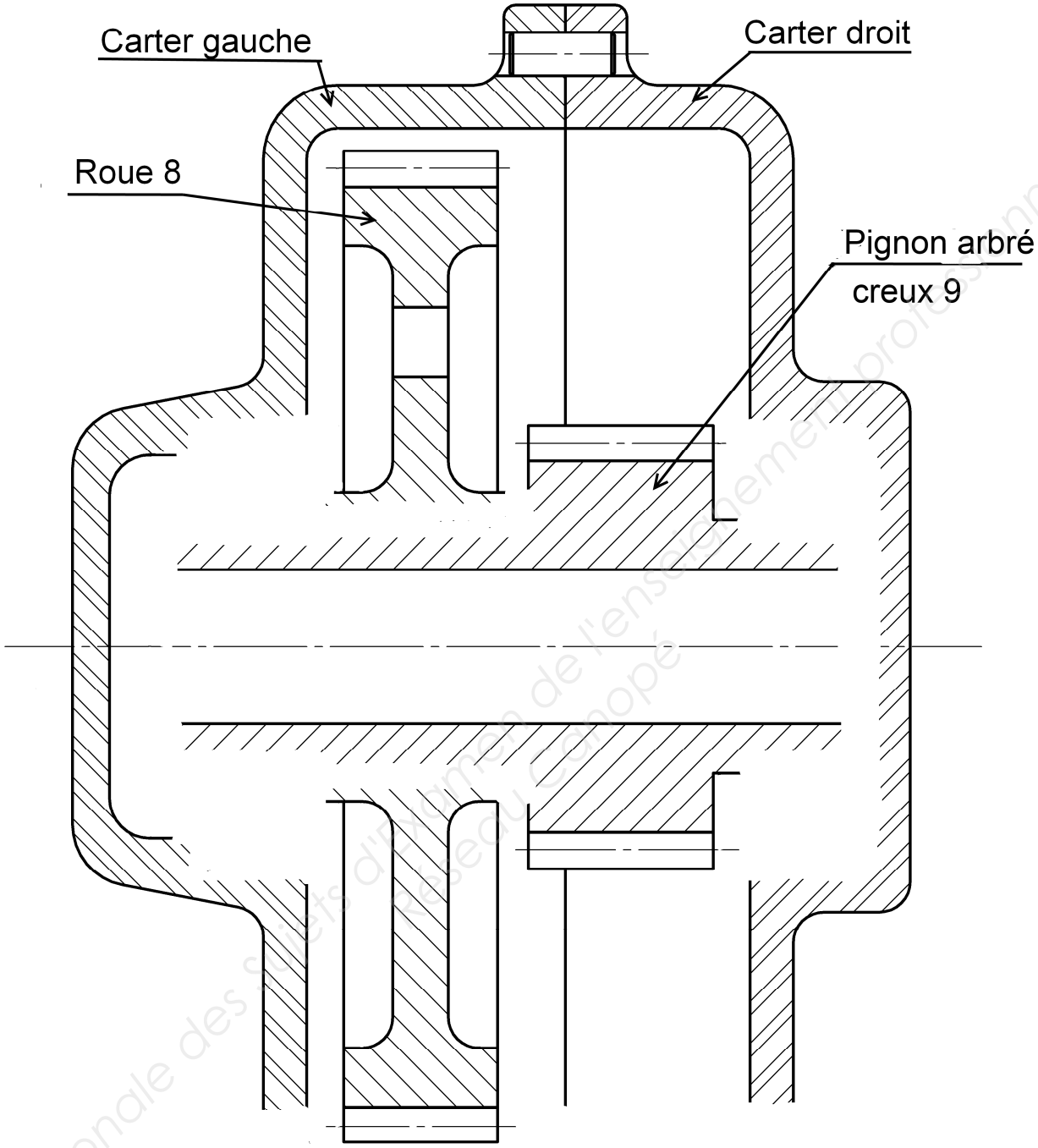
Train épicycloïdal 1
AB= 30
AD = 78
BC= 24

Échelle des vitesses :
1 cm→1 m/s




Base Nationale des Sujets d'Examen de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

**DR3 :** Conception Échelle 1/1




Base Nationale des sujets d'examen de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

Ce document a été élaboré par FormaV© avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV©, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV© se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.

Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

Ce document a été élaboré par FormaV© avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV©, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV© se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.