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

MOTEUR À COMBUSTION INTERNE

Session 2011

E4 – 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 calcul autorisés :

Calculatrice électronique de poche, y compris calculatrice programmable et alphanumérique à fonctionnement autonome, non imprimante, conformément à la circulaire N° 86.228 du 26 Juillet 1986.

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il soit complet.
Le sujet comporte 23 pages numérotées de la façon suivante :

- Page de garde
- Dossier technique : pages 1 à 10
- Dossier d'étude : pages 11 à 18
- Dossier réponses : pages 19 à 23

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

Tous les documents réponses sont à remettre en un seul exemplaire en fin d'épreuve

CODE ÉPREUVE : 1106MOEDC		**EXAMEN BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR**	**SPÉCIALITÉ : MOTEUR À COMBUSTION INTERNE**
SESSION : 2011	**SUJET**	***ÉPREUVE* : E4 – ÉTUDE DES CONSTRUCTIONS**	
Durée : 6h	**Coefficient : 4**	**SUJET N°01ED10**	**Page de garde**

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

Différentiel à glissement limité FAM

Aucun document autre que le sujet n'est autorisé

Matériels autorisés :

Matériel du dessinateur (Té, équerre, compas,…)

Guide du dessinateur industriel

Moyens de calculs autorisés :

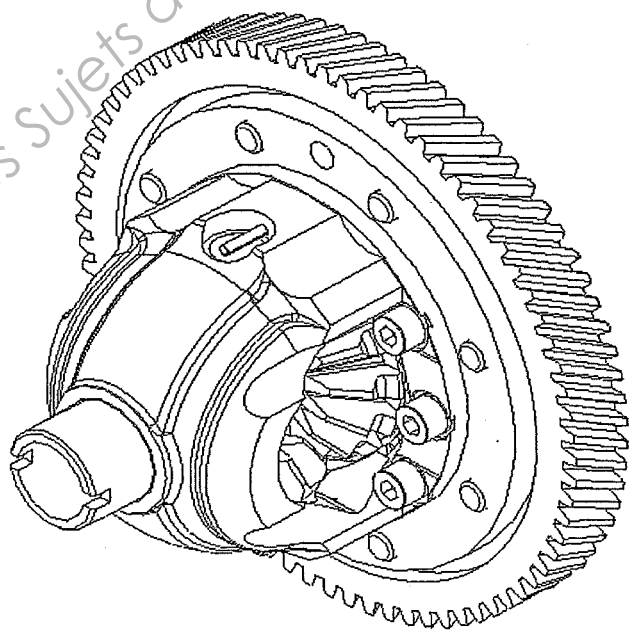
Calculatrice électronique de poche, y compris calculatrice programmable et alpha numérique à fonctionnement autonome, non imprimante, conformément à la circulaire N°86.228 du 26 juillet 1986.

Contenu du dossier :

- Dossier technique
- Dossier d'étude
- Dossier des documents « réponses »

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

Tous les documents « réponses » sont à remettre en fin d'épreuve.



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

DOSSIER TECHNIQUE

Ce dossier comporte 8 documents numérotés DT1 à DT 8.

Référence	Titre	Format
DT1	Présentation du mécanisme	A4
DT2	Nomenclature	A4
DT3	Schéma cinématique	A4
DT4	Cinématique du véhicule	A4
DT5	Plan d'ensemble	A3
DT6	Vue éclatée du différentiel	A4
DT7	Engrenage conique – courbe charge rondelle	A4
DT8	Courbe couple – roulements - joints	A4

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

Présentation du mécanisme. Expression du besoin :

Le différentiel est un mécanisme de transmission placé en sortie de boîte de vitesses dont la fonction est de transmettre le couple aux roues motrices tout en autorisant des vitesses de rotation différentes pour chacune de ces roues. Cette situation se rencontre prioritairement en virage, mais aussi lorsque les conditions d'adhérence diffèrent entre la roue gauche et la roue droite.

Le différentiel classique présente néanmoins un inconvénient de fonctionnement. Il transmet un couple égal à chacune des deux roues motrices et, de plus, il n'est pas possible de transmettre à une roue un couple supérieur à ses capacités d'adhérence. Aussi, lorsqu'une roue est en situation de mauvaise adhérence (verglas, boue, sable,...), voire en rupture de contact (passage d'un trou de chemin,...), le couple transmis à cette roue défaillante chute alors que sa vitesse de rotation s'emballe. Or, de par la règle d'égalité de couple entre les deux roues, le couple transmis à la roue adhérente chute d'autant et ne permet plus la motricité du véhicule.

La société FAM a donc mis au point un mécanisme appelé Motricité Renforcée ® pour permettre à un véhicule à deux roues motrices d'être exploité en configuration tout chemin. Le principe consiste à reconfigurer le différentiel d'origine du véhicule en lui incorporant un embrayage multidisques après réusinage du boîtier d'origine. Cet embrayage comporte huit disques, quatre disques d'acier solidaires du boîtier d'embrayage fixé sur le boîtier de différentiel, et quatre disques de friction en acier recouvert de molybdène solidaires du planétaire. La liaison entre chacun des disques et son support est une liaison glissière obtenue par cannelures.

Lorsqu'une roue tourne plus vite que l'autre, les satellites du différentiel se mettent à tourner autour de leur axe. Ainsi, le planétaire solidaire de la roue « rapide » tourne plus vite que le boîtier alors que le planétaire lié à la roue « lente » tourne plus lentement que celui-ci. L'objectif de l'embrayage est d'introduire un couple de frottement que devra vaincre le planétaire appelé à tourner plus vite, permettant ainsi de transférer ce couple de frottement à la roue lente encore en adhérence et conserver ainsi un potentiel de motricité.

Le tarage du différentiel est déterminé par une précontrainte sur les disques d'embrayage obtenue par une rondelle ressort de type « Belleville » qui comprime à vide ces disques et définit ainsi un couple de frottement initial avant toute autre sollicitation. Une cale d'épaisseur permet d'ajuster avec précision cette précontrainte. De plus, satellites et planétaires sont des engrenages coniques à denture droite. Aussi, en cours de fonctionnement, l'action des satellites sur les planétaires introduit un effort axial qui contribue à augmenter la compression des disques et accroître ainsi le couple de frottement tendant à bloquer le différentiel.

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

DT1

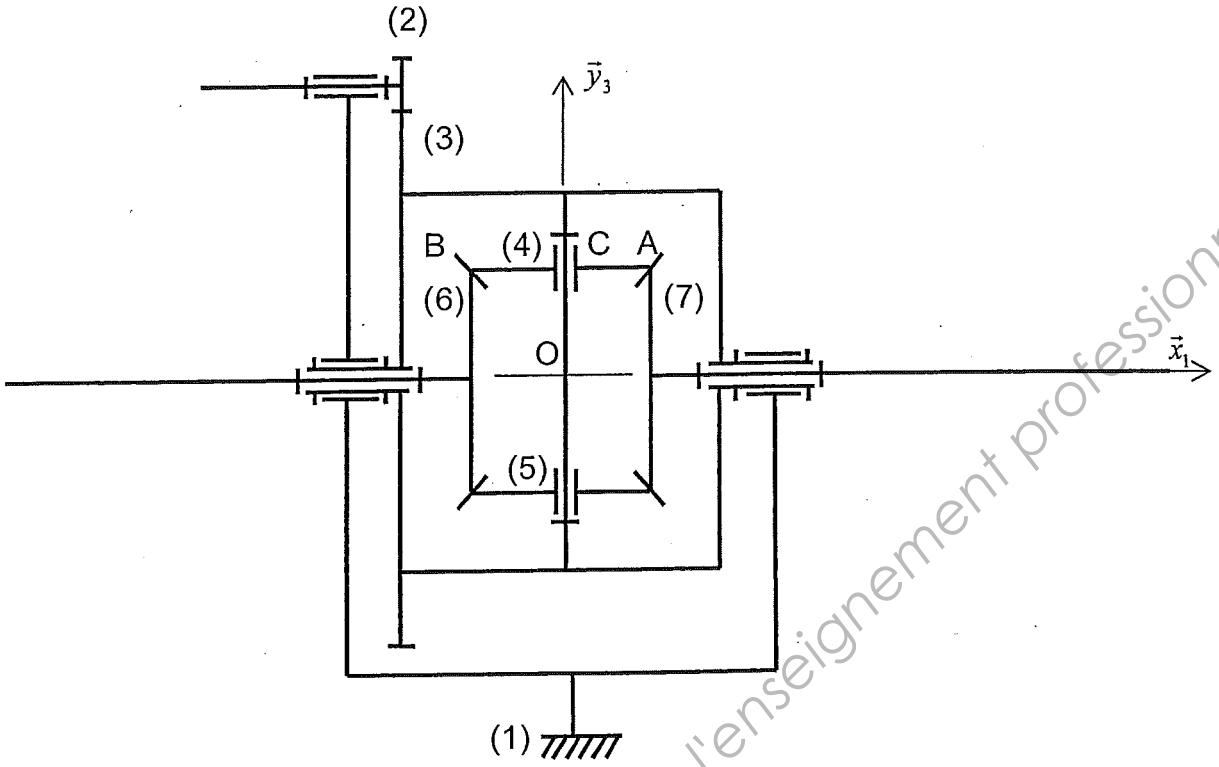
Nomenclature du différentiel à glissement limité :

Repère	Nombre	Désignation	Observation
21	6	Vis CHC, M8-22	Rondelle Grower
20	2	Vis CHC, M8-25	
19	8	Vis H, M10-20	
18	1	Couronne	75 dents
17	1	Boîtier embrayage	
16	4	Disque	Acier
15	4	Disque de friction	Recouvert molybdène
14	1	Cale d'épaisseur	Tôle ép. 0,2
13	1	Rondelle ressort	40×70×2
12	2	Coupelle satellite	Tôle ép. 0,5
11	1	Coupelle planétaire	Tôle ép. 0,5
10	1	Bague	
9	2	Goupilles élastiques	ISO 8752-3,5×26
8	1	Axe porte-satellites	
7	1	Planétaire	14 dents ; m = 4,65 ; $\alpha = 27°$; $\delta = 54°$
6	1	Planétaire embrayage	14 dents ; m = 4,65 ; $\alpha = 27°$; $\delta = 54°$
5	1	Satellite inférieur	10 dents
4	1	Satellite supérieur	10 dents
3	1	Boîtier de différentiel	
2	1	Pignon de sortie boîte de vitesses	19 dents
1	1	Châssis automobile	

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

DT2

Schéma cinématique du différentiel standard :



Le pignon **2** de sortie de boîte de vitesses engrène avec la couronne liée au boîtier de différentiel **3**.

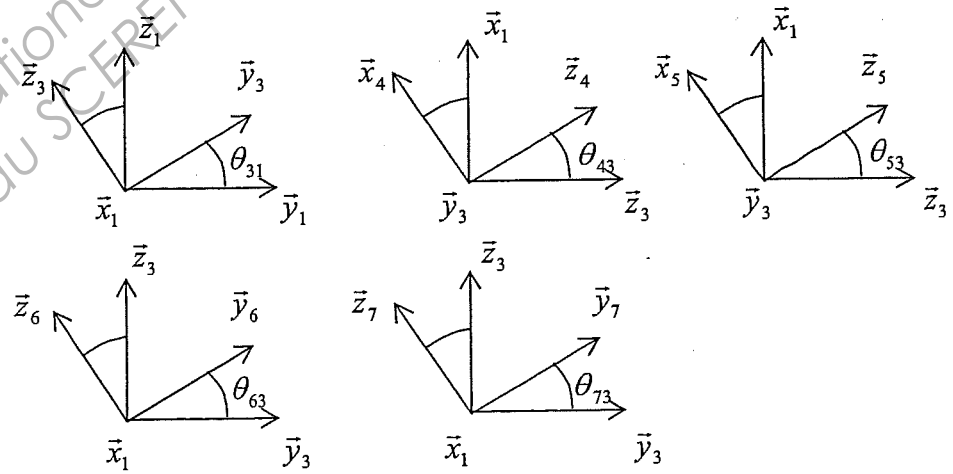
Soient $(O,\vec{x}_1,\vec{y}_1,\vec{z}_1)$ le repère associé au châssis **1**, $(O,\vec{x}_1,\vec{y}_3,\vec{z}_3)$ le repère associé au boîtier **3**, $(O,\vec{x}_4,\vec{y}_3,\vec{z}_4)$ le repère associé au satellite **4**, $(O,\vec{x}_5,\vec{y}_3,\vec{z}_5)$ le repère associé au satellite **5**, $(O,\vec{x}_1,\vec{y}_6,\vec{z}_6)$ le repère associé au planétaire **6** et $(O,\vec{x}_1,\vec{y}_7,\vec{z}_7)$ le repère associé au planétaire **7**.

Le boîtier de différentiel **3** est en liaison pivot d'axe $(O,\vec{x}_1)$ avec le châssis **1**.

Les satellites **4** et **5** sont en liaison pivot d'axe $(O,\vec{y}_3)$ avec le boîtier **3**.

Les planétaires **6** et **7** sont en liaison pivot d'axe $(O,\vec{x}_1)$ avec le boîtier **3**.

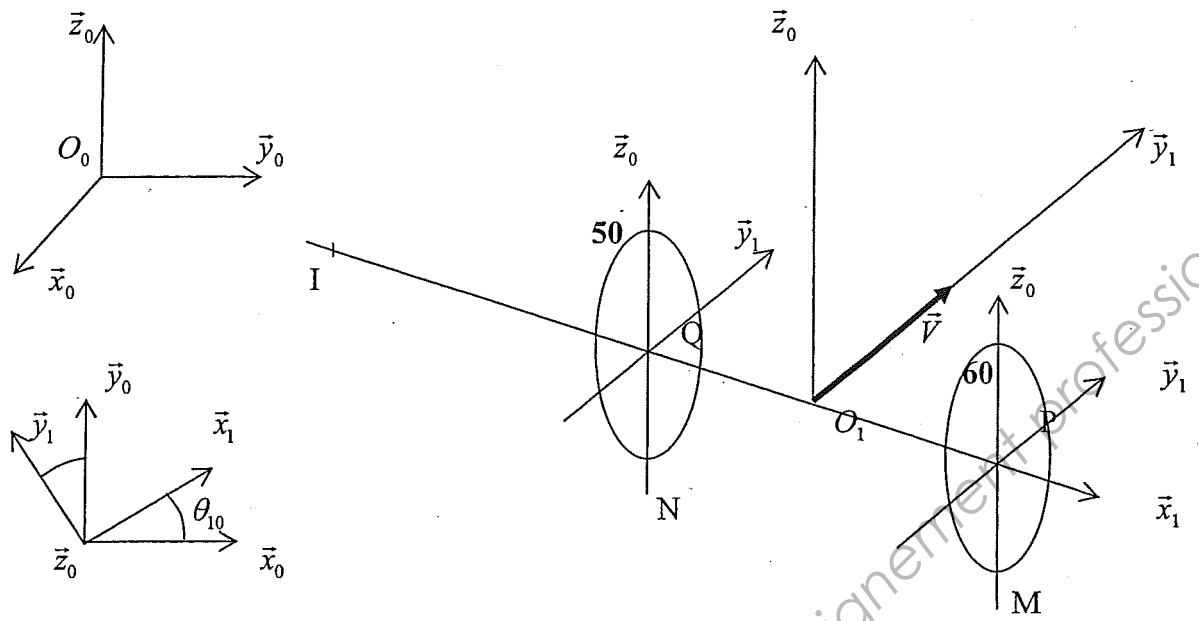
Soient A et B les points de tangence des cercles primitifs du satellite **4** avec ceux des planétaires **7** et **6**, et O l'origine commune à tous les repères cités.



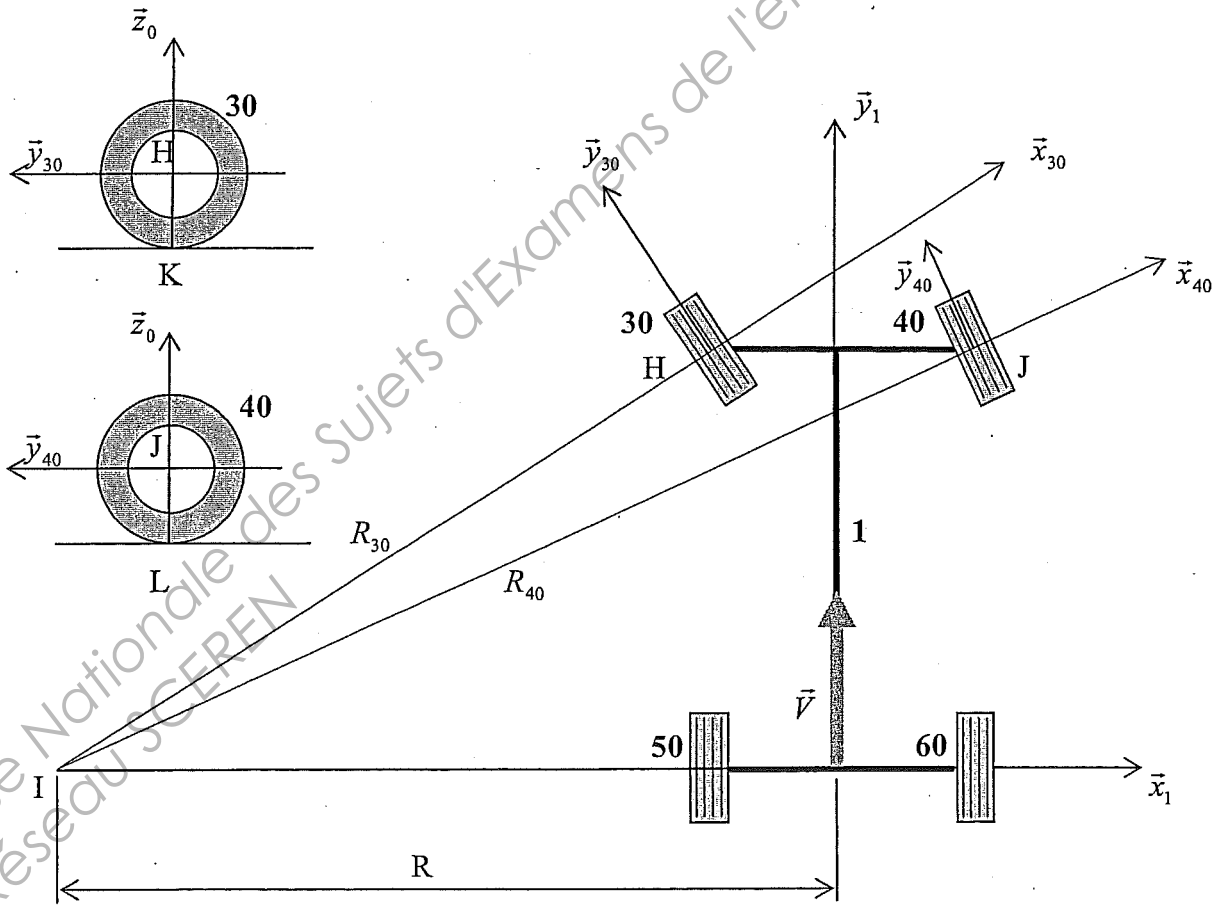
DT3

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

Cinématique du train arrière :



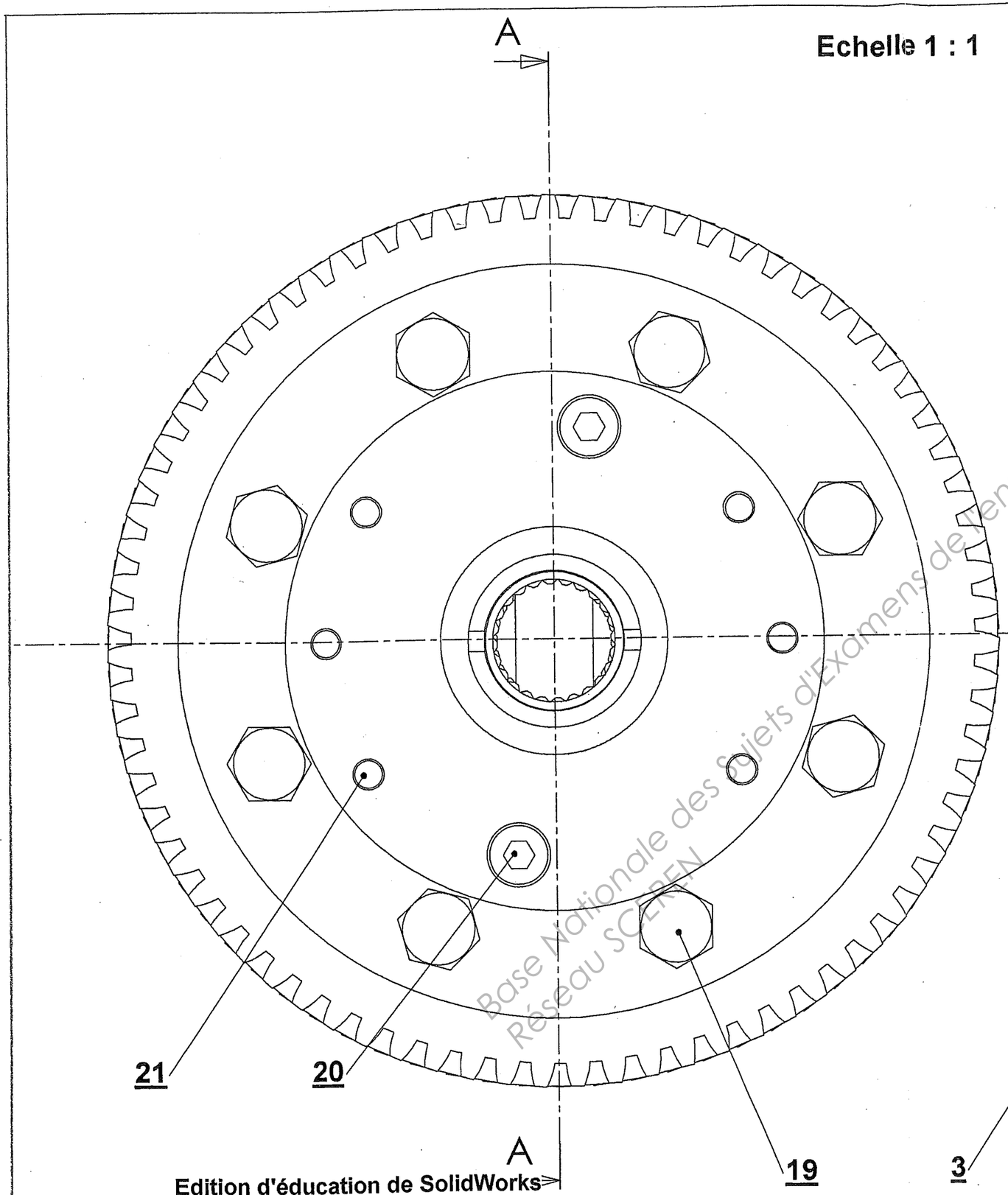
Cinématique du véhicule :



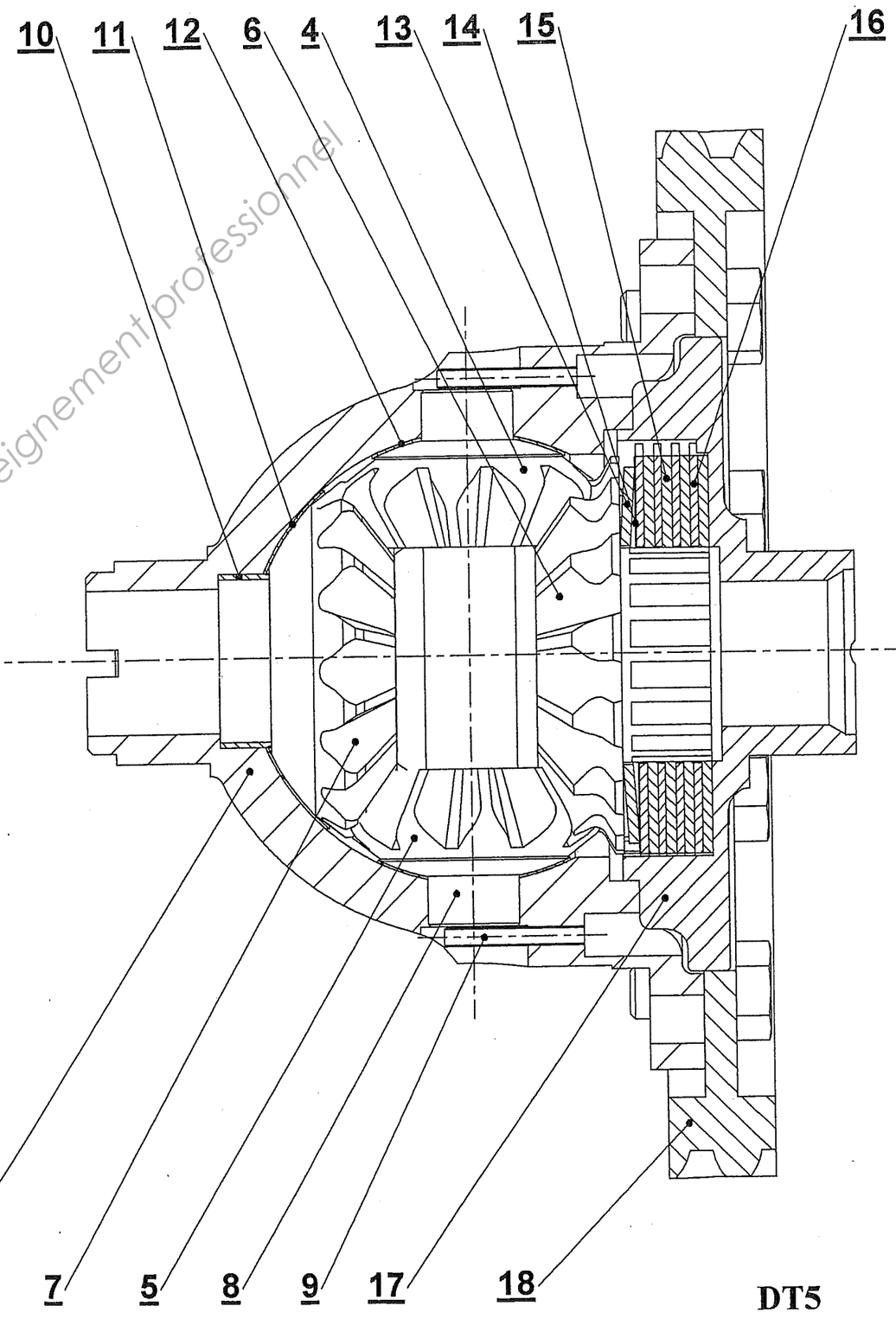
Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

DT4

Echelle 1 : 1



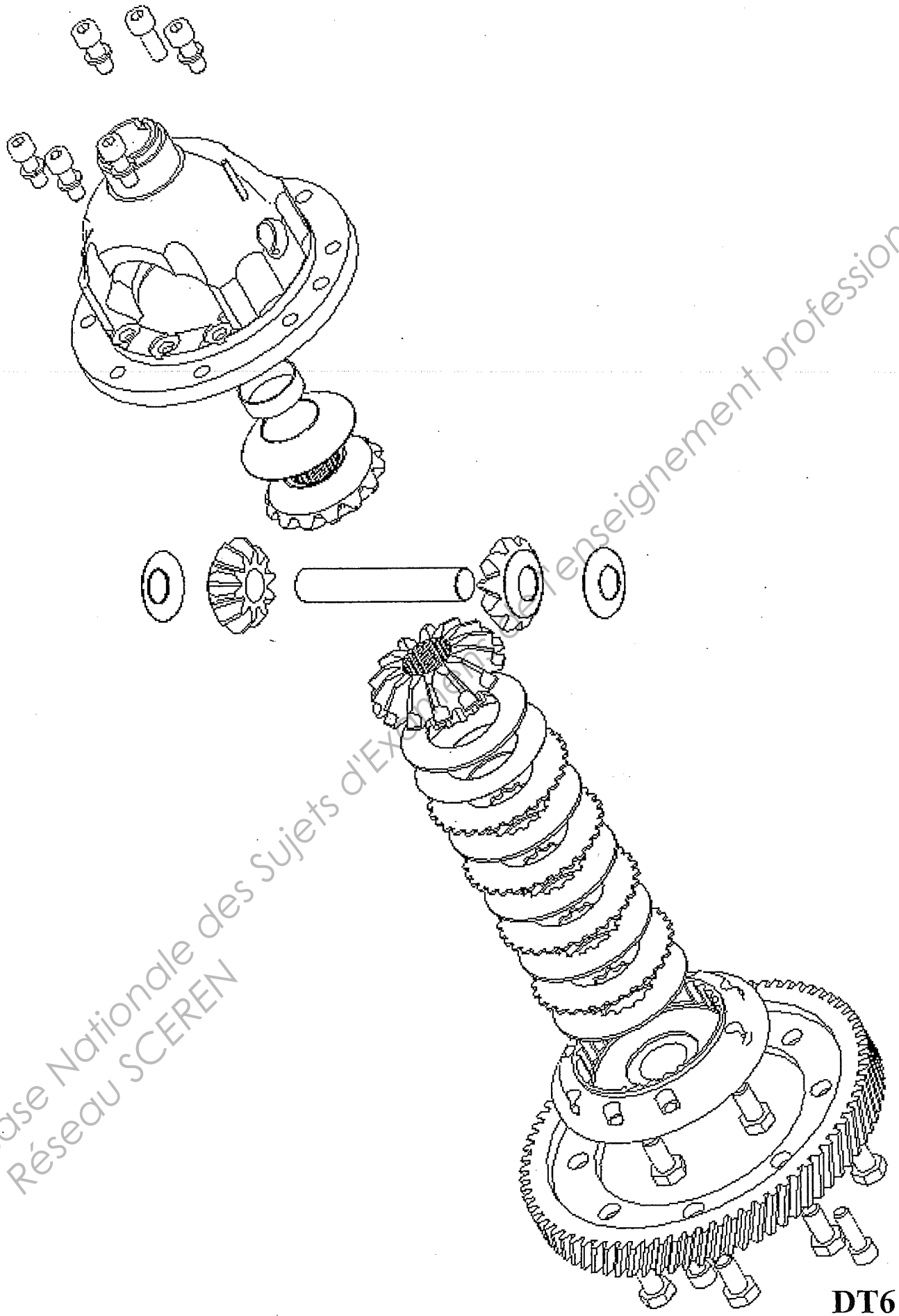
A-A



DT5

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

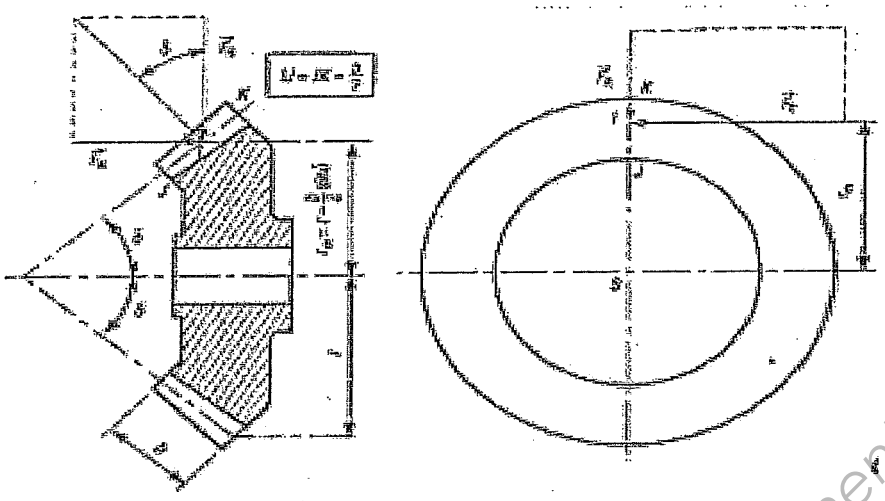
Edition d'éducation de SolidWorks
Licence pour un usage éducatif uniquement



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

DT6

Caractéristiques géométriques de l'engrenage conique :

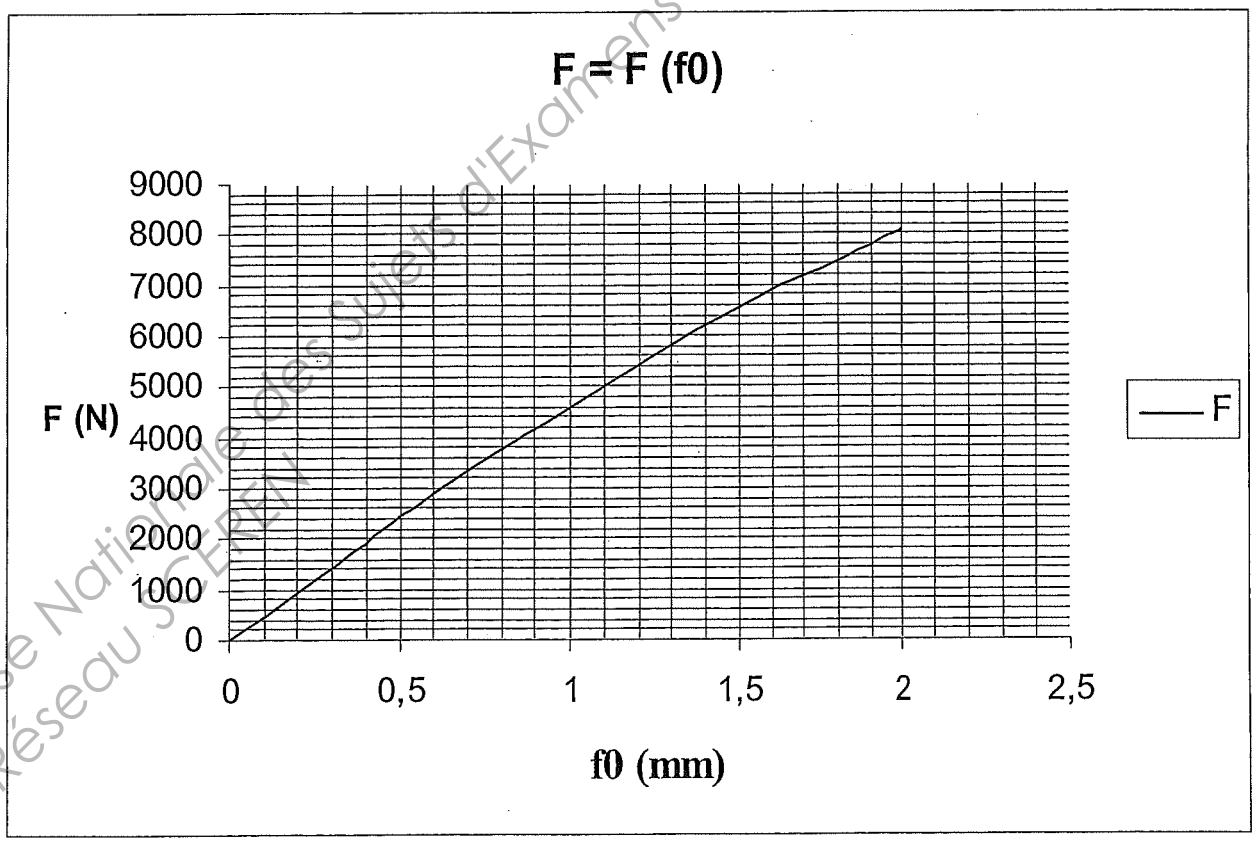


doc. Fanchon

$$F_t = \frac{CT}{2r_m}$$

$$F_a = F_t \tan\alpha \sin\delta$$

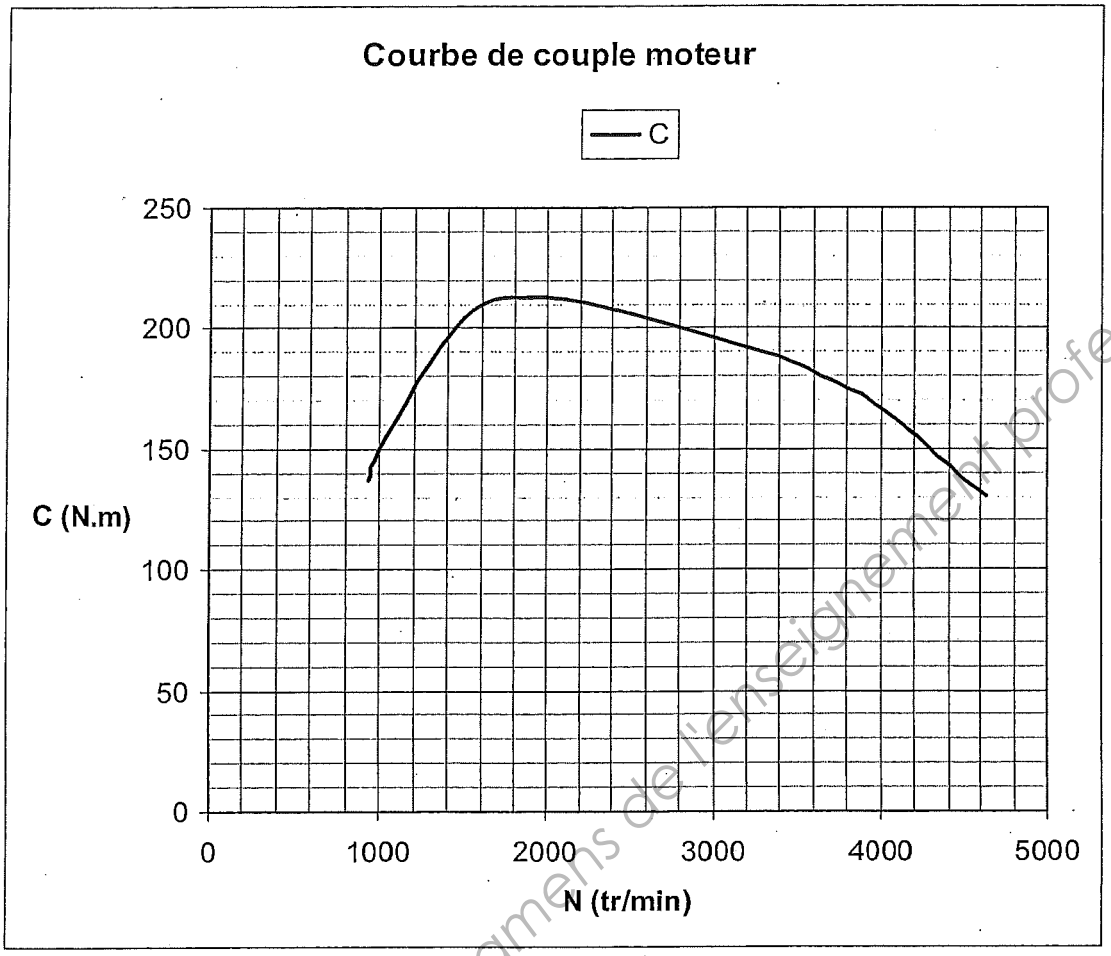
Courbe charge – flèche de la rondelle Belleville :



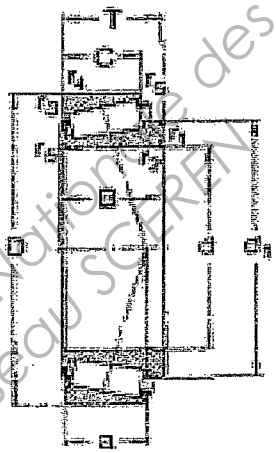
Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

DT7

Courbe couple moteur HDi 2,2 :

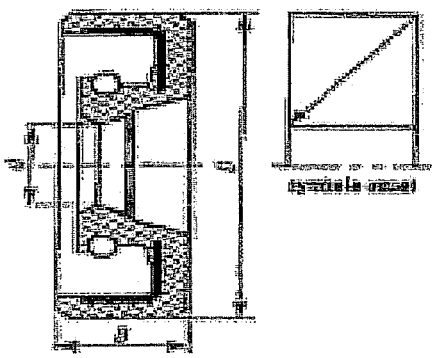


Roulement 38 – 63 – 17 :



doc. SKF

Joint à une lèvre :



doc. Fanchon

DT8

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

DOSSIER D'ÉTUDE

Cette étude comprend 7 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 :

Partie 1 : compréhension du mécanisme	: 0h45
Partie 2 : mise en évidence du besoin du différentiel	: 1h15
Partie 3 : loi cinématique du différentiel	: 0h45
Partie 4 : calcul dynamique du couple transmis aux planétaires	: 1h
Partie 5 : couple transmis aux roues par le différentiel FAM	: 0h40
Partie 6 : couple de frottement	: 0h35
Partie 7 : conception du guidage en rotation	: 1h

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

1. Compréhension du mécanisme.

Matière d'œuvre : DT1, DT2, DT3, DT5, DT6, DR1, DR2.

Domaine étudié : architecture du différentiel

Objectif : appréhender la construction du différentiel FAM.

Les documents DT5 et DT6 représentent respectivement le plan d'ensemble et un éclaté du différentiel à glissement limité FAM.

1.1. Sur le document **DR1**, compléter le graphe de montage de l'ensemble du mécanisme.

Attention : certaines pièces sont présentes à plusieurs exemplaires (voir nomenclature DT2) telles que disques, coupelles... Elles seront citées autant de fois que nécessaire dans le graphe sans aucune distinction de numérotation à l'exception des vis **19**, **20** et **21** qui ne figureront qu'une seule fois.

1.2. En vous appuyant sur le document **DT3** représentant le schéma cinématique minimal du différentiel d'origine non muni de l'embrayage multidisques, proposer sur le document **DR2** un schéma cinématique minimal du différentiel FAM comprenant cette modification.

2. Mise en évidence du besoin du différentiel.

Matière d'œuvre : DT4

Domaine étudié : cinématique du train arrière et avant du véhicule.

Objectif : exprimer la nécessité de différencier les vitesses de rotation des planétaires.

Étude du train arrière :

Soit $R_0(O_0, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ le repère associé au sol **0** et $R_1(O_1, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_0)$ le repère associé au véhicule **1**.

Soient **50** et **60** respectivement les roues gauche et droite du train arrière de centres Q et P, et N et M leurs points de contact respectifs avec le sol **0**.

Le véhicule roule à la vitesse linéaire $\vec{V}$ dans un virage de rayon R.

Soit I le CIR du mouvement véhicule **1** / sol **0**.

On note $\vec{\Omega}_{60/1} = \omega_{60/1}\vec{x}_1$ et $\vec{\Omega}_{1/0} = \omega_{1/0}\vec{z}_0$ respectivement les vecteurs vitesse de rotation de la roue **60** par rapport au véhicule **1** d'une part, du véhicule **1** par rapport au sol **0** d'autre part.

2.1. Écrire la condition cinématique de non glissement au point M entre la roue **60** et le sol **0**.

2.2. Donner la relation entre $\vec{V}_M(60/0)$ et $\vec{V}_P(60/0)$.

2.3. Comparer $\vec{V}_P(60/0)$ et $\vec{V}_P(1/0)$.

2.4. Exprimer $\vec{V}_I(1/0)$. En déduire l'expression de $\vec{V}_P(1/0)$ en fonction de $\vec{\Omega}_{1/0}$. Conclure quant à $\vec{V}_P(60/0)$.

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

2.5. Donner alors l'expression de $\vec{V}_M(60/0)$ en fonction de $\vec{\Omega}_{1/0}$ et $\vec{\Omega}_{60/0}$.

2.6. À partir de la relation de composition des vecteurs vitesses de rotation, définir $\vec{\Omega}_{60/0}$ vectoriellement et en fonction des valeurs algébriques $\omega_{60/1}$ et $\omega_{1/0}$.

2.7. Si $\overrightarrow{PM} = -r\vec{z}_0$, montrer alors que $\overrightarrow{IP} = \dfrac{-r\omega_{60/1}.\omega_{1/0}}{\omega_{1/0}^{\ 2}}\vec{x}_1$ en rappelant que si $\vec{A} \wedge \vec{X} = \vec{B}$, alors $\vec{X} = \dfrac{\vec{B} \wedge \vec{A}}{\vec{A}^2}$. $\left(\vec{A}^2 = \vec{A}.\vec{A} = \left\|\vec{A}\right\|^2\right)$

2.8. Peut-on conclure que le CIR I est situé sur l'axe du train arrière ? Justifier.

Étude du train avant :

Soit $\{V(1/0)\} = \begin{Bmatrix} \vec{\Omega}(1/0) \\ \vec{V}_{O_1}(1/0) \end{Bmatrix}_{O_1} = \begin{Bmatrix} \omega_{1/0}\vec{z}_0 \\ V\vec{y}_1 \end{Bmatrix}_{O_1} = \begin{Bmatrix} \omega_{1/0}\vec{z}_0 \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_I$ le torseur cinématique du mouvement du véhicule **1** par rapport au sol **0**.

Soit **30** la roue avant gauche de centre H, et K son point de contact avec le sol **0**.

Soit **40** la roue avant droite de centre J, et L son point de contact avec le sol **0**.

On pose :

$R_{30} = IH$, $R_{40} = IJ$, r_{30} et r_{40} sont respectivement les rayons des roues **30** et **40**.

2.9. Exprimer $\omega_{1/0}$ en fonction de la vitesse V et du rayon de giration R.

2.10. Exprimer $\vec{V}_H(1/0)$ et $\vec{V}_J(1/0)$ en fonction de $\omega_{1/0}$ et respectivement des rayons R_{30} et R_{40}.

2.11. Comparer $\vec{V}_H(1/0)$ et $\vec{V}_H(30/0)$ d'une part, puis $\vec{V}_J(1/0)$ et $\vec{V}_J(40/0)$ d'autre part.

2.12. Exprimer la condition de non glissement au point K entre la roue **30** et le sol **0**, puis au point L entre la roue **40** et le sol **0**.

2.13. Exprimer $\vec{\Omega}(30/0)$ en fonction de $\omega_{30/1}$ et $\omega_{1/0}$, puis $\vec{\Omega}(40/0)$ en fonction de $\omega_{40/1}$ et $\omega_{1/0}$.

2.14. Établir la relation entre $\vec{V}_H(30/0)$ et $\vec{V}_K(30/0)$ d'une part, puis entre $\vec{V}_J(40/0)$ et $\vec{V}_L(40/0)$ d'autre part.

2.15. Montrer alors que $\omega_{30/1} = -\dfrac{R_{30}}{r_{30}}.\dfrac{V}{R}$ d'une part, et $\omega_{40/1} = -\dfrac{R_{40}}{r_{40}}.\dfrac{V}{R}$.

2.16. Comparer alors les valeurs absolues $|\omega_{30/1}|$ et $|\omega_{40/1}|$. Justifier.

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

3. Loi cinématique du différentiel.

Matière d'œuvre : DT3

Domaine étudié : train épicycloïdal sphérique.

Objectif : établir la relation entre vitesses des planétaires et des satellites.

On pose : $\vec{\Omega}(7/1)=\omega_{7/1}\vec{x}_1$, $\vec{\Omega}(4/3)=\omega_{4/3}\vec{y}_3$, $\vec{\Omega}(3/1)=\omega_{3/1}\vec{x}_1$, $\vec{\Omega}(6/1)=\omega_{6/1}\vec{x}_1$,
$\overrightarrow{OA}=r_4\vec{x}_1+r\vec{y}_3$, $\overrightarrow{OB}=r.\vec{y}_3-r_4.\vec{x}_1$.

Remarque : r désigne le rayon primitif des planétaires **6** et **7**.

3.1. Exprimer la condition de non glissement au point A entre le planétaire **7** et le satellite **4**.

3.2. Écrire la relation de composition des vitesses entre $\vec{V}_A(7/4)$, $\vec{V}_A(4/1)$ et $\vec{V}_A(7/1)$.

3.3. Écrire la relation vectorielle entre $\vec{V}_A(7/1)$ et $\vec{V}_O(7/1)$ et montrer que $\vec{V}_A(7/1)=r\omega_{7/1}\vec{z}_3$.

3.4. Donner la relation vectorielle entre $\vec{V}_A(4/1)$, $\vec{V}_A(3/1)$ et $\vec{V}_A(4/3)$.

3.5. Exprimer $\vec{V}_A(4/3)$ en fonction de $\vec{V}_O(4/3)$. En déduire l'expression de $\vec{V}_A(4/3)$ en fonction de $\omega_{4/3}$.

3.6. Exprimer $\vec{V}_A(3/1)$ en fonction de $\vec{V}_O(3/1)$. En déduire l'expression de $\vec{V}_A(3/1)$ en fonction de $\omega_{3/1}$.

3.7. En déduire la relation entre $\omega_{7/1}$, $\omega_{4/3}$ et $\omega_{3/1}$.

3.8. Exprimer la relation de non glissement au point B entre le planétaire **6** et le satellite **4**.

3.9. Écrire la relation vectorielle entre $\vec{V}_B(6/4)$, $\vec{V}_B(4/1)$ et $\vec{V}_B(6/1)$.

3.10. Écrire la relation vectorielle entre $\vec{V}_B(6/1)$ et $\vec{V}_O(6/1)$ et montrer que $\vec{V}_B(6/1)=r\omega_{6/1}\vec{z}_3$.

3.11. Donner la relation vectorielle entre $\vec{V}_B(4/1)$, $\vec{V}_B(3/1)$ et $\vec{V}_B(4/3)$.

3.12. Exprimer $\vec{V}_B(4/3)$ en fonction de $\vec{V}_O(4/3)$. En déduire l'expression de $\vec{V}_B(4/3)$ en fonction de $\omega_{4/3}$.

3.13. Exprimer $\vec{V}_B(3/1)$ en fonction de $\vec{V}_O(3/1)$. En déduire l'expression de $\vec{V}_B(3/1)$ en fonction de $\omega_{3/1}$.

3.14. En déduire la relation entre $\omega_{6/1}$, $\omega_{4/3}$ et $\omega_{3/1}$.

3.15. À partir des résultats des questions 3.7. et 3.14, exprimer alors $\omega_{3/1}$ en fonction de $\omega_{6/1}$ et $\omega_{7/1}$.

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

4. Calcul dynamique du couple transmis aux planétaires.

Matière d'œuvre : DT3

Domaine étudié : train épicycloïdal sphérique.

Objectif : montrer que le différentiel transmet le même couple à chaque planétaire en régime uniforme.

On pose : $[I_O(4)]=\begin{bmatrix} A & 0 & 0 \\ 0 & B & 0 \\ 0 & 0 & A \end{bmatrix}_{(\vec{x}_4,\vec{y}_3,\vec{z}_4)}$ la matrice d'inertie du satellite **4** dans la base $(\vec{x}_4,\vec{y}_3,\vec{z}_4)$.

Soit C le centre de la liaison pivot d'axe $(C,\vec{y}_3)$ entre le satellite **4** et le boîtier **3**.

$\overrightarrow{OC}=a\vec{y}_3$.

On néglige l'action de la pesanteur exercée sur le satellite **4**.

On isole le satellite **4**. Celui-ci est soumis à trois actions mécaniques extérieures modélisées par les torseurs suivants :

$$\{T(3\to 4)\}=\begin{Bmatrix} X_C & L_C \\ Y_C & 0 \\ Z_C & N_C \end{Bmatrix}_{C,(\vec{x}_1,\vec{y}_3,\vec{z}_3)} \quad \{T(7\to 4)\}=\begin{Bmatrix} X_A & 0 \\ Y_A & 0 \\ Z_A & 0 \end{Bmatrix}_{A,(\vec{x}_1,\vec{y}_3,\vec{z}_3)} \quad \{T(6\to 4)\}=\begin{Bmatrix} X_B & 0 \\ Y_B & 0 \\ Z_B & 0 \end{Bmatrix}_{B,(\vec{x}_1,\vec{y}_3,\vec{z}_3)}$$

On pose $\omega_{i/j}$ la vitesse angulaire entre le solide i et le solide j et $\dot{\omega}_{i/j}$ son accélération angulaire.

Hypothèses :
- toutes les vitesses angulaires sont dérivables par rapport au temps ;
- le référentiel lié au véhicule **1** est galiléen.

Rappels : $\overrightarrow{OA}=r_4\vec{x}_1+r\vec{y}_3$ et $\overrightarrow{OB}=-r_4\vec{x}_1+r\vec{y}_3$

4.1. Énoncer le principe fondamental de la dynamique au point O appliqué au satellite **4** dans son mouvement par rapport au véhicule **1**.

4.2. À partir de la lecture de la matrice d'inertie du satellite **4**, définir le moment d'inertie de ce satellite par rapport à l'axe $(O,\vec{y}_3)$ noté $I_{(O,\vec{y}_3)}$.

4.3. Écrire les torseurs d'actions mécaniques extérieures au satellite **4** au point O. En déduire le moment résultant noté $\vec{M}_O(\overline{4}\to 4)$.

4.4. Soit $\vec{y}_3.\vec{\delta}_O(4/1)=B\dot{\omega}_{4/3}$ la projection du moment dynamique $\vec{\delta}_O(4/1)$ sur l'axe $(O,\vec{y}_3)$. Établir l'équation de moment dynamique sur l'axe $\vec{y}_3$, à savoir $\vec{y}_3.\vec{M}_O(\overline{4}\to 4)=\vec{y}_3.\vec{\delta}_O(4/1)$, et montrer que $-r_4Z_A+r_4Z_B=B\dot{\omega}_{4/3}$.

4.5. Conclure quant aux couples distribués sur chaque planétaire en régime uniforme.

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

5. Couple transmis aux roues par le différentiel FAM.

Matière d'œuvre : DT5, DR3.

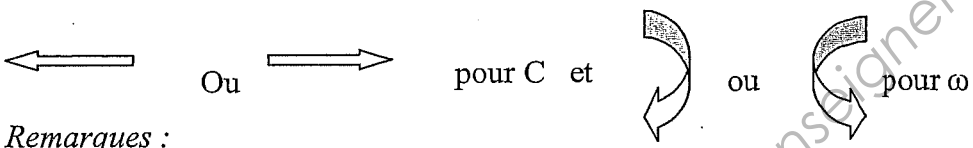
Domaine étudié : embrayage multi-disques.

Objectif : déterminer le couple résultant sur chaque roue selon les conditions d'adhérence.

On pose :

- CT = couple total transmis par le boîtier aux planétaires ;
- CF = couple de frottement exercé par l'embrayage ;
- CR6 = couple résistant exercé par le sol sur la roue liée au planétaire **6** ;
- CR7 = couple résistant exercé par le sol sur la roue liée au planétaire **7** ;
- CL = couple résultant exercé sur la roue lente ;
- CR = couple résultant exercé sur la roue rapide.

Rappel : un couple C exercé sur un arbre engendre un mouvement de rotation représenté graphiquement par la convention suivante :



Remarques :

- CT/2 représente le demi-couple total exercé par le différentiel sur chaque planétaire dans leur mouvement par rapport au véhicule **1** ;
- $\omega_{6/0}$ et $\omega_{7/0}$ sont les vitesses angulaires des roues liées respectivement aux planétaires **6** et **7** dans leur mouvement par rapport au sol **0**.
- L'embrayage est disposé sur le planétaire **6** (rappel).

Hypothèse :

- Le véhicule roule en ligne droite ;
- Un seul satellite figure sur le schéma à des fins simplificatrices.

Le document réponse **DR3** présente le train avant dans trois configurations :

- CR6 = CR7 : les deux roues avant sont dans les mêmes conditions d'adhérence et reçoivent de la part du sol le même couple résistant ;
- CR6 < CR7 : la roue gauche liée au planétaire **6** rencontre une adhérence défaillante et reçoit alors un couple résistant du sol moindre ;
- CR6 > CR7 : le phénomène précédent s'applique désormais sur la roue droite liée au planétaire **7**.

5.1. Compléter le document **DR3** sur lequel, dans les trois configurations citées, il est demandé de préciser :

- par une flèche courbe simple le sens de rotation des planétaires et du satellite ***par rapport au boîtier* 3** identifiant les vitesses angulaires $\omega_{4/3}$, $\omega_{6/3}$ et $\omega_{7/3}$;
- par une flèche rectiligne double le couple de frottement CF sur chaque planétaire ;
- comparer les vitesses angulaires $\omega_{6/0}$ et $\omega_{7/0}$ (=, > ou <) ;
- comparer le couple CF à 0 (= ou ≠) ;
- déterminer les couples résultants CL et CR sur chaque planétaire en fonction de CT/2 et CF, puis la différence CL – CR .

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

5.2. Si, à l'extrême, la roue dite « rapide » n'a plus aucune adhérence avec le sol (CR = 0 au passage d'un trou par exemple), quel couple le différentiel FAM peut-il alors transmettre à la roue adhérente ?

6. Couple de frottement.

Matière d'œuvre : DT3, DT5, DT7, DT8.

Domaine étudié : embrayage.

Objectif : calculer le couple de frottement.

On rappelle que le couple de frottement délivré par un embrayage multi-disques plan s'exprime par :

$CF = \frac{2}{3} nFf\left(\frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2}\right)$ avec :

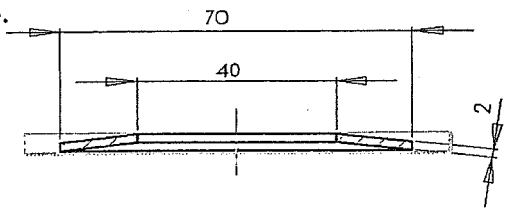
- $n = 8$: nombre de surfaces frottantes ;
- F = effort axial sur les disques ;
- f = facteur de frottement au contact disque de friction / disque acier ;
- R = rayon extérieur du disque de friction ;
- r = rayon intérieur du disque de friction.

On pose : $f = 0{,}20$, $R = 37$ mm, $r = 20$ mm

L'effort axial F est la conséquence d'une précontrainte F_0 obtenue par la rondelle Belleville à laquelle s'ajoute une charge axiale Fa consécutive à la denture conique du planétaire.
Ainsi : $F = F_O + Fa$

Détermination de la précontrainte F_0 :

La rondelle Belleville a les dimensions suivantes : D = 70, d = 40, e = 2
La flèche (ou écrasement) de la rondelle est : f = 0,4.
La hauteur à vide de la rondelle est : $h_0 = 3{,}9$.



6.1. Relever sur le document DT7 la valeur de la précontrainte F_0 pour une flèche f = 0,4.

6.2. En déduire alors la valeur du couple de frottement CF_0 consécutif à cette seule précontrainte F_0.

Détermination de la charge axiale Fa :

Pour vaincre le couple de frottement CF_0, le planétaire doit recevoir de la part des deux satellites un effort tangentiel F_t tel que : $F_t = \frac{CF_0}{2r_m}$ où r_m est le rayon moyen de la denture du planétaire sur lequel s'exerce la résultante de l'action mécanique du satellite sur le planétaire.

Base Nationale des sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

6.3. À partir du document **DT7**, calculer le rayon moyen r_m en rappelant (DT2) que :

b = 20, m = 4,65, $\alpha = 27°$, $\delta = 54°$ et $r = \frac{mZ}{2}$ rayon primitif.

6.4. Calculer alors l'effort tangentiel F_t ;

6.5. En déduire alors l'effort axial *Fa* exercé sur les disques de friction ;

6.6. Calculer le couple de frottement CF_a consécutif aux deux charges axiales F_a générées par les deux satellites en action sur le planétaire ;

6.7. Calculer alors le couple de frottement total $CF = CF_0 + CF_a$.

6.8. Soit $T\% = 100.\frac{2CF}{CT}$ le tarage du différentiel qui définit le pourcentage du blocage.

Le blocage va s'opérer si une roue perd de l'adhérence, auquel cas le couple s'effondre pendant que la vitesse de rotation atteint son maximum.

Relever sur le document **DT8** la valeur de couple moteur Cm obtenu au régime maximum.

6.9. Le rapport de réduction en 1ère est : $k_1 = 0,2895$;
Le rapport de réduction du pont est : $k_2 = 0,2639$;
Le rendement global de la boîte de vitesse est : $\eta = 0,8$.

Calculer alors le couple CT sur le boîtier de différentiel.

6.10. Calculer alors le tarage $T\%$ du différentiel FAM.

7. Conception du guidage en rotation.

Matière d'œuvre : DT8, DR4.

Domaine étudié : liaison différentiel – boîte.

Objectf : concevoir les fonctions « guidage en rotation » et « étanchéité ».

La fonction « guidage en rotation » du différentiel par rapport au châssis est assurée par deux roulements à rouleaux coniques montés en X tels que : d = 38, D = 63, T = 17.

La lubrification du différentiel est assurée par le lubrifiant de la boîte de vitesses. L'étanchéité du différentiel est assurée par deux joints à lèvre tels que :

- d = 40, D = 58, B = 10 pour le joint placé coté couronne ;
- d = 29, D = 47, B = 11 pour le joint opposé.

7.1. Établir aux instruments sur le document **DR4** la conception du guidage en rotation du différentiel par rapport au carter dont vous définirez les formes adaptées ;

7.2. Réaliser la fonction « étanchéité » du carter de différentiel à l'aide des deux joints à lèvres proposés qui seront représentés par leur symbolisation.
Il est demandé de veiller à leur bonne orientation en fonction du lubrifiant utilisé.

7.3. Établir la liaison encastrement entre le carter de tachymètre dont il faudra établir les formes et le carter de boîte.

Base Nationale des sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

DOSSIER RÉPONSES

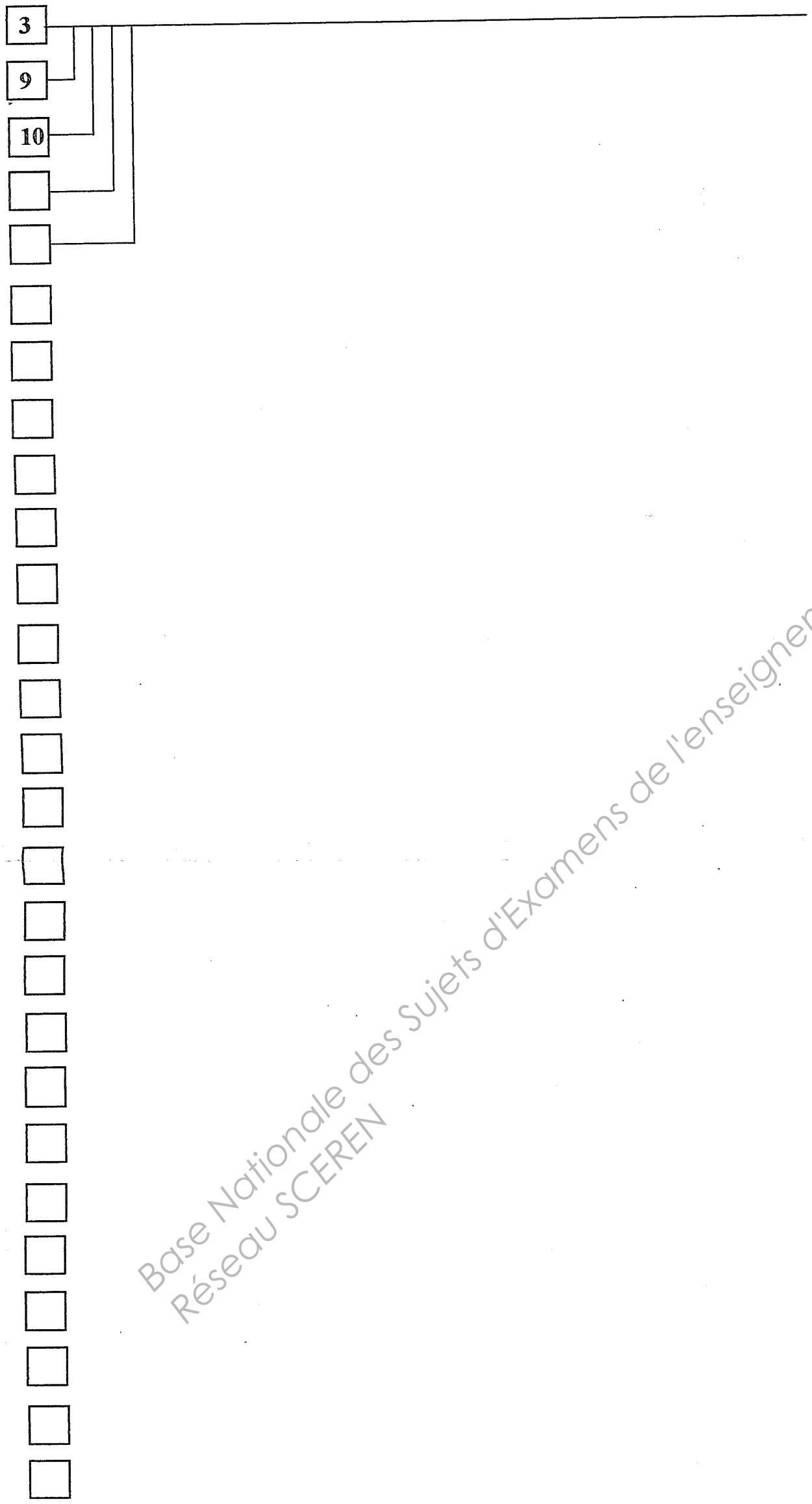
Ce dossier comprend 4 documents :

- DR1 : graphe de montage
- DR2 : schéma cinématique
- DR3 : couple résultant sur arbre de roue
- DR4 : conception « guidage en rotation » + « étanchéité ».

Tous les documents « réponses », même non remplis, doivent être rendus en fin d'épreuve.

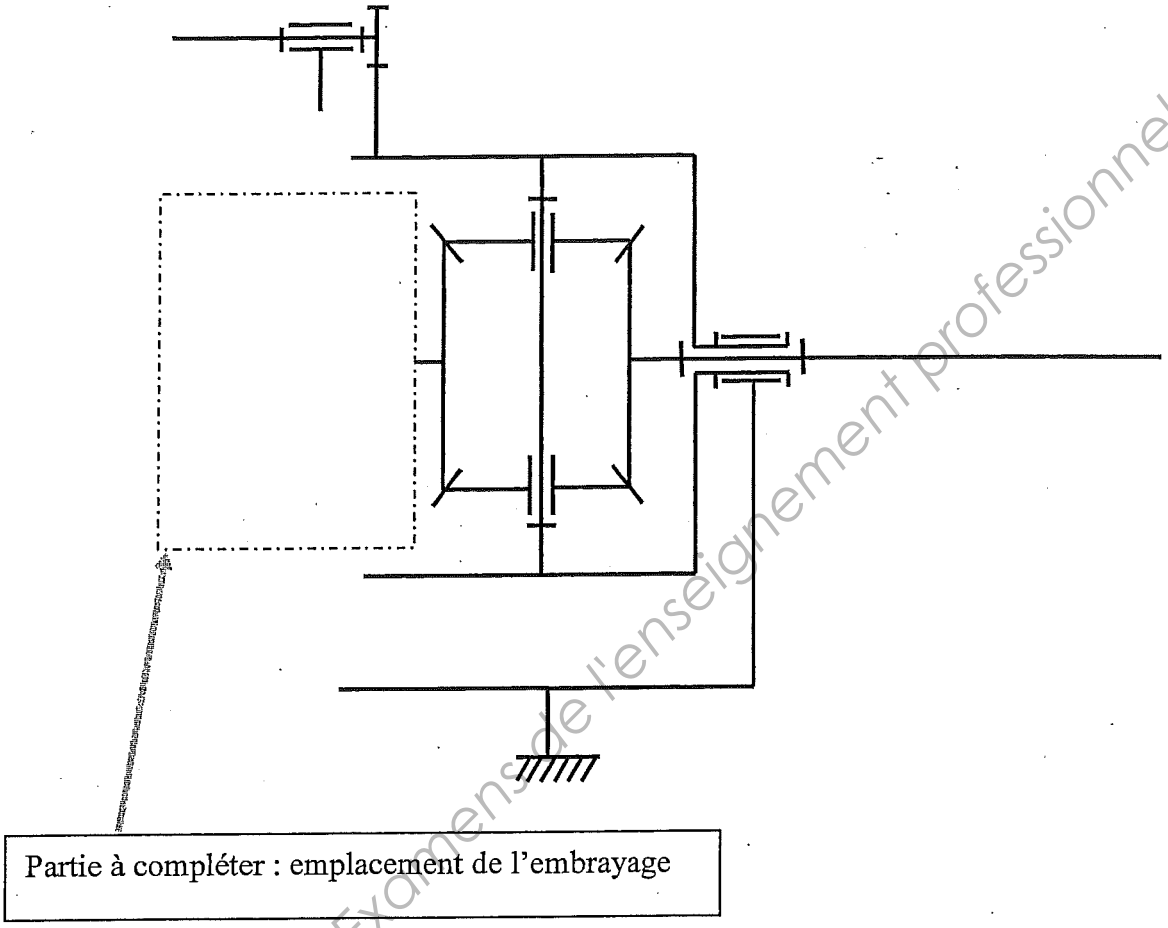
Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

Graphe de montage du différentiel à glissement limité :

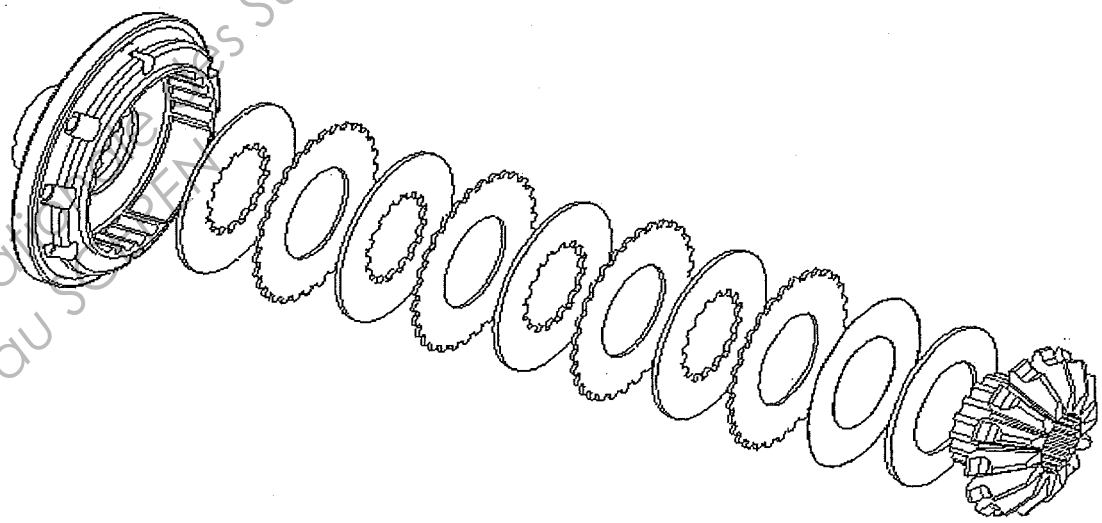


Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

Schéma cinématique minimal du différentiel FAM :



Rappel : vue éclatée de l'embrayage seul.

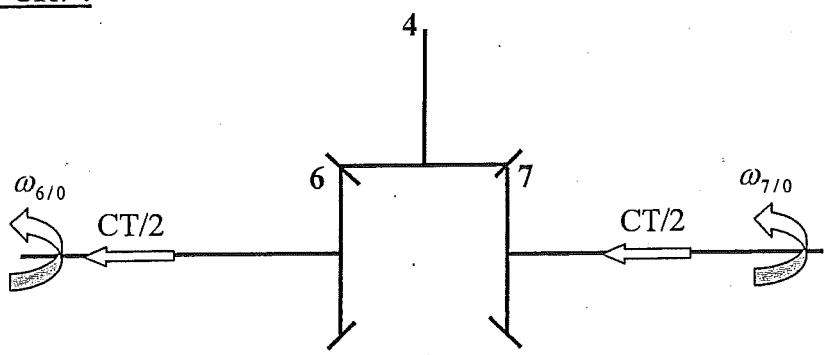


Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

DR2

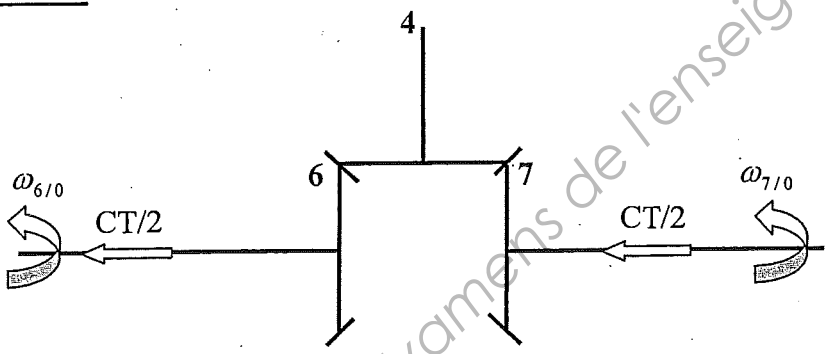
Détermination du couple résultant sur les roues motrices :

CR6 = CR7 :



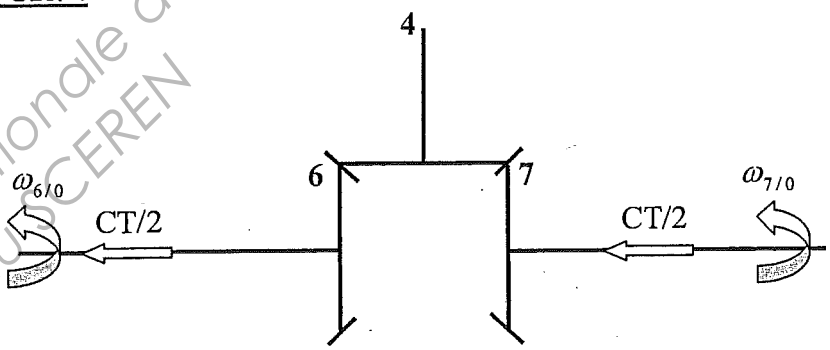
$\omega_{6/0}$ $\omega_{7/0}$	CF 0	CL =	CR =	CL – CR =

CR6 < CR7 :



$\omega_{6/0}$ $\omega_{7/0}$	CF 0	CL =	CR =	CL – CR =

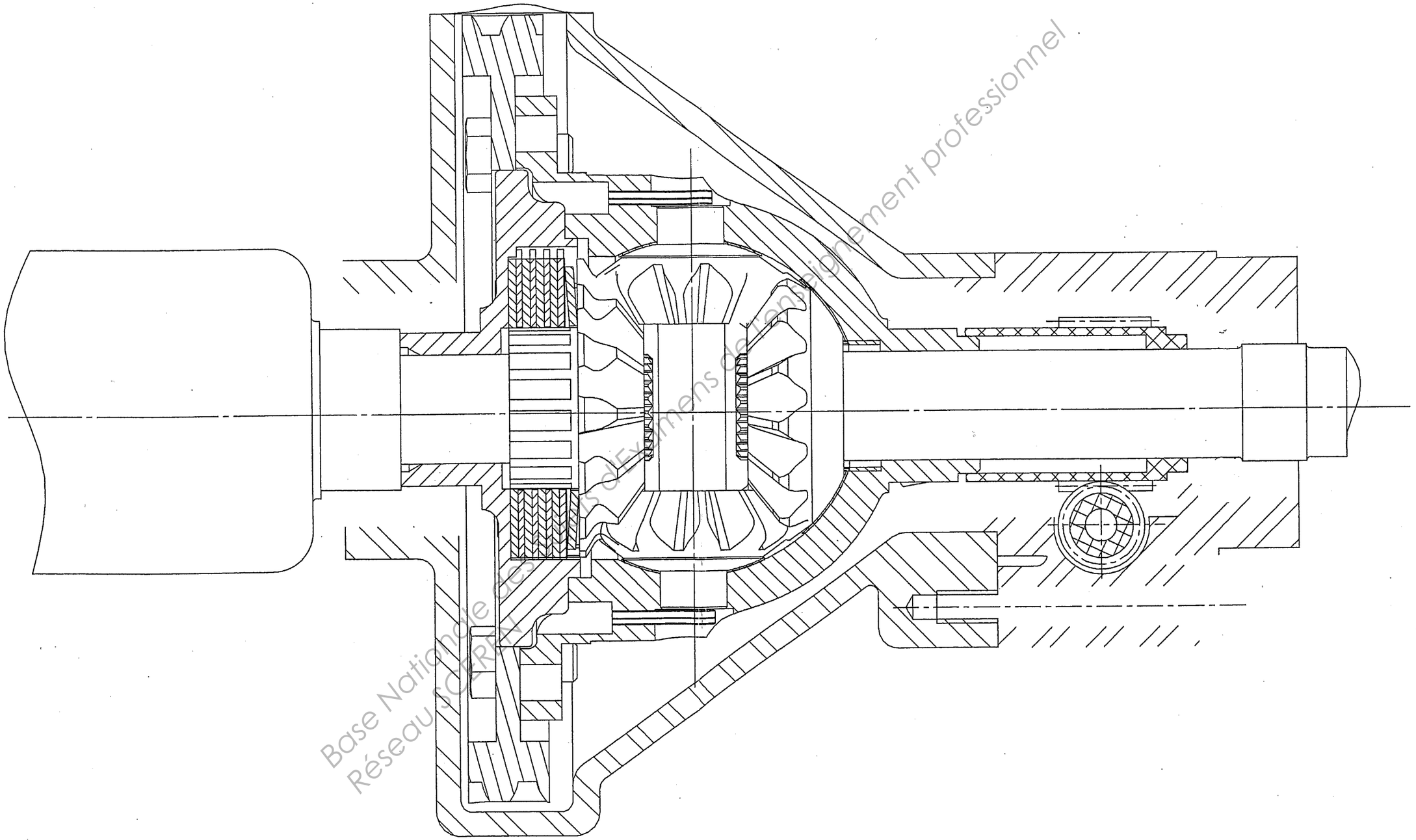
CR6 > CR7 :



$\omega_{6/0}$ $\omega_{7/0}$	CF 0	CL =	CR =	CL – CR =

DR3

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



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

Edition d'éducation de SolidWorks
Licence pour un usage éducatif uniquement

DR4

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.