

ÉTUDE D'UN SYSTÈME DE TRANSMISSION

1- Présentation

Le train avant est l'ensemble des organes mécaniques qui permettent de contrôler un véhicule. Il est situé dans la partie avant d'un véhicule et est composé, plus précisément, de : roues, moyeux, freins, organes de direction, essieu porte-fusée, suspensions, barre stabilisatrice (**Figure 1**). Selon les spécialistes l'une des plus grandes difficultés de la conduite automobile est de pouvoir le contrôler en appréciant correctement sa vitesse.

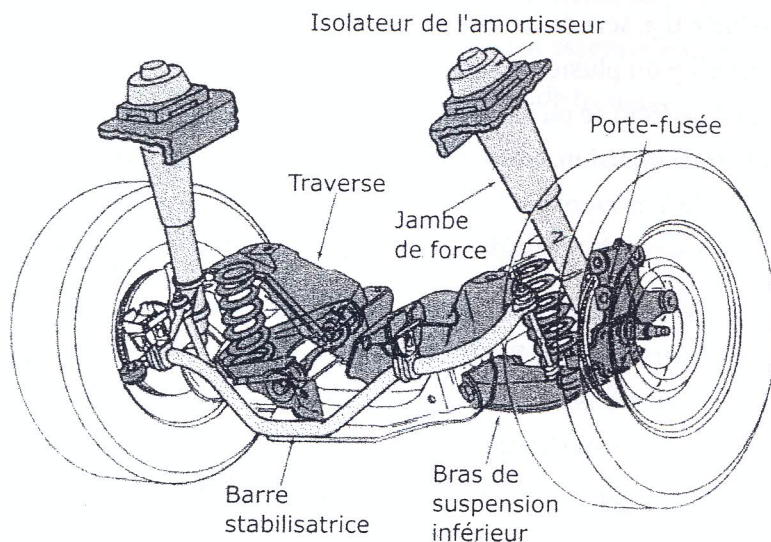


Figure. 1 - Train avant d'un véhicule

2-Mise en situation

Pour ralentir ou immobiliser un véhicule en toute circonstance, il faut dissiper partiellement ou intégralement son énergie cinétique, en chaleur, à travers le système de freinage. L'énergie calorifique générée provient du contact entre les éléments tournant (1) et les éléments fixes (2) du véhicule (**Figure 2**). Les véhicules de tourisme sont généralement équipés de freins à disques à l'avant et de freins à disques ou à tambours à l'arrière.

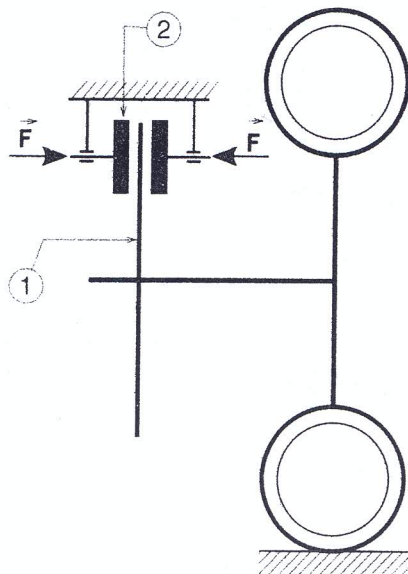


Figure. 2 - Schéma de principe de freinage

3-Fonctionnement

Le système de freinage est généralement fixé sur le châssis et est essentiellement composé d'un étrier, d'un disque, de deux plaquettes et d'un circuit hydraulique de freinage (DT-06).

Le circuit hydraulique est équipé d'un dispositif d'assistance de freinage et d'un maître-cylindre. Le dispositif d'assistance de freinage a pour but d'amplifier l'effort exercé par le conducteur sur la pédale de frein. Le maître-cylindre, qui commande les étriers, reçoit la force issue du dispositif d'assistance de freinage et la transforme en pression hydraulique dans tout le circuit de freinage. Cette montée en pression est progressive car elle dépend de l'effort du conducteur sur la pédale.

L'étrier, en forme de « U », sert de support aux plaquettes ; il coiffe le disque sans le toucher et, en son sein, il renferme un ou plusieurs pistons reliés au circuit hydraulique de freinage. Lorsqu'on appuie sur la pédale de frein, le ou les pistons placés de part et d'autre du disque lié à la roue, sont poussés par l'huile sous pression. Leurs mouvements latéraux poussent les plaquettes qui pincent fortement le disque. Ceci provoque un frottement plus ou moins prononcé selon l'effort exercé sur la pédale de frein et permet de transformer l'énergie cinétique du véhicule en énergie calorifique.

Il existe deux types d'étriers de frein, les étriers fixes et les étriers flottants (coulissants) (Figure 3). Dans le cas des étriers de frein fixes, les plaquettes de frein sont poussées contre le disque à l'aide d'un ou plusieurs pistons situés de part et d'autre du disque. Généralement les étriers fixes sont utilisés sur les voitures performantes. Les étriers de frein flottants sont en liaison glissière ou pivot avec un support solide du châssis. Seule la plaquette intérieure est poussée contre le disque par un ou plusieurs pistons. La plaquette extérieure subit la pression grâce au système mobile reliant les deux plaquettes. L'étrier de frein flottant est le système le plus répandu.

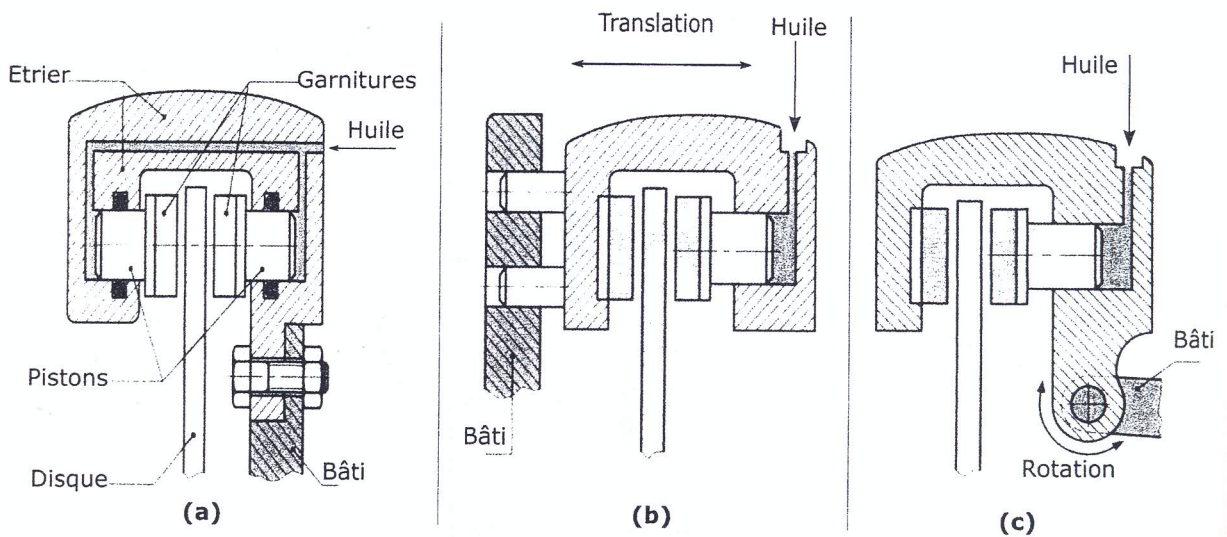


Figure. 3 –
 (a) Frein à disque à deux pistons et étrier fixe,
 (b) Étrier mobile – Cas .1
 (c) Étrier mobile – Cas .2

4- Données et hypothèses

Partie -A : Conception Mécanique

Cette partie se rapporte à l'analyse fonctionnelle du système de freinage et l'analyse technologique du train avant du véhicule. Elle s'appuie sur les documents techniques (DT-01, 02, 03, 04, 05, 06 et 07).

A.1- Analyse Fonctionnelle

L'analyse fonctionnelle porte sur la fonction principale du système de freinage de la roue avant du véhicule. Ce système est fixé sur le châssis du véhicule, et est essentiellement composé d'un étrier, d'un disque, de deux plaquettes et d'un circuit hydraulique de freinage.

A.2- Étude Technologique

Dans cette partie, le candidat est appelé à répondre sur le document réponses, en s'appuyant sur le document DT-07.

A.3- Transmission de puissance

Dans cette partie, l'étude portera sur un véhicule de tourisme roulant sur une chaussée horizontale à une vitesse constante $v = 108 \text{ km/h}$. Les énergies cinétiques des éléments seront négligées par rapport à l'énergie cinétique de translation. On suppose que les caractéristiques suivantes sont constantes :

- Masse du véhicule : $M = 1500 \text{ kg}$
- Rayon de la roue : $R_r = 20 \text{ cm}$
- Coefficient d'adhérence roue/chaussée : $f_r = 0.5$
- Les rayons ($R = 12 \text{ cm}$; $r = 7.7 \text{ cm}$) de la position de la garniture des plaquettes de frein.
- Coefficient de frottement plaquettes/disque : $f_f = 0.3$
- L'accélération de la pesanteur $g = 9.81 \text{ m.s}^{-2}$
- Pression de contact de la garniture sur le disque : p_c . On suppose que p_c est uniforme
- On suppose que, pendant le freinage du véhicule roulant, la répartition de la force de freinage sur les 4 roues est uniforme. Le couple de freinage est assuré par le frottement des garnitures des deux plaquettes sur le disque. La **Figure 4** représente un modèle de contact disque / garniture de frein ; on note :
 - dN : l'effort normal élémentaire exercé par la garniture d'une plaquette de frein sur l'élément de surface du disque
 - dT : l'effort tangentiel élémentaire de la garniture sur l'élément de surface du disque, engendré au rayon ρ .
 - dC_f : le couple de freinage élémentaire par rapport à l'axe de la roue, engendré entre la garniture et le disque.

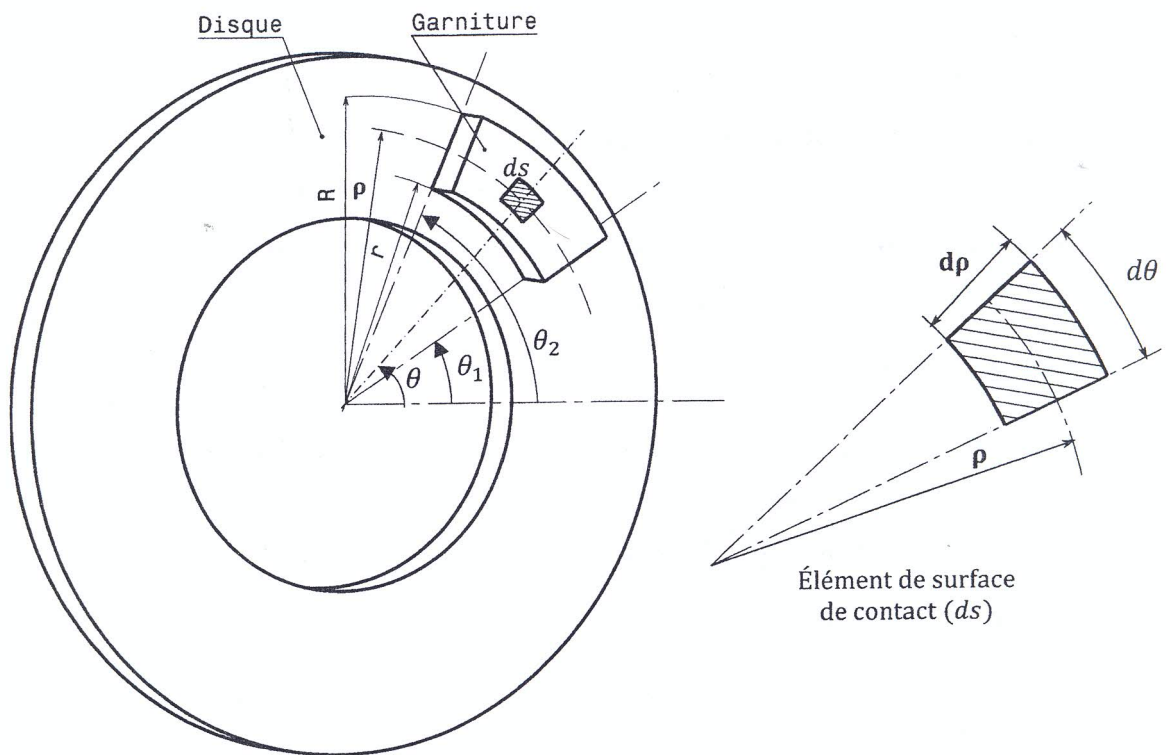


Figure. 4 – Contact disque / garniture de frein

A.4- Analyse de système mécanique

Pour améliorer le système de freinage, le concepteur propose d'installer un étrier mobile sur chaque roue, en se basant sur le schéma cinématique présenté en situation de freinage (**Figure 5**). En effet, dans ce cas d'étude, on suppose que :

- Les pistons (68) et (71) sont éliminés et la plaquette extérieure (69) devient solidaire à l'étrier (15),
- Les pistons (75) et (78) sont substitués par le seul piston (78).

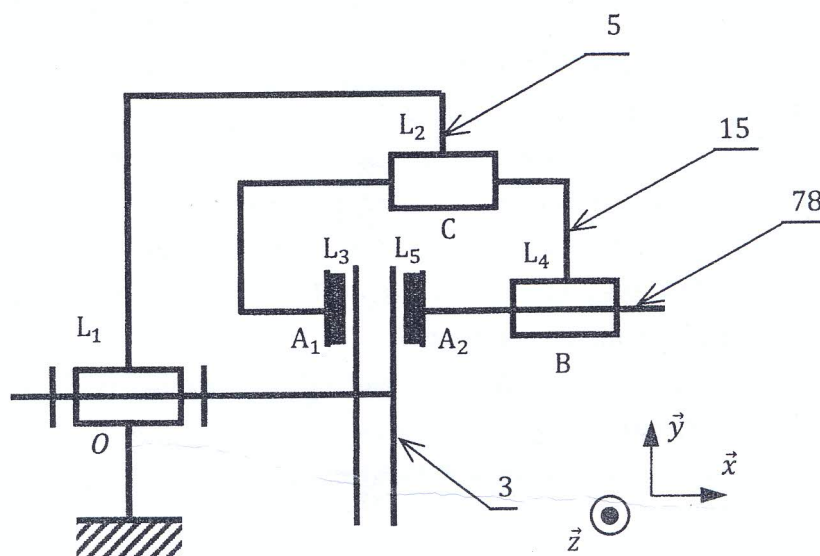


Figure. 5 –Schéma cinématique minimal du sous-système de freinage

On associe au châssis, le repère orthonormé direct $R(O, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$. On suppose que les liaisons sont parfaites, sans jeu et les solides en contact sont indéformables. On donne les centres des différentes liaisons :

$$L_1(O, \vec{x}) ; L_2(C, \vec{x}) ; L_3(A_1, \vec{x}) ; L_4(B, \vec{x}) ; L_5(A_2, \vec{x})$$

$$O(0,0,0) ; A_1(a_1, b, 0) ; A_2(a_2, b, 0) ; B(a_3, b, 0) ; C(c_1, c_2, 0)$$

A.5- Représentation Graphique

En s'appuyant sur le schéma cinématique de la **Figure 5**, le concepteur propose d'installer un étrier mobile au lieu de l'étrier fixe. Les modifications seront portées sur le dessin d'ensemble du sous-système du document réponses (Question **A-33**, pages 10-11/20).

Partie B : Fabrication Mécanique

Cette partie est dédiée à l'étude de fabrication du boîtier de roulement (5) et du cache-moyeu (12) présentés dans les documents DT- 01 et DT-02. Les spécifications dimensionnelles et géométriques associées au boîtier de roulement (5) sont présentées dans les documents techniques DT-08 et DT-09.

B.1- Élaboration du brut

L'objectif de cette partie est de modéliser un outillage de fonderie permettant la réalisation du boîtier de roulement (5) par le procédé de moulage en sable.

Le boîtier est réalisé en série renouvelable de 1000 pièces /an pendant 5 ans. La durée de vie souhaitée pour l'outillage est de 5 ans. Le matériau utilisé pour le moulage est le GC 45 ayant un coefficient de retrait de 2 %. Le moulage est réalisé avec une surépaisseur d'usinage de 2 mm.

Les surfaces à usiner sont numérotées comme le mentionne les documents DT-08 et DT-09 :

- de C1 à C15 pour les surfaces cylindriques,
- de P1 à P11 pour les surfaces planes,
- de Ch1 à Ch5 pour les chanfreins,
- de B1 à B3 pour les surfaces brutes.

B.2- Commande Numérique

Le boîtier de roulement (5) est repris pour effectuer des opérations complémentaires d'usinage sur des machines à commande numérique. Une analyse du dessin de définition de ce boîtier a permis au bureau des méthodes d'établir le processus de fabrication suivant :

◆ Phase 10 :	Contrôle du brut
◆ Phase 20 :	Tournage commande numérique des surfaces (P1, C11, P2, Ch1, C1, P3, Ch2, C2, P5, Ch3, C3, P6 et P4)
◆ Phase 30 :	Tournage commande numérique des surfaces (C6, P10, C7, C8, P11, P9, Ch5, C5, P8, Ch4, C4 et P7)
◆ Phase 40 :	Fraisage Commande numérique des surfaces (C9, C10, C12, C13, C14 et C15)
◆ Phase 50 :	Contrôle final

L'usinage du boîtier (5) se fait par finition directe.

B.3. Élaboration des pièces par déformation plastique

L'objectif de cette partie est de produire 1000 cache-moyeux (12) par an pendant 5 ans par découpage sur une presse à partir des tôles d'épaisseur e , suivi d'une opération de mise en forme par emboutissage.

B.3-1 Effort d'emboutissage

L'effort d'emboutissage est calculé en utilisant la relation suivante :

$F_{emb} = K \cdot \pi \cdot d \cdot e \cdot R_m$

F_{emb} : Effort d'emboutissage (N)
 d : Diamètre du poinçon (mm)
 R_m : Résistance à la rupture par extension (MPa)
 e : Épaisseur de la tôle (mm)
 K : Coefficient de réduction en fonction du rapport des diamètres
 D_f : Diamètre du flan

(1)

$\frac{d}{D_f}$	0.55	0.63	0.7	0.75	0.8
K	1	0.80	0.6	0.5	0.4

B.3-2 Détermination du diamètre de flan

Le flan est une plaque circulaire de diamètre D_f . Les calculs s'effectuent en considérant une épaisseur constante de la tôle ; le flan et l'embouti doivent avoir la même surface ($S = S_m$). Partant de l'égalité des surfaces de l'embouti et du flan, on obtient :

$S = S_m = \frac{\pi \cdot D_f^2}{4}$

S : Surface du flan
 S_m : Surface de l'embouti
 D_f : Diamètre du flan

(2)

Si l'embouti cylindrique possède une forme complexe, on pourra utiliser deux méthodes :

Méthode 1 :

Décomposition de l'embouti en plusieurs surfaces élémentaires $S_1, S_2, \dots, S_n$ dont la somme étant la surface totale de l'embouti :

$$S = \frac{\pi D_f^2}{4} = S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_n = \sum_{i=1}^n S_i \Rightarrow D_f = \sqrt{\frac{4}{\pi} \sum_{i=1}^n S_i} \quad (3)$$

Méthode 2 :

Utilisation du théorème de Guldin par le calcul analytique :

$$S = \frac{\pi D_f^2}{4} = \pi r_f^2 = 2\pi \left(\sum_{i=1}^n L_i \cdot X_{gi} \right) \quad (4)$$

L_i : longueur d'un élément simple

X_{gi} : distance du centre de gravité par rapport à l'axe de révolution

RÉPUBLIQUE TUNISIENNE

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique

Concours Nationaux d'Entrée
aux Cycles de Formation d'Ingénieurs
Session 2018



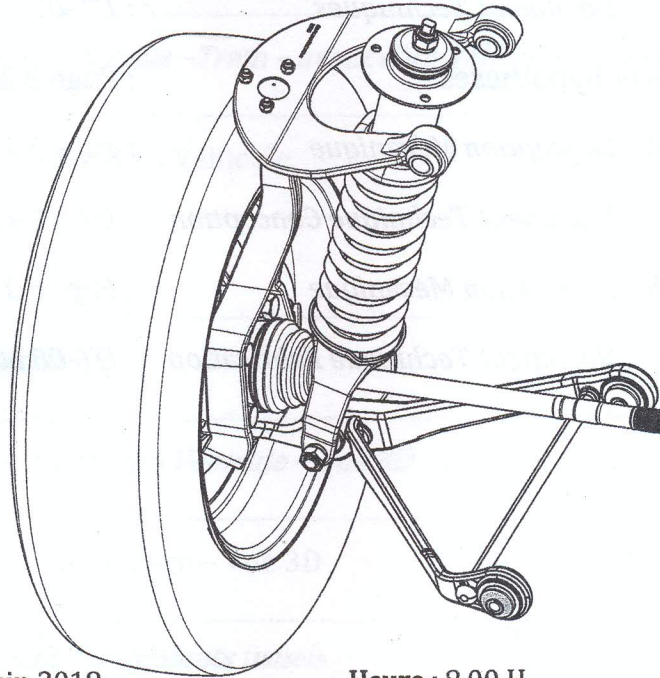
الجمهورية التونسية

وزارة التعليم العالي
والبحوث العلمي

المنافسات الوطنية للدخول الى مراحل تكوين المهندسين
دورة 2018

Concours Technologie

Épreuve de
Conception & Fabrication Mécanique



Date : Mercredi 06 Juin 2018

Heure : 8.00 H

Durée : 4 Heures

L'épreuve comporte deux parties :

- A- Conception Mécanique (12 pts)
- B- Fabrication Mécanique (08 pts)

Le sujet de l'épreuve remis au candidat comporte trois dossiers :

- 1- Mise en situation, Données et Hypothèses
- 2- Documents Techniques (DT-01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09)
- 3- Document Réponses

Important :

- Aucun autre document n'est autorisé.
- Seules les calculatrices de poche non programmables sont autorisées.
- Il n'est fourni au candidat qu'une seule et unique copie du «Dossier document réponses» qui doit être rendu en totalité, à la fin de l'épreuve, même sans réponses.
- Le document réponses doit être rendu en intégralité (aucune feuille ne doit être supprimée). Cet acte est considéré comme étant une tentative de fraude.

Dossier

Mise en situation, Données et Hypothèses

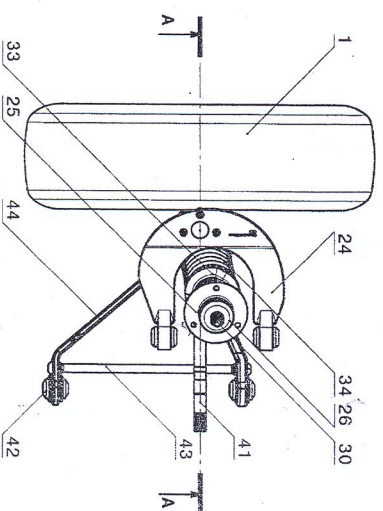
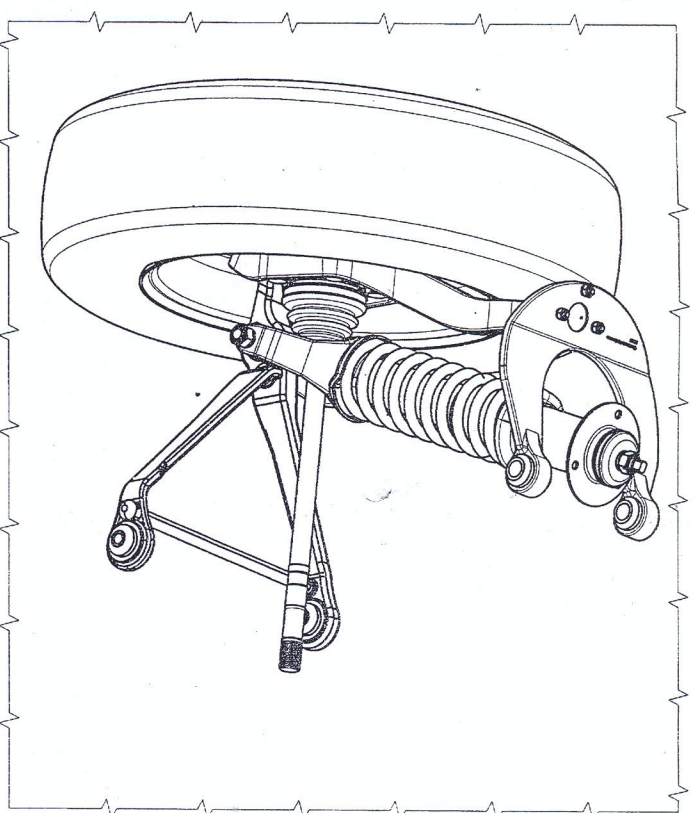
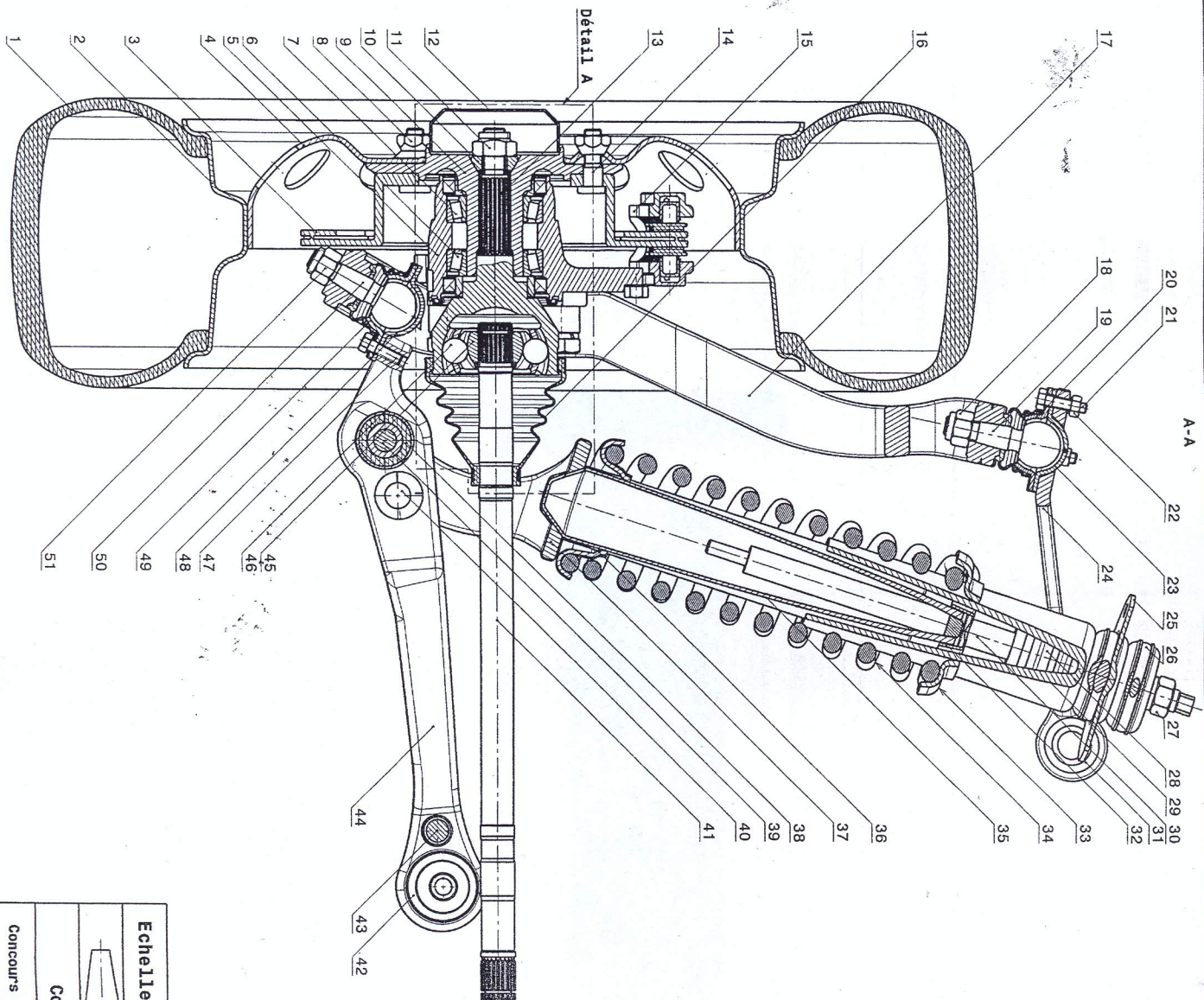
Ce dossier comporte 8 pages numérotées de 1 à 8 et neuf documents techniques DT-01 à DT-09

- ◆ **Mise en situation** : Page 1 et 2
 - Document Techniques* : DT-01 à DT-09
- ◆ **Données et hypothèses** : Page 3 à 8
 - ★ *A- Conception Mécanique* : Page 3 à 5
 - Document Technique Conception* : DT-01 à DT-07
 - ★ *B- Fabrication Mécanique* : Page 6 à 8
 - Document Technique Fabrication* : DT-08 et DT-09

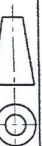
Documents Techniques

Ce dossier comporte **9** documents techniques numérotés
de **DT-01** à **DT-09**

DT-01	Dessin d'Ensemble –Train – avant d'un Véhicule	Coupe A-A	
DT-02	Train – avant d'un Véhicule	Détail A	
DT-03	Frein	Coupe B-B	Détail B
DT-04	Nomenclature	Rep. de 1 à 79	
DT-05	Train – avant d'un Véhicule – Vue 3D		
DT-06	Système de freinage – Vue 3D	Détail C	Détail D
DT-07	Document Ajustements usuels Tolérances géométriques – ISO 1101		
DT-08	Boîtier de roulement –Repère (5)- Cotation	Coupe E-E	Détail E
DT-09	Boîtier de roulement - Repère (5) - Surfaces	Coupe E-E	Détail E Détail F



Echelle 8:25



Train - Avant
d'un Véhicule

Session 2018

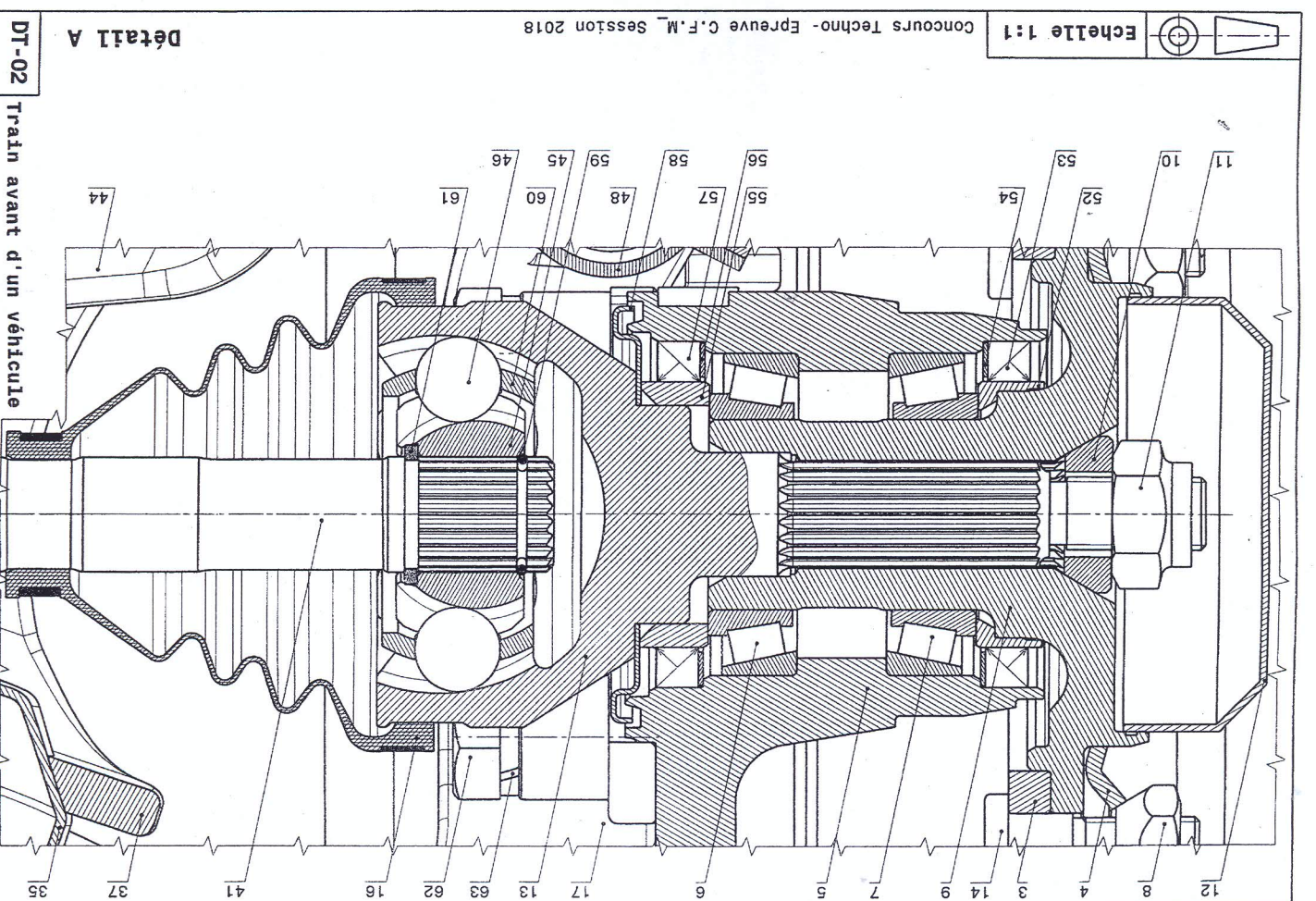
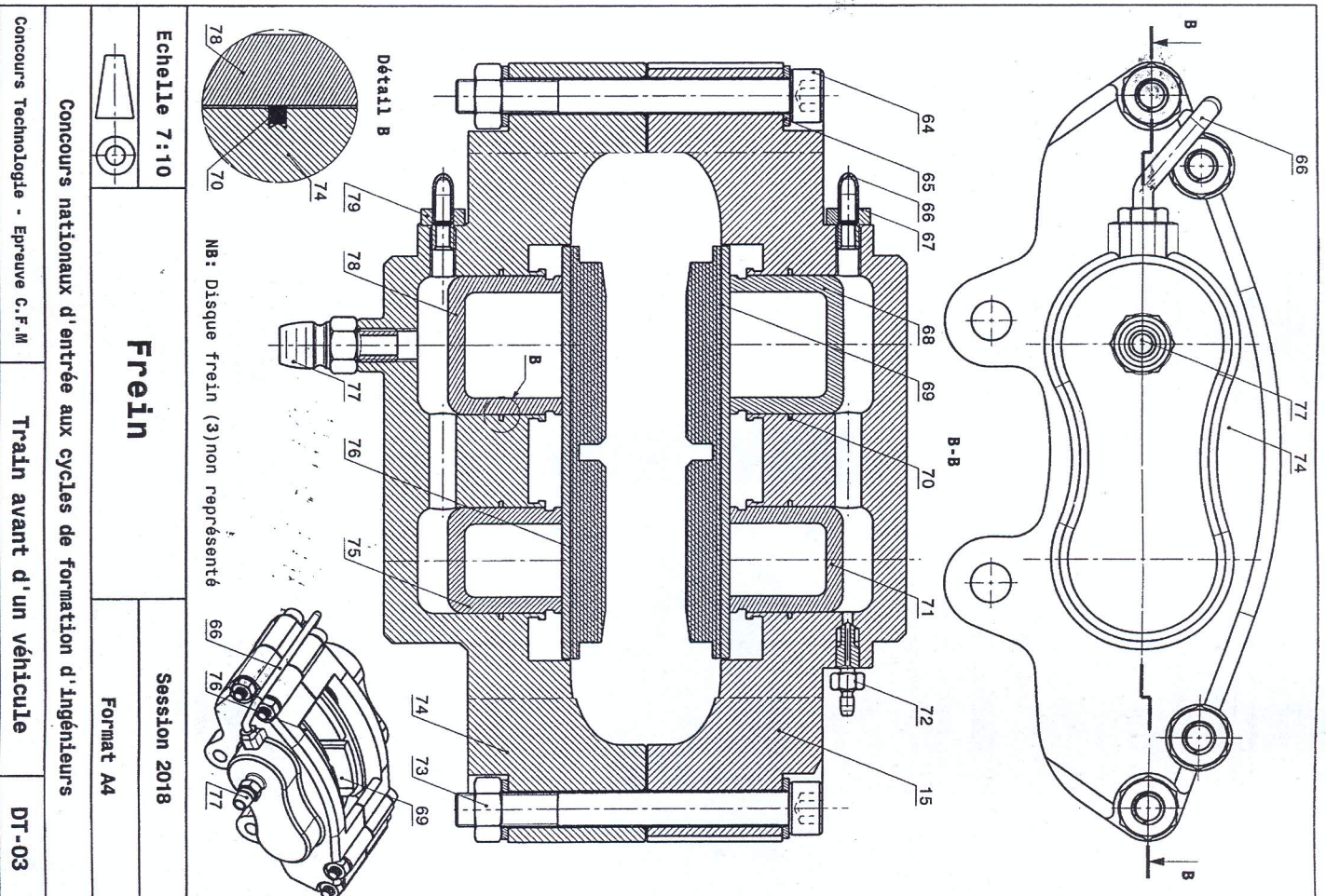
Format A3

Concours nationaux d'entrée aux cycles de formation d'ingénieurs

Concours Techno - Epreuve C.F.M

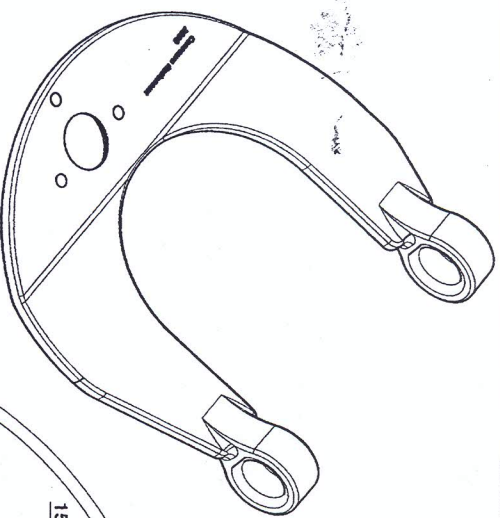
Train Avant d'un Véhicule

DT-01

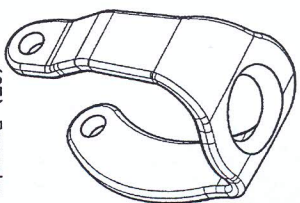


Concours technologiques - Epreuve C.F.M					
Rep	Nbre	Désignation	Matériaux	Obs.	
39	1	Axe			
38	1	Silent bloc			
37	1	Fourche			
36	1	Isolateur inférieur de ressort			
35	1	Amortisseur			
34	1	Ressort hélicoïdal			
33	1	Montant			
32	1	Butée			
31	2	Silent bloc			
30	1	Amortisseur			
29	1	Corps de l'amortisseur			
28	1	Butée attaque supérieure			
27	1	Erou			Standard
26	1	Support	Caoutchouc		
25	1	Palier de fixation (Coupelle)			
24	1	Bras de suspension supérieur			
23	1	Cache-rotule supérieure			
22	1	Erou			Standard
21	1	Vis			Standard
20	1	Cache-rotule inférieure			
19	1	Rotule de suspension supérieure			
18	1	Erou			Standard
17	1	Porte-fusée de direction			
16	1	Soufflet	Caoutchouc		
15	1	Etrier du frein à disque- Partie extérieure	Fonte		
14	5	Vis	Acier		Standard
13	1	Fusée de roue	Acier		
12	1	Cache-moyeu	Tôle noire		
11	4	Erou haute température	Acier		Standard
10	4	Rondelle à portée conique	Acier		Standard
9	1	Moyeu	Acier		
8	5	Erou conique	Acier		
7	1	Roulement à rouleaux coniques			Standard
6	1	Roulement à rouleaux coniques			Standard
5	1	Boitier de roulements	GC45		
4	1	Jante	Acier		
3	1	Disque de frein			
2	1	Voile de roue	Acier		
1	1	Pneumatique	Caoutchouc		
Rep	Nbre	Désignation	Matériaux	Obs.	
Concours nationaux d'entrée aux cycles de formation d'ingénieurs					
		Train Avant d'un Véhicule	Session 2018	DT-04	

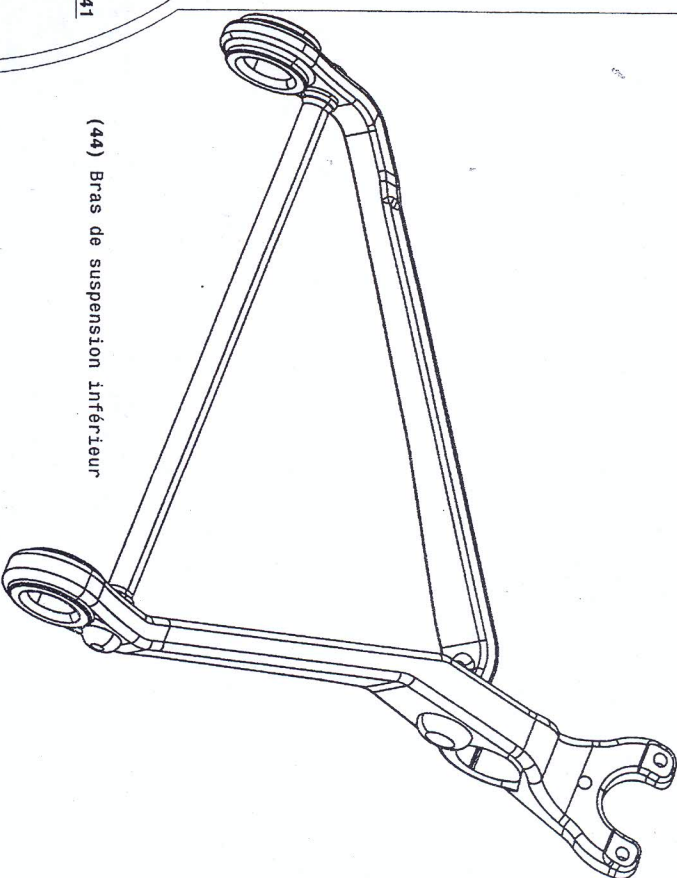
Concours technologiques - Epreuve C.F.M					
Rep	Nbre	Désignation	Matériaux	Obs.	
79	1	Raccord de canalisation			
78	1	Piston grand diamètre			
77	1	Raccord d'alimentation d'huile			
76	2	Plaquette de frein intérieure			
75	1	Piston petit diamètre			
74	1	Etrier de frein à disque - Partie intérieure			
73	4	Erou			Standard
72	1	Purgeur			
71	1	Piston petit diamètre			
70	4	Joint			
69	2	Plaquette de frein extérieure			
68	1	Piston grand diamètre			
67	1	Raccord de canalisation			
66	1	Canalisation du circuit hydraulique			
65	8	Rondelle plate			Standard
64	4	Vis CHC			Standard
63	4	Rondelle frein			Standard
62	4	Vis			Standard
61	1	Cale élastique			
60	1				
59	1				Standard
58	1				
57	1	Joint à 2 lèvres			Standard
56	1				
55	1	Bague d'appui de roulements			
54	1				
53	1	Joint à 2 lèvres			Standard
52	1				
51	1	Erou			Standard
50	1	Rotule			
49	1	Cache-rotule inférieure			
48	1	Cache-rotule supérieure			
47	1	Vis			Standard
46	6	Bille			
45	1	Noix			
44	1	Bras de suspension inférieure			
43	1	Tige de triangle			
42	2	Silent bloc			
41	1	Arbre de transmission			
Rep	Nbre	Désignation	Matériaux	Obs.	
Concours nationaux d'entrée aux cycles de formation d'ingénieurs					
		Train Avant d'un Véhicule	Session 2018	DT-04	



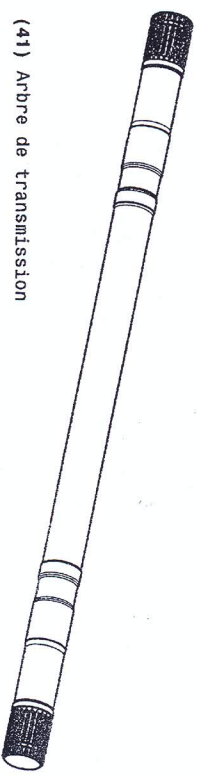
(24) Bras de suspension supérieur



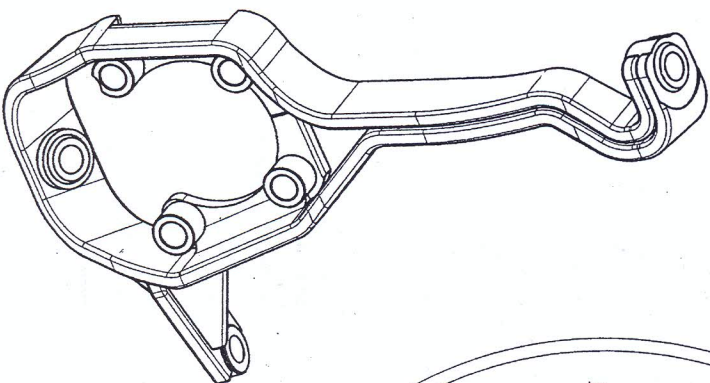
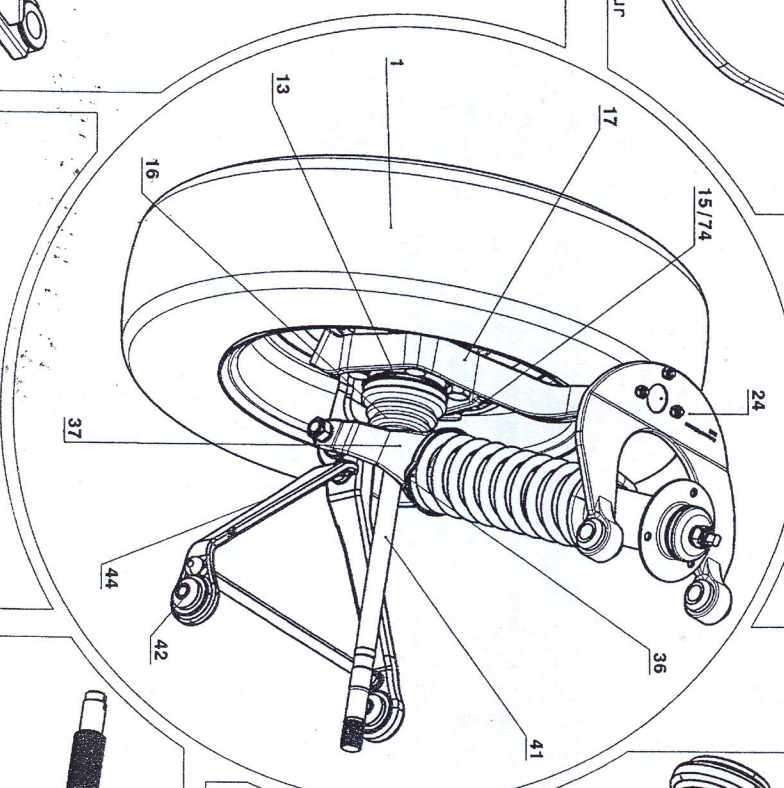
(37) Fourche



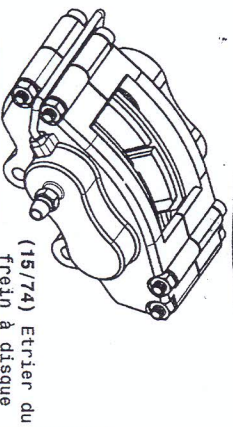
(44) Bras de suspension inférieur



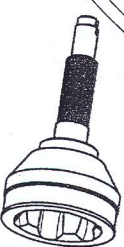
(41) Arbre de transmission



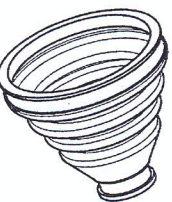
(17) Porte-fusée de direction



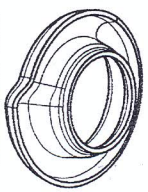
(15/74) Etrier du frein à disque



(13) Fusée de roue



(16) Soufflet



(36) Isolateur inférieur du ressort

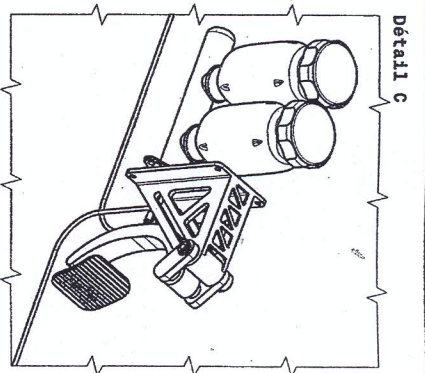


(42) Silent bloc

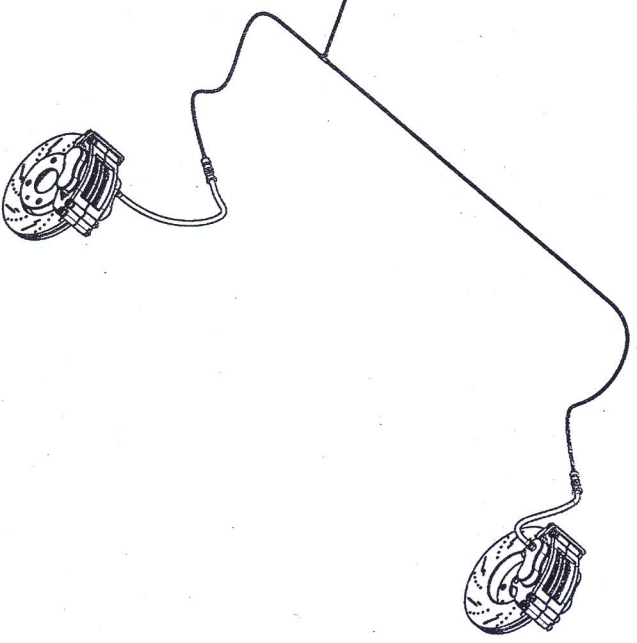
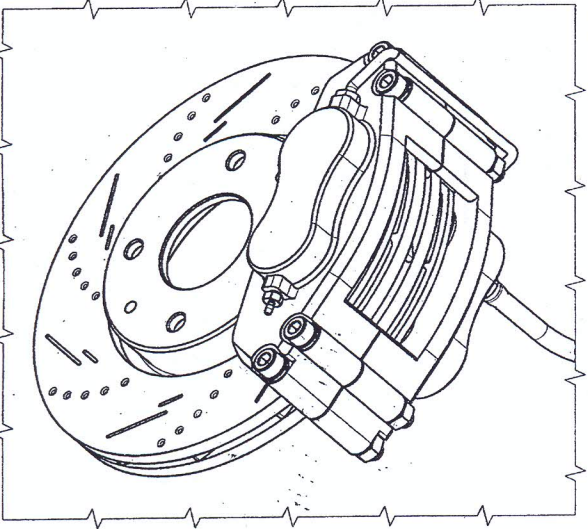
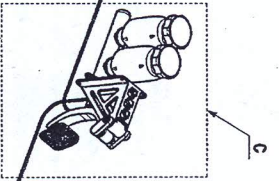
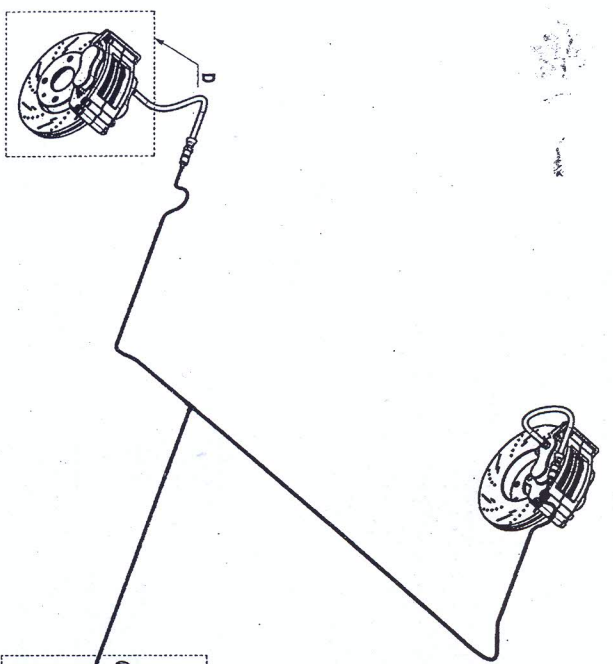
Echelle 8:25	Train - Avant d'un Véhicule		Session 2018 Format A3
---------------------	---	--	--------------------------------------

Concours nationaux d'entrée aux cycles de formation d'ingénieurs

Concours Techno - Epreuve C.F.M Train Avant d'un Véhicule DT-05



Maître-cylindre



Echelle 1:12

Système de freinage

Session 2018

Format A3

Concours nationaux d'entrée aux cycles de formation d'ingénieurs

Concours Techno - Epreuve C.F.M

Train Avant d'un Véhicule

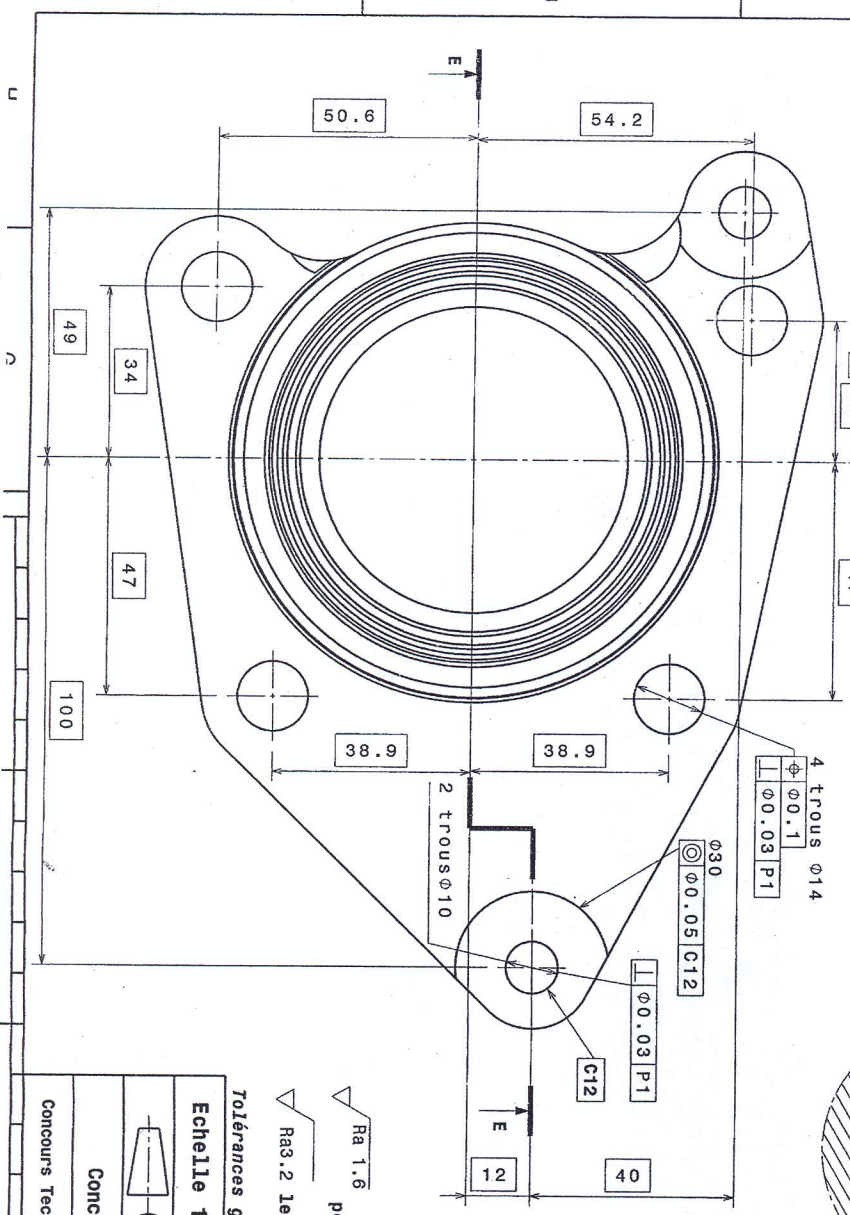
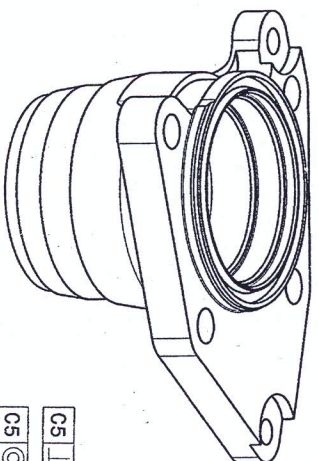
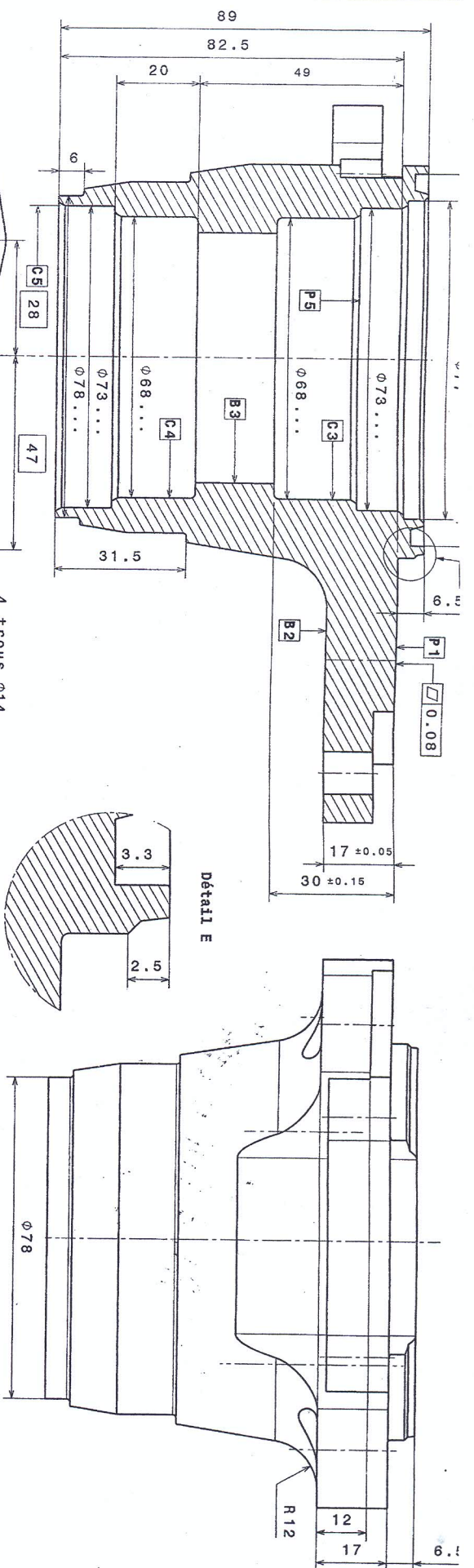
DT-06

Alignements usuels des roulements (fabriquants)									
particularités de la charge	roulements à billes (tous)			roulements à rouleaux coniques			roulements à aiguilles		
	$d \leq 100$	$100 < d \leq 200$	$d \leq 40$	$40 < d \leq 100$	$100 < d \leq 200$	$d \leq 120$	$120 < d \leq 180$	$180 < d \leq 250$	roulements à aiguilles sans bague intérieure
	$d \leq 100$	$100 < d \leq 200$	$d \leq 40$	$40 < d \leq 100$	$100 < d \leq 200$	$d \leq 120$	$120 < d \leq 180$	$180 < d \leq 250$	
tolérance des arbres	charge tournante par rapport à la bague intérieure			charge fixe par rapport à la bague intérieure			charge fixe par rapport à la bague extérieure		
	faible $\frac{C}{P} > 10$	normale $5 < \frac{C}{P} \leq 10$	forte $\frac{C}{P} \leq 5$	faible $\frac{C}{P} > 10$	normale $5 < \frac{C}{P} \leq 10$	forte $\frac{C}{P} \leq 5$	faible $\frac{C}{P} > 10$	normale $5 < \frac{C}{P} \leq 10$	forte $\frac{C}{P} \leq 5$
	j6	k6	j6	k6	m6	p6	m6	n6	p6
	k6	m6	k6	m6	p6	r6	n6	p6	r6
tolérance des arbres	charge fixe par rapport à la bague intérieure			charge fixe par rapport à la bague intérieure			charge fixe par rapport à la bague extérieure		
	faible $\frac{C}{P} > 10$	normale $5 < \frac{C}{P} \leq 10$	forte $\frac{C}{P} \leq 5$	faible $\frac{C}{P} > 10$	normale $5 < \frac{C}{P} \leq 10$	forte $\frac{C}{P} \leq 5$	faible $\frac{C}{P} > 10$	normale $5 < \frac{C}{P} \leq 10$	forte $\frac{C}{P} \leq 5$
	j6	k6	j6	k6	m6	p6	m6	n6	p6
	k6	m6	k6	m6	p6	r6	n6	p6	r6
tolérance des arbres	charge fixe par rapport à la bague intérieure			charge fixe par rapport à la bague intérieure			charge fixe par rapport à la bague extérieure		
	faible $\frac{C}{P} > 10$	normale $5 < \frac{C}{P} \leq 10$	forte $\frac{C}{P} \leq 5$	faible $\frac{C}{P} > 10$	normale $5 < \frac{C}{P} \leq 10$	forte $\frac{C}{P} \leq 5$	faible $\frac{C}{P} > 10$	normale $5 < \frac{C}{P} \leq 10$	forte $\frac{C}{P} \leq 5$
	j6	k6	j6	k6	m6	p6	m6	n6	p6
	k6	m6	k6	m6	p6	r6	n6	p6	r6
tolérance des arbres	charge fixe par rapport à la bague intérieure			charge fixe par rapport à la bague intérieure			charge fixe par rapport à la bague extérieure		
	faible $\frac{C}{P} > 10$	normale $5 < \frac{C}{P} \leq 10$	forte $\frac{C}{P} \leq 5$	faible $\frac{C}{P} > 10$	normale $5 < \frac{C}{P} \leq 10$	forte $\frac{C}{P} \leq 5$	faible $\frac{C}{P} > 10$	normale $5 < \frac{C}{P} \leq 10$	forte $\frac{C}{P} \leq 5$
	j6	k6	j6	k6	m6	p6	m6	n6	p6
	k6	m6	k6	m6	p6	r6	n6	p6	r6

Concours Technologie - Epreuve C.F.M

Les tolérances géométriques - ISO 1101			
type de tolérances	cas	symbole (ISO)	observation
tolérances de forme	rectitude		s'utilisent sans élément de référence
	planéité		
	circularité		
	cylindricité		
tolérances d'orientation	profil d'une ligne		également utilisées avec tolérances de position, d'orientation et élément de référence
	profil d'une surface		
	parallélisme		
	perpendicularité		
tolérances de position	inclinaison		s'utilisent avec élément de référence (axe, plan...)
	concentricité (centres coaxialité (axes))		
	symétrie		
	localisation		
tolérances de battement	battement circulaire		
	battement total		

Concours Technologie - Epreuve C.F.M



✓ Ra 1.6 pour les surfaces P1, C3, C4

✓ Ra3.2 les autres surfaces

Tolérances générales ISO 2768 mk Chanfreins 1.5

Echelle 1:1



Boîtier de roulement

Concours nationaux d'entrée aux cycles de formation d'ingénieurs

Concours Techno - Epreuve C.F.M

Train Avant d'un Véhicule

DT-08

Session 2018

Format A3

Repère (5)

C5 0.05 P1

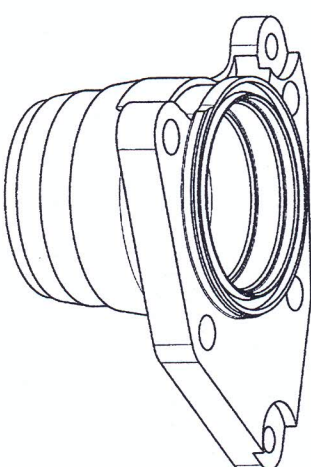
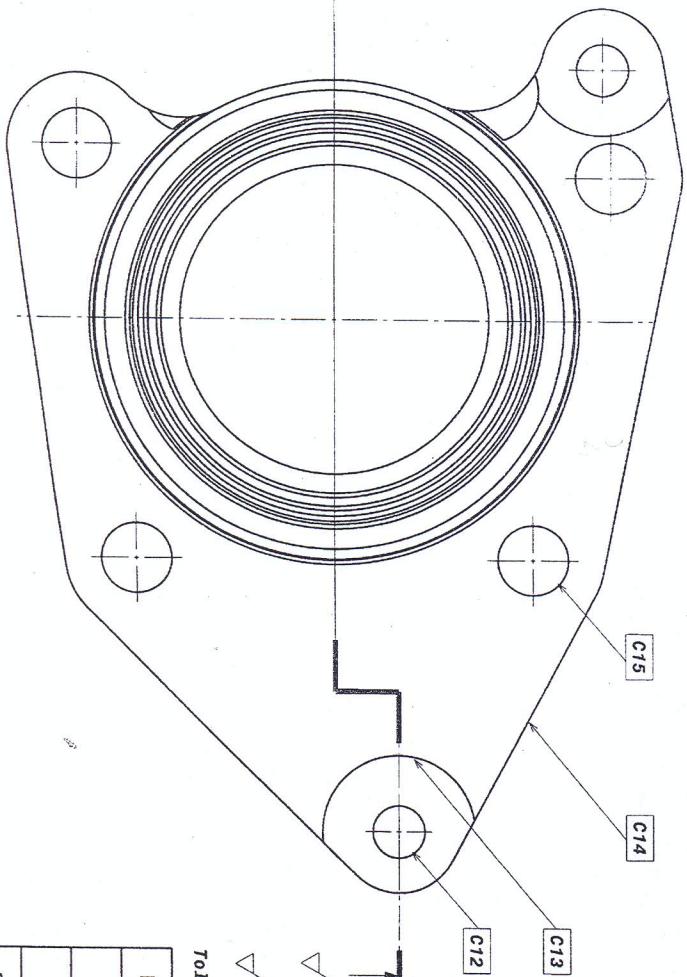
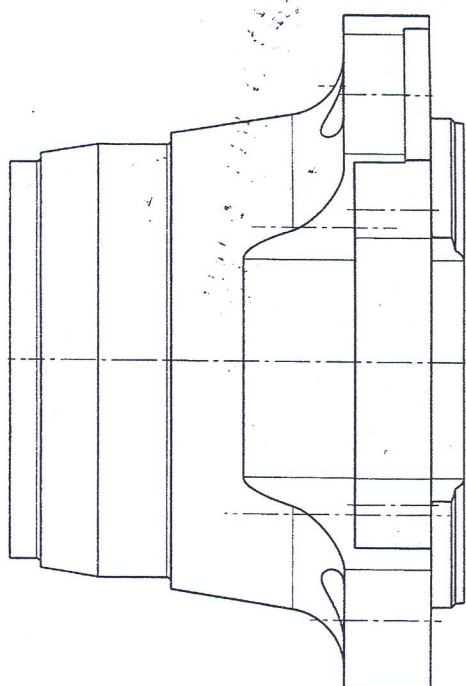
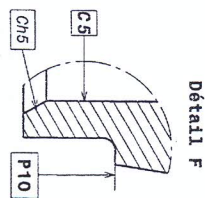
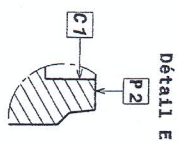
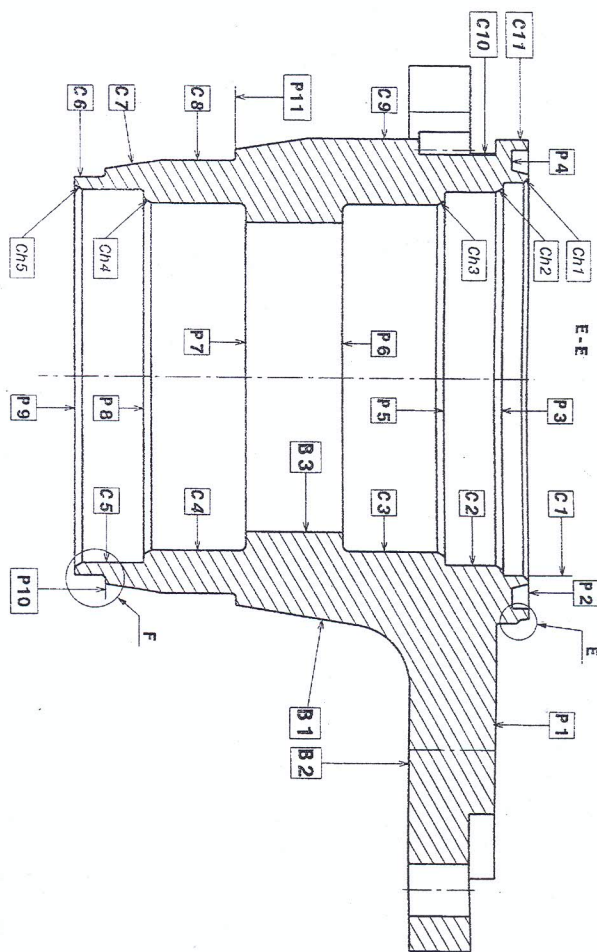
C5 0.05 C3

C4 0.01 P1

C4 0.05 C3

C3 0.1 B2

C3 0.1 B3



∇ Ra 1.6 pour les surfaces P1, C3, C4
 ∇ Ra 3.2 les autres surfaces
 Tolérances générales ISO 2768 mk
 Chanfreins 1.5

C5	$\perp$	$\phi 0.05$	P1
C5	$\odot$	$\phi 0.05$	C3
C4	$\perp$	$\phi 0.01$	P1
C4	$\odot$	$\phi 0.05$	C3
C3	$\perp$	$\phi 0.1$	B2
C3	$\odot$	$\phi 0.1$	B3

Echelle 1:1

Boîtier de roulement



Format A3

Repère (5)

Séssion 2018

Concours nationaux d'entrée aux cycles de formation d'ingénieurs

Concours Techno - Epreuve C.F.M

Train Avant d'un Véhicule

DT-09

Documents Techniques

Ce dossier comporte 9 documents techniques numérotés
de DT-01 à DT-09

DT-01	<i>Dessin d'Ensemble - Train - avant d'un Véhicule</i>	<i>Coupe A-A</i>	
DT-02	Train - avant d'un Véhicule	Détail A	
DT-03	<i>Frein</i>	<i>Coupe B-B</i>	<i>Détail B</i>
DT-04	Nomenclature	Rep. de 1 à 79	
DT-05	<i>Train - avant d'un Véhicule - Vue 3D</i>		
DT-06	Système de freinage - Vue 3D	Détail C	Détail D
DT-07	<i>Document Ajustements usuels</i> <i>Tolérances géométriques - ISO 1101</i>		
DT-08	Boîtier de roulement - Repère (5) - Cotation	Coupe E-E	Détail E
DT-09	<i>Boîtier de roulement - Repère (5) - Surfaces</i>	<i>Coupe E-E</i>	<i>Détail E</i> <i>Détail F</i>

Dossier

Document Réponses

- ◆ Ce dossier comporte 20 pages numérotées de 1 à 20
 - **Partie A- Conception Mécanique** : Page 1 à 11
 - **Partie B- Fabrication Mécanique** : Page 12 à 20

Important

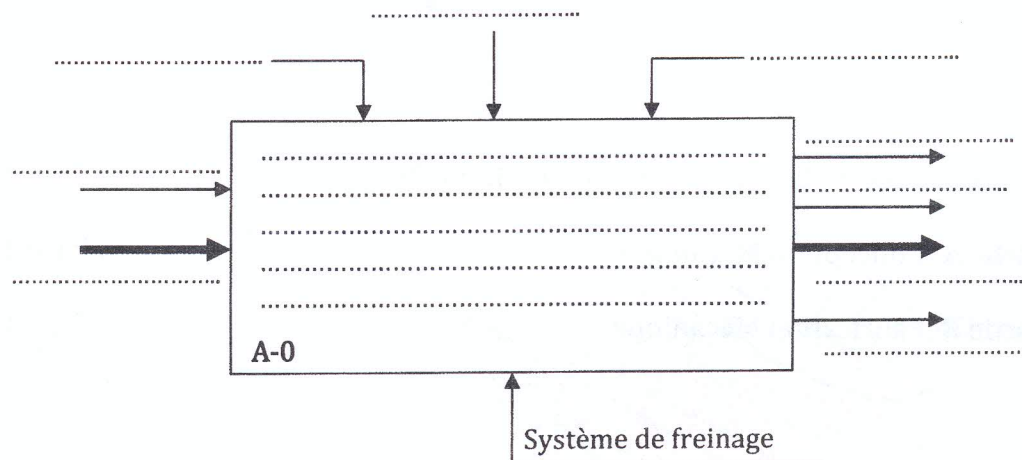
- ◆ Un seul document réponses est fourni au candidat.
- ◆ Le candidat doit rendre obligatoirement le document réponses avant de quitter la salle d'Examen.
- ◆ Le document réponses doit être rendu en intégralité (*aucune feuille ne doit être supprimée*).
Cet acte est considéré comme étant une **tentative de fraude**.
- ◆ Le renouvellement ou la reproduction de ce dossier sont strictement interdits.

Partie A : Conception Mécanique

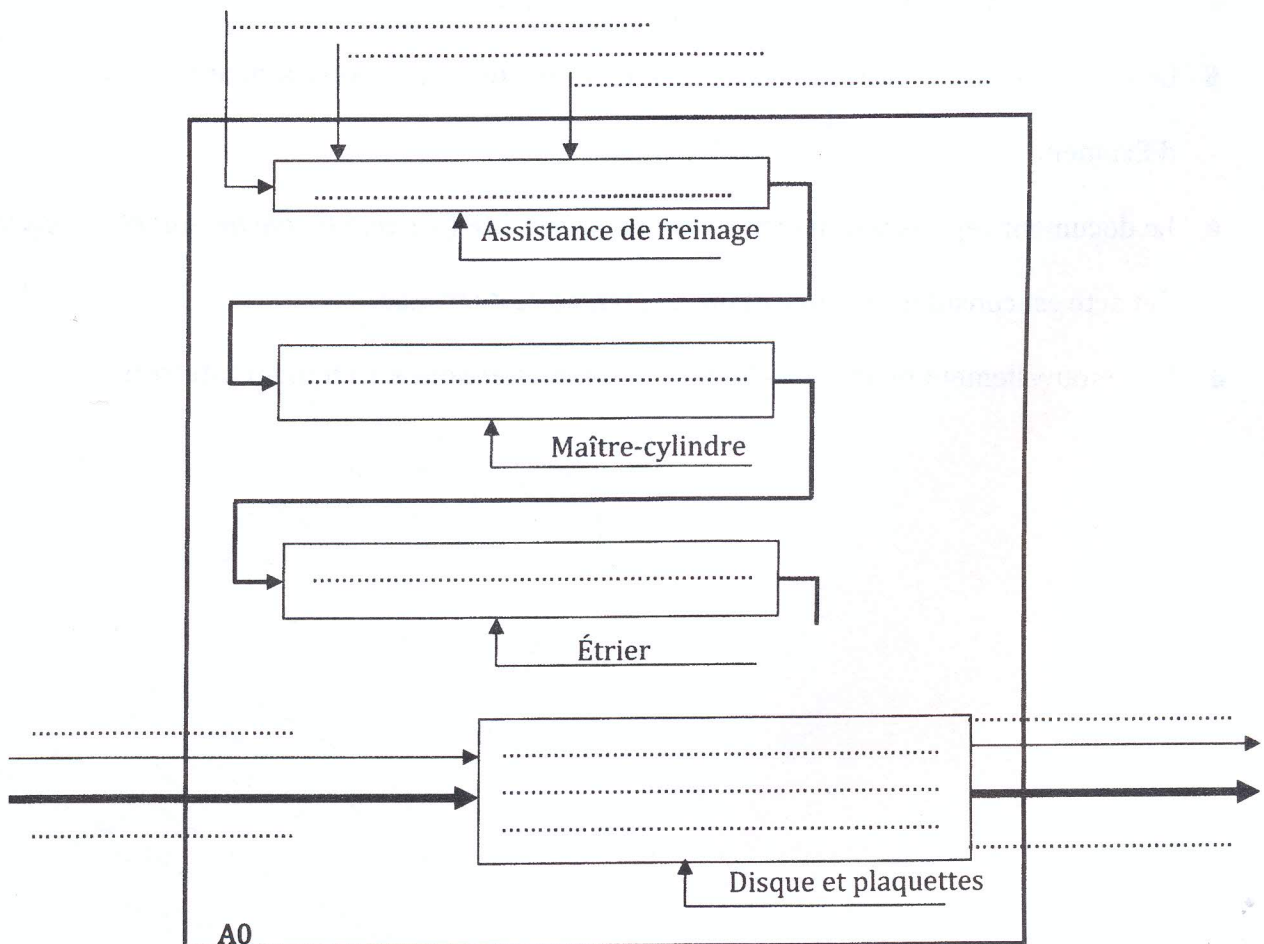
Partie A : Conception Mécanique

1- Analyse Fonctionnelle

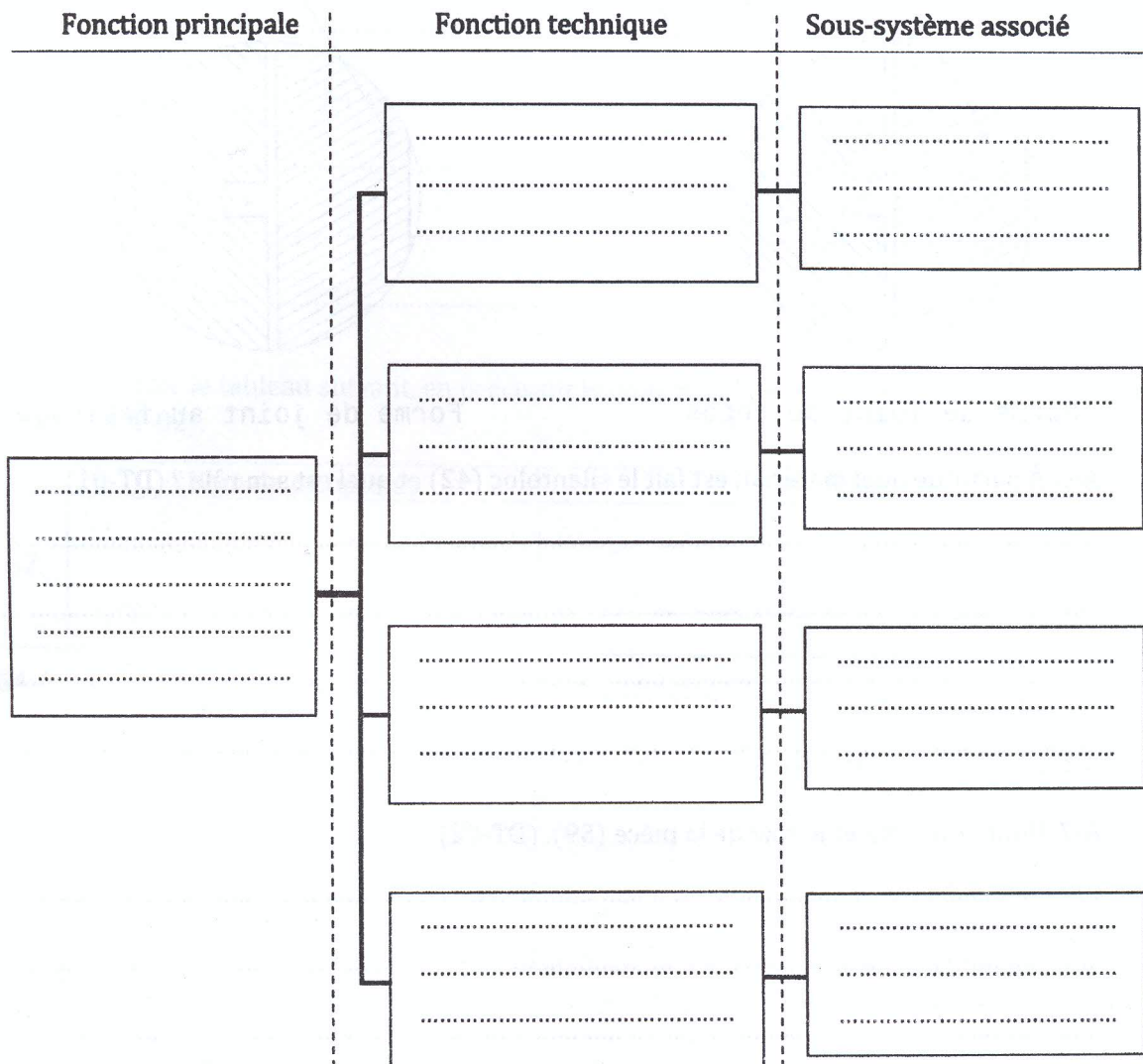
A-1. Exprimer le rôle du système de freinage, en une seule fonction principale (globale) dans le diagramme SADT niveau A-0.



A-2. Établir le diagramme SADT niveau A0.



A-3. Établir le diagramme FAST du système de freinage faisant apparaître les principales fonctions techniques ainsi que les solutions constructives utilisées.



2- Étude technologique

A-4. Quel est le rôle du joint (70) ? (DT-03)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

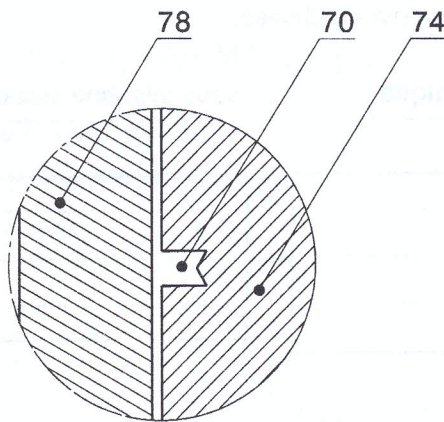
.....

.....

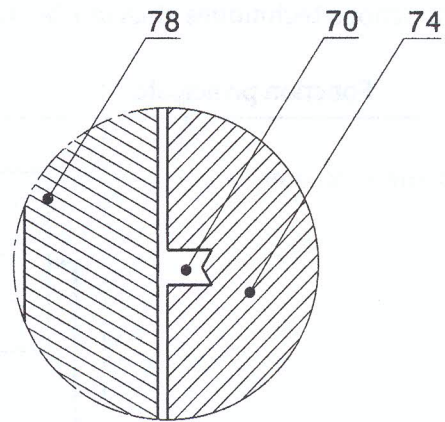
.....

.....

A-5. Dessiner la forme du joint (70) au repos et au freinage (DT-03, voir détail B)



Forme de joint au repos



Forme de joint au freinage

A-6. À partir de quel matériau est fait le silentbloc (42) et quel est son rôle ? (DT-01)

.....

.....

.....

.....

A-7. Donner le nom et le rôle de la pièce (59). (DT-02)

.....

.....

.....

.....

A-8. Quel est le rôle du disque frein (3). (DT-01)

.....

.....

.....

.....

A-9. Quelle est la nature et la désignation du matériau du disque frein (3). (DT-01)

.....

.....

.....

A-10. Citer deux avantages du matériau du disque vis-à-vis de son utilisation dans le système de freinage.

.....

.....

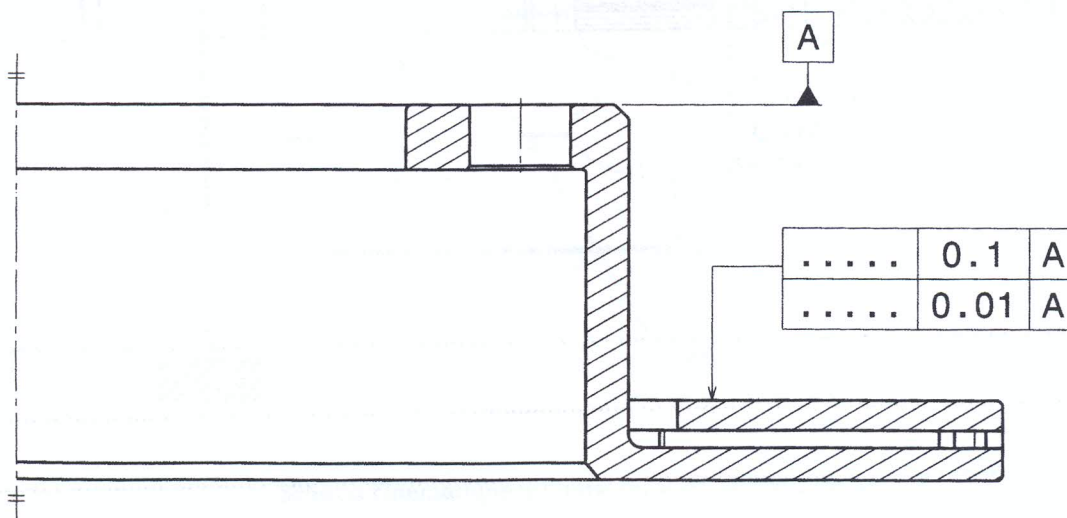
.....

.....

A-11. Compléter le tableau suivant, en précisant le nom et le rôle des pièces indiquées par leurs numéros (DT-02).

Rep.	Nom du composant	Rôle
52		
54 / 56		
58		
60		

A-12. Indiquer les conditions géométriques (DT-07) nécessaires sur le dessin de définition du disque frein (3) présenté par la figure suivante.



A-13. Expliquer le rôle des trous et des rainures sur le disque frein (3). (Détail D : DT-06)

.....

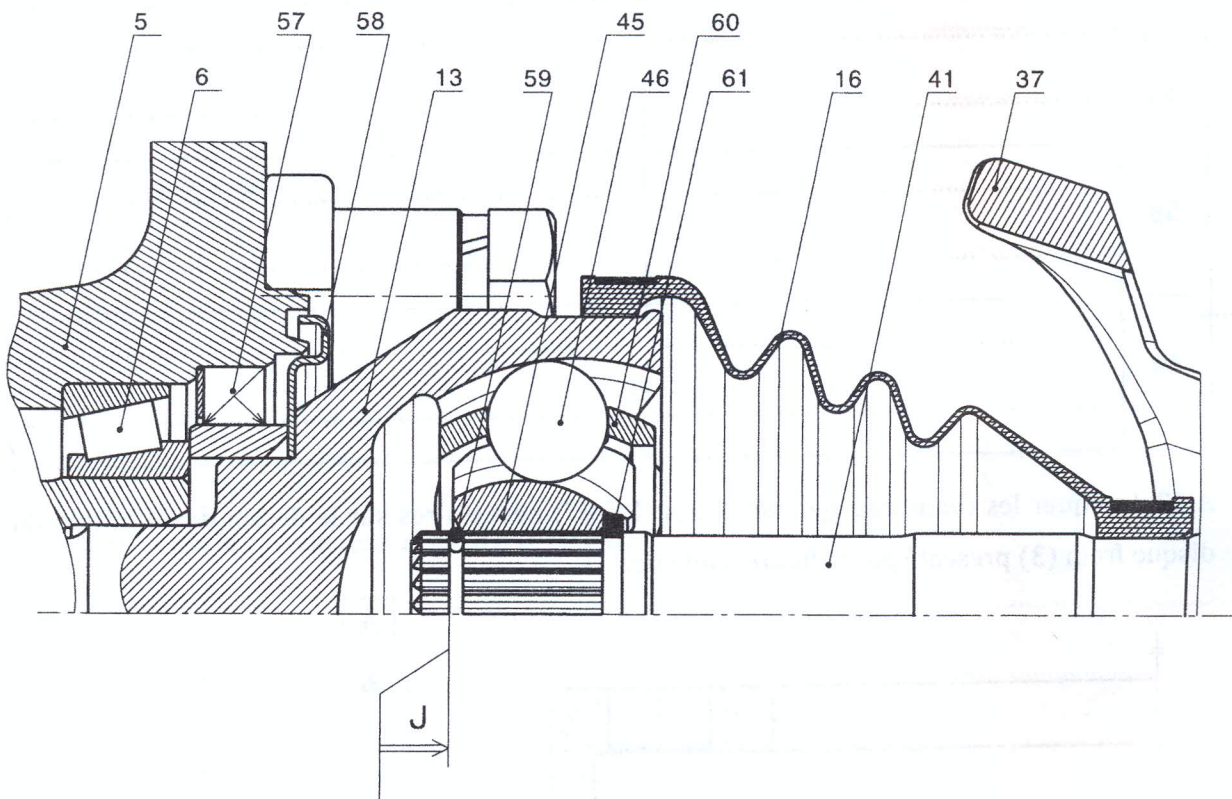
.....

.....

A-14. Indiquer le type de montage des roulements à rouleaux coniques (6) et (7) (DT-02) (Cocher la case correspondante) du montage.

Arbre tournant/ Moyeu fixe	Montage en "O"	
Arbre tournant/ Moyeu fixe	Montage en "X"	
Arbre fixe / Moyeu tournant	Montage en "O"	
Arbre fixe / Moyeu tournant	Montage en "X"	

A-15. Tracer la chaîne de cotes relative à la condition J. Justifier l'utilité de cette condition.



.....

.....

.....

3- Transmission de puissance

A-18. Déterminer dN en fonction de p_c et les paramètres $\rho, d\rho$ et $d\theta$ de l'étude.

.....

.....

A-19. En déduire dT en fonction de p_c , du coefficient de frottement f_f et les paramètres $\rho, d\rho$ et $d\theta$ de l'étude.

.....

.....

A-20. Déterminer le couple de freinage élémentaire dC_f par rapport à l'axe de la roue, engendré entre la garniture et le disque en fonction des paramètres ($f_f, p_c, \rho, d\rho$ et $d\theta$).

.....

.....

.....

A-21. En déduire le couple de freinage C_f par rapport à l'axe de la roue engendré entre la garniture et le disque en fonction des paramètres du système de freinage (f_f, N, R et r). N étant l'effort normal exercé par une garniture sur le disque.

.....

.....

.....

A-22. Calculer l'énergie cinétique du véhicule roulant sur une chaussée horizontale à une vitesse de 108 km/h. Indiquer son unité (S.I).

.....

.....

.....

.....

$E_c =$

A-23. Calculer la force de freinage T_f , par roue, nécessaire pour arrêter le véhicule à une distance $d = 50 \text{ m}$.

.....

.....

.....

$T_f = \dots\dots\dots \text{N}$

A-24. Calculer le couple de freinage C_f par rapport à l'axe de la roue, par roue, nécessaire pour arrêter le véhicule à une distance $d = 50 \text{ m}$.

.....

.....

$C_f = \dots\dots\dots \text{N.m}$

A-25. Calculer l'effort normal N , par plaquette, sur le disque pour arrêter le véhicule à une distance de $d = 50 \text{ m}$.

.....

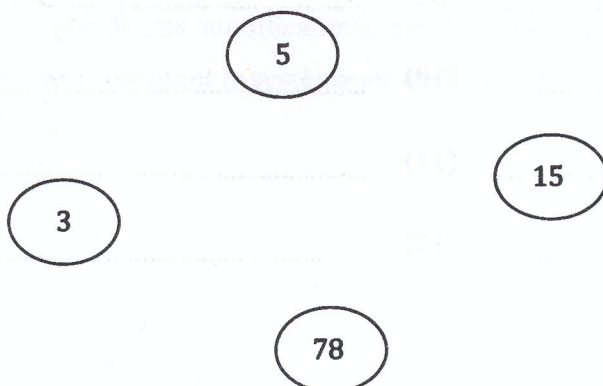
.....

.....

$N = \dots\dots\dots \text{N}$

4- Analyse de système mécanique

A-26. Établir le graphe des liaisons du mécanisme de la Figure 5, Page 4/8 et déterminer son nombre cyclomatique.



Nombre cyclomatique

.....

A-27. Écrire les torseurs cinématiques au point O des différentes liaisons

$$\{\vartheta(L_1)_{3/5}\}_O = \left\{ \begin{array}{c|c} \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \end{array} \right\}_O$$

$$\{\vartheta(L_2)_{5/15}\}_O = \left\{ \begin{array}{c|c} \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \end{array} \right\}_O$$

$$\{\vartheta(L_3)_{15/3}\}_O = \left\{ \begin{array}{c|c} \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \end{array} \right\}_O$$

$$\{\vartheta(L_4)_{78/15}\}_O = \left\{ \begin{array}{c|c} \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \end{array} \right\}_O$$

$$\{\vartheta(L_5)_{3/78}\}_O = \left\{ \begin{array}{c|c} \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \end{array} \right\}_O$$

A-28. Écrire, les équations torsorielles relatives au sous-système de freinage au point O .

Cycle 5 – 15 – 3 – 5.....

Cycle 15 – 3 – 78 – 15

A-29. En déduire le système d'équations scalaires au point O

(1) (7)

(2) (8)

(3) (9)

(4) (10)

(5) (11)

(6) (12)

A-30. En déduire le groupe des inconnues calculables.

.....

.....

.....

A-31. Déterminer le(s) groupe(s) d'inconnue (s) non calculables

.....

.....

.....

A-32. Quel est alors le nombre de degrés de mobilité. En déduire le nombre de degrés d'hyperstaticité.

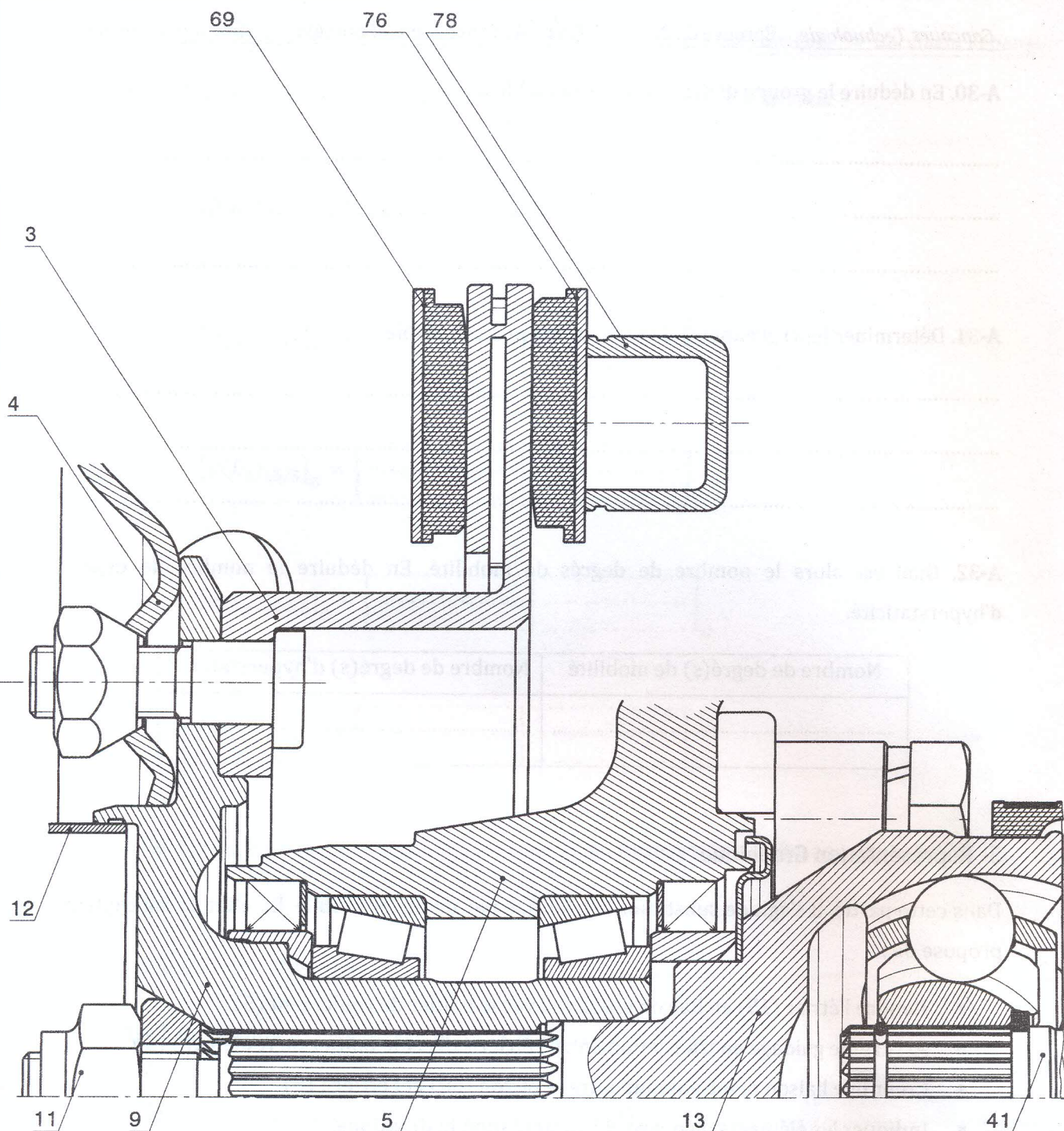
Nombre de degré(s) de mobilité	Nombre de degré(s) d'hyperstaticité
.....	

5- Représentation Graphique

Dans cette partie, il s'agit de substituer l'étrier fixe par un étrier mobile. En effet, le concepteur propose de :

- Rendre l'étrier (15) en liaison glissière avec le boîtier de roulement (5),
- Assurer le guidage en translation entre l'étrier (15) et le boîtier de roulement (5),
- Créer une liaison pivot-glissant entre le piston (68) et l'étrier (15),
- Indiquer les éléments de purge et l'alimentation hydraulique.
- Compléter la nomenclature du document de la page 11/20

A-33. Apporter ces modifications, sur le dessin d'ensemble du sous-système suivant (Page 11/20), en présentant le système en situation de freinage.



.....				
.....				
.....				
78	2	Piston grand diamètre		
76	2	Plaquette de frein intérieure		
69	1	Plaquette de frein extérieure		
41	1	Arbre de transmission		
15	1	Etrier du frein à disque - Partie extérieure	Fonte	
13	1	Fusée de roue	Acier	
12	1	Cache-moyeu	Tôle noire	
11	1	Ecrou haute température	Acier	Standard
9	1	Moyeu	Acier	
5	1	Boîtier de roulements	GC45	
4	1	Jante	Acier	
3	1	Disque de frein		
Rep.	Nbre	Désignation	Matériaux	Obs.
		Train Avant d'un Véhicule	Echelle 1:1	Session 2018

Partie B : Fabrication Mécanique

1- Élaboration du brut

Soit le boîtier de roulement (5) représenté sur les documents DT-08 et DT-09 à obtenir par moulage en sable avec une cadence de 1000 pièces par an, pendant 5 ans.

B-1. Quelles doivent être les caractéristiques des sables de moulage ?

.....

.....

B-2. Quels mélanges utilise-t-on ?

Il est composé de.....

.....

.....

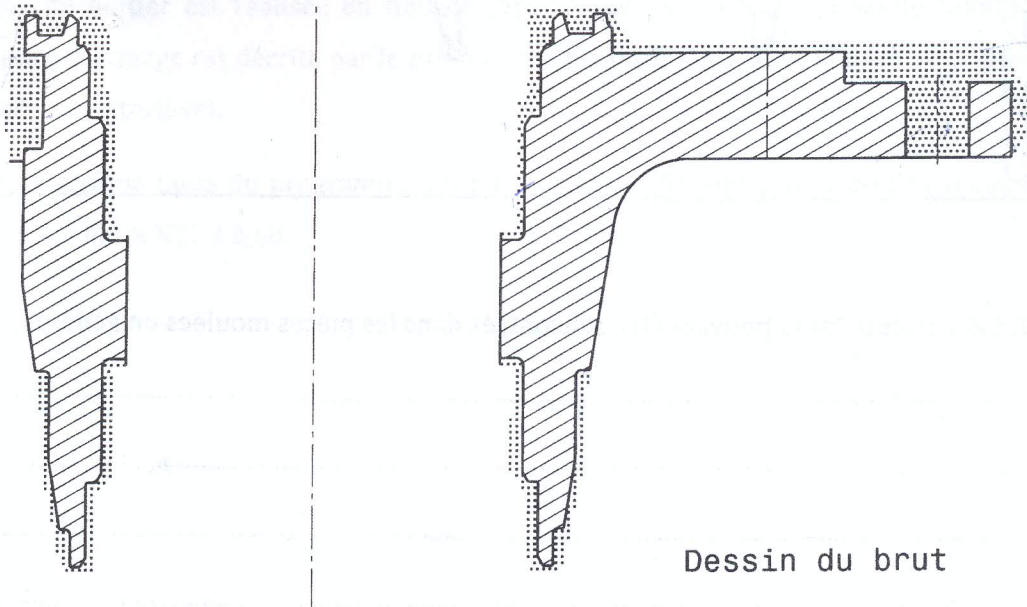
B-3. Quel traitement thermique peut-on pratiquer sur cette pièce moulée avant usinage ? Justifier son intérêt.

.....

.....

B-4. Compléter le dessin ci-dessous en précisant :

- le plan de joint le mieux approprié,
- le brut capable et les dépouilles.

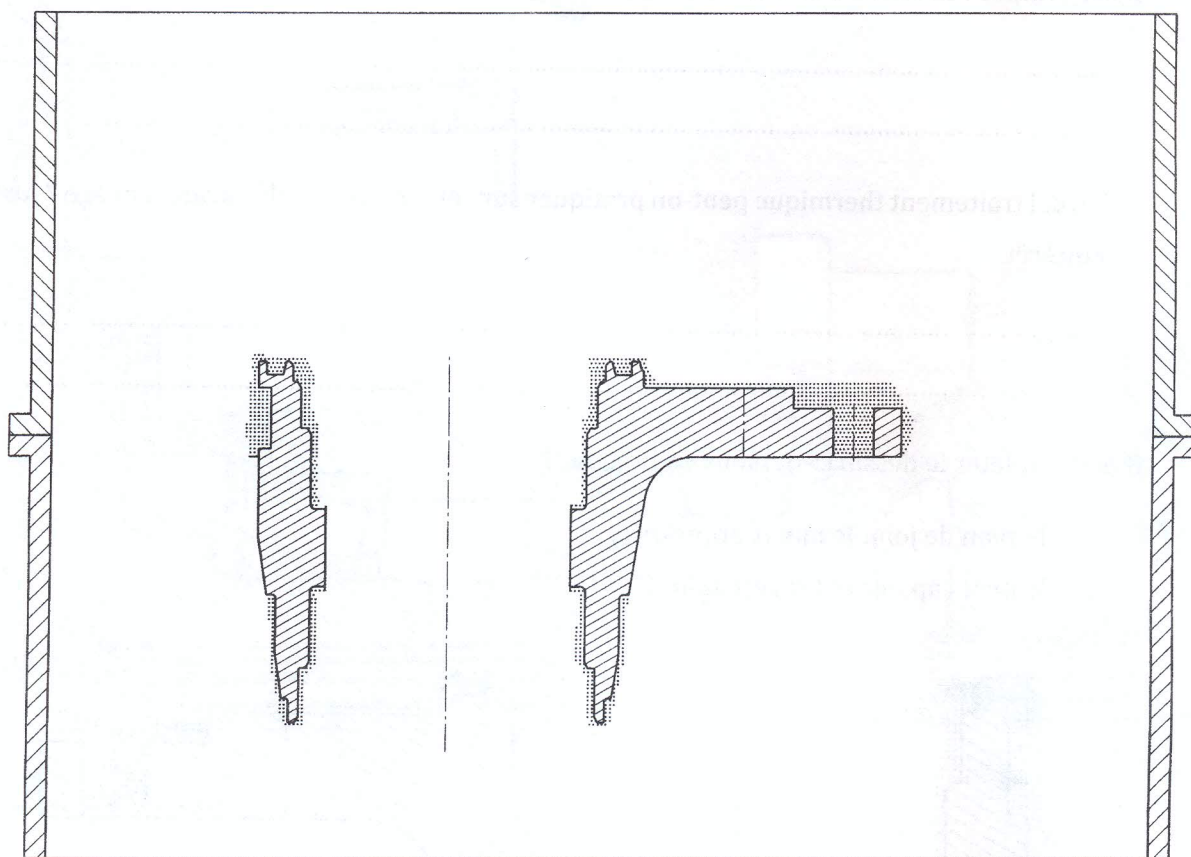


Dessin du brut

B-5. Calculer les cotes du modèle $C_{\text{modèle}}$ relatives aux cotes usinées du boîtier (5) (DT-08).

Cote	Détails de calcul	Cote du modèle $C_{\text{modèle}}$
89		
$\varnothing 78$		
17		

B-6. Représenter le moule prêt à la coulée en indiquant les événements, les canaux de coulée et d'attaque et les masselottes.



B-7. Citer trois défauts pouvant être rencontrés dans les pièces moulées en général.

.....

.....

.....

.....

B-8. Le tableau ci-dessous regroupe sept opérations de réalisation du boîtier (5) par moulage. On demande de compléter le tableau, en précisant de 1 à 7 l'ordre chronologique des opérations.

Ordre des opérations	Les opérations de moulage
opération : ...	Retourner le châssis, saupoudrer la face du joint avec du sable blanc et enfoncer légèrement le mandrin de coulée.
opération : ...	Enlever le mandrin de coulé, puis séparer les deux demi-châssis ; enlever le modèle. Si besoin est, mettre les noyaux en place, finir et lisser le trou de coulée, saupoudrer l'empreinte de noir de fonderie qui donnera à la pièce une belle peau.
opération : ...	Procéder à la coulée.
opération : ...	Avant refroidissement complet, démonter le moule et casser le sable. C'est l'opération de décochage.
opération : ...	Poser le demi-modèle sur la table à mouler, dans le châssis inférieur ; tamiser le sable de moulage dans le châssis, puis le tasser.
opération : ...	En goujonner le châssis supérieur, placer l'autre demi-modèle, tamiser le sable de moulage dans le châssis, puis le tasser. À l'aide d'une aiguille, piquer des trous d'air (évents) qui favorisent l'évacuation des gaz.
opération : ...	Remettre les demi-châssis l'un sur l'autre, préparer un lit de sable sur le sol et y poser le moule avec précaution.

2- Commande Numérique

La série de boîtier est réalisée en finition directe sur un tour à commande numérique. La trajectoire d'usinage est décrite par le programme proposé ci-dessous (Phase 30 : opération de contournage extérieur).

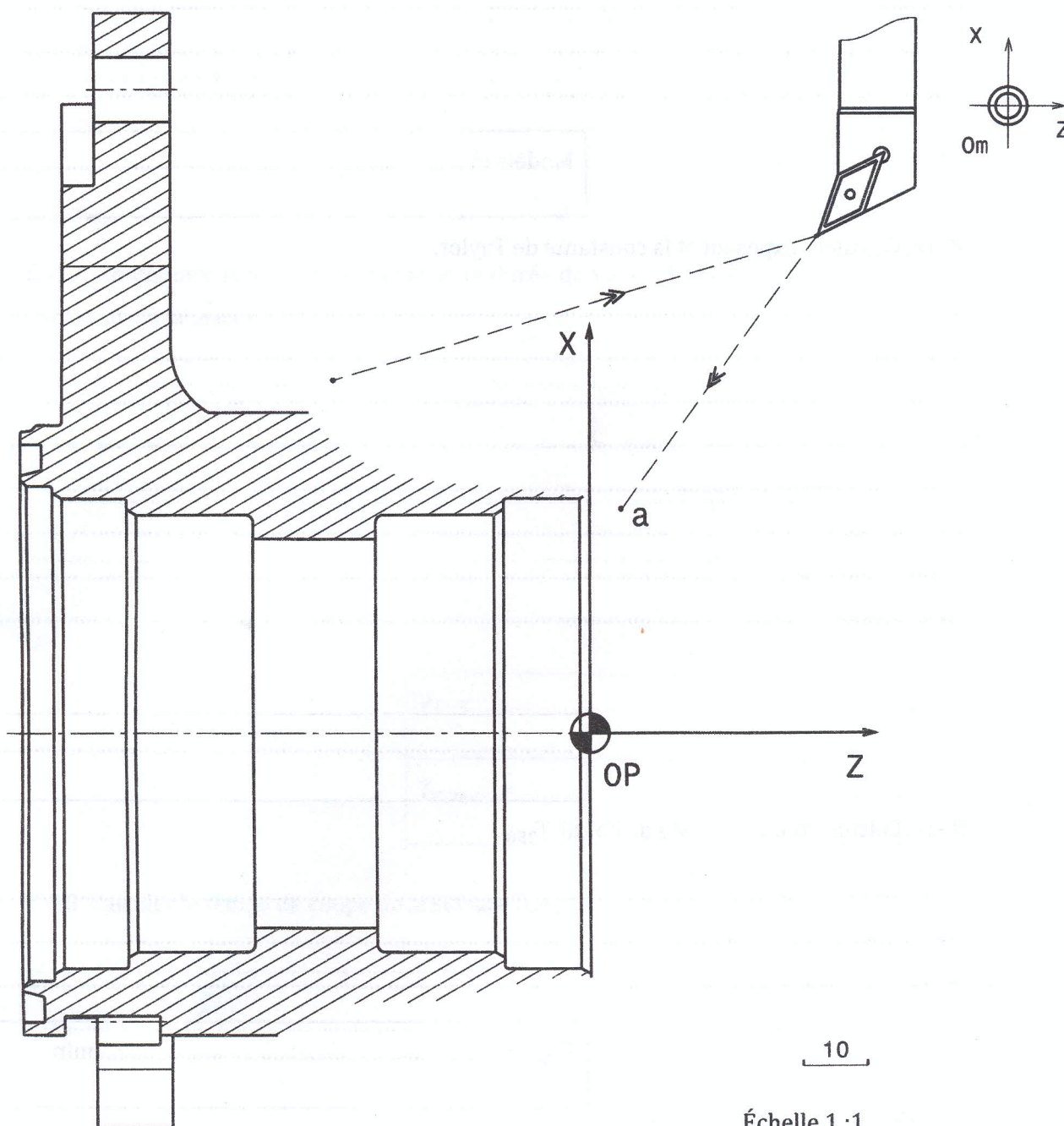
B-9. Pour chaque ligne du programme proposé ci-après, donner une courte explication en se limitant aux blocs N10 à N60.

N° du bloc	Programme	Explication
% 1 (PHASE 30 : OPÉRATION DE CONTOURNAGE EXTÉRIEUR)		
N10	G0 G52 X0 Z0	.....
N20	M6 T1 D1	.....
N30	G97 S 1000 M3 M8	.....
N40	G0 X70 Z5 (a)	.....
N50	G96 S150 G95 F0.1	.....
N60	G1 G42 Z0 (b)	.....
N70	X76 (c)	
N80	X80 Z-5 (d)	
N90	Z-16 (e)	
N100	G03 X90 Z-21 R5 (f)	
N110	G01 Z-35 (g)	
N120	G02 X100 Z-40 R5 (h)	
N130	G00 G40 X110 (i)	
N140	G97 S1000	
N150	G0 G52 X0 Z0 M5 M9	
N160	M2	

B -10. À partir du programme présenté dans la question B-9, compléter le tableau en déterminant les coordonnées du parcours de l'outil, sachant que X représente le diamètre.

	a	b	c	d	e	f	g	h	i
X	70	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Z	5	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

B -11. En se basant sur les données de la question B-10, tracer la forme modifiée du boîtier (5).



3- Étude de la coupe

L'opération d'alésage de la surface (C4) (DT-08) (diamètre $\varnothing d = 68$ mm et longueur $L = 20$ mm) de la phase 30 est réalisée à l'aide d'un outil à aléser à plaquette rapportée en carbure.

Des essais ont permis de relever la durée de vie pour un critère d'usure défini par $V_b = 0.3$ mm

V_c [m/min]	T [min]
200	40
400	2.1



Outil d'alésage à plaquette amovible

B -12. Donner l'expression de la loi de Taylor.

.....

.....

.....

Modèle :

B -13. Calculer l'exposant et la constante de Taylor.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

B -14. Calculer la durée de vie de l'outil T_{250} .

.....

.....

.....

$T_{250} = \dots \text{min}$

B -15. Calculer la puissance utile de la machine P_u sachant que la puissance moteur est $P_m = 5 \text{ Kw}$ et le rendement de la chaîne cinématique étant $\eta = 0.8$.

.....

.....

.....

$P_u = \dots \text{W}$

B -16. Calculer l'effort de coupe F_c sachant que $f = 0.1 \text{ mm/tr}$, $a_p = 2 \text{ mm}$, $K_s = 3000 \text{ N/mm}^2$.

$F_c = \dots\dots\dots \text{N}$

B -17. En déduire la vitesse de coupe et la durée de vie correspondante pour une exploitation maximale de la machine.

$V_c = \dots\dots\dots \text{m/min}$

$T_{Vcmax} = \dots\dots\dots \text{min}$

B -18. Calculer le temps de coupe de la surface (C4).

$t_c = \dots\dots\dots \text{min}$

B -19. Déterminer le nombre d'arêtes nécessaires pour l'usinage de la série de 5000 pièces.

Nombre d'arêtes = $\dots\dots\dots$

B -20. En déduire le nombre de plaquettes sachant qu'une plaquette possède 4 arêtes.

.....

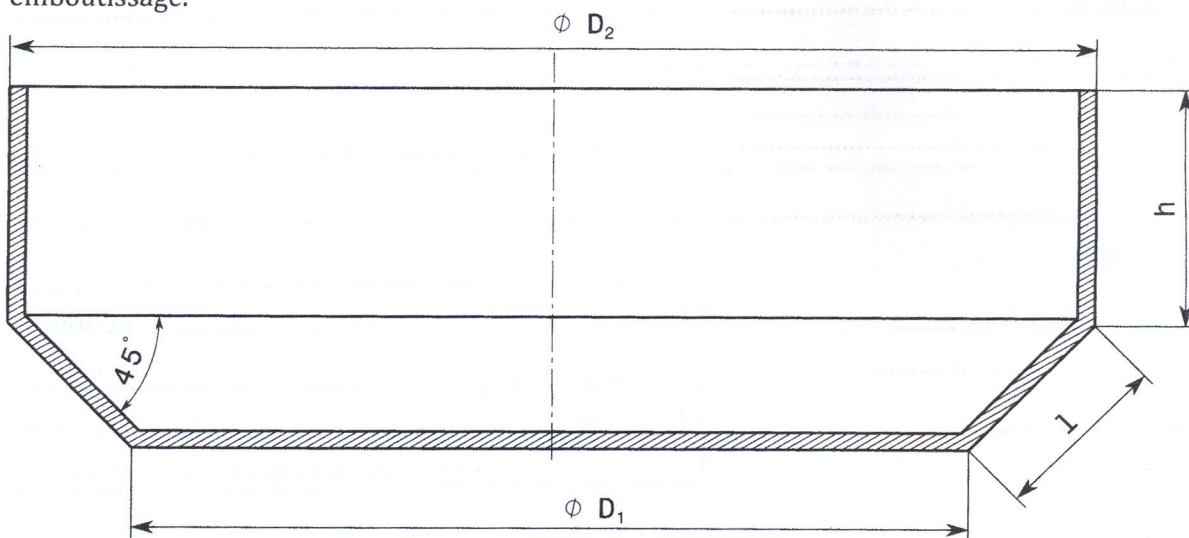
.....

.....

Nombre de plaquettes =

3- Mise en forme par déformation plastique

Le cache-moyeu (12) présenté ci-dessous est obtenu en utilisant le procédé de mise en forme par emboutissage.



Données :

$$\phi D_1 = 75 \text{ mm}, \quad \phi D_2 = 95 \text{ mm}, \quad h = 25 \text{ mm}, \quad l = 14.14 \text{ mm},$$

Matière tôle : tôle noire

Épaisseur de tôle : $e = 1.5 \text{ mm}$

B -21. Démontrer que le diamètre de flan D_f s'écrit sous la forme :

$$D_f = \sqrt{D_1^2 + 2.l.(D_2 + D_1) + 4.h.D_2}$$

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

B -22. Calculer le diamètre initial du flan

.....
.....
.....

$$D_f = \dots\dots\dots \text{mm}$$

B -23. Calculer l'effort de découpage du flan sachant que la résistance au cisaillement est définie par $R_c = 152 \text{ N/mm}^2$.

.....
.....
.....

$$F = \dots\dots\dots \text{ N}$$

B -24. Déterminer le nombre de passes nécessaire pour emboutir la partie cylindrique du cache-moyeu.

m_1 : Coefficient de réduction de la première passe

m_2 : Coefficient de réduction des passes suivantes

Matière	m_1	m_2
Tôle noire	0.63	0.80

.....
.....
.....

$$\text{Nombre de passes} = \dots\dots\dots$$

B -25. Calculer la force d'emboutissage de la passe de finition avec $R_m = 190 \text{ N/mm}^2$.

.....
.....
.....

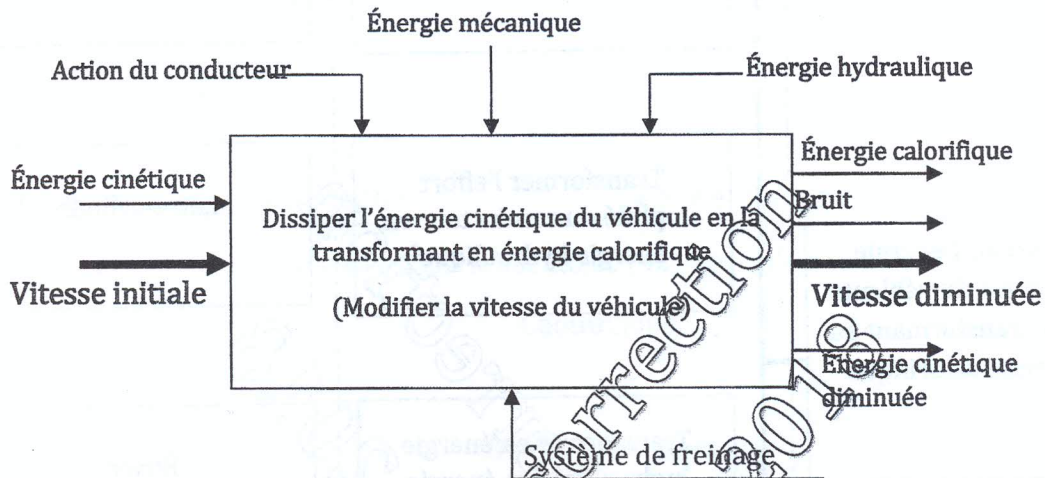
$$F_{emb} = \dots\dots\dots \text{ N}$$

Partie A : Conception Mécanique

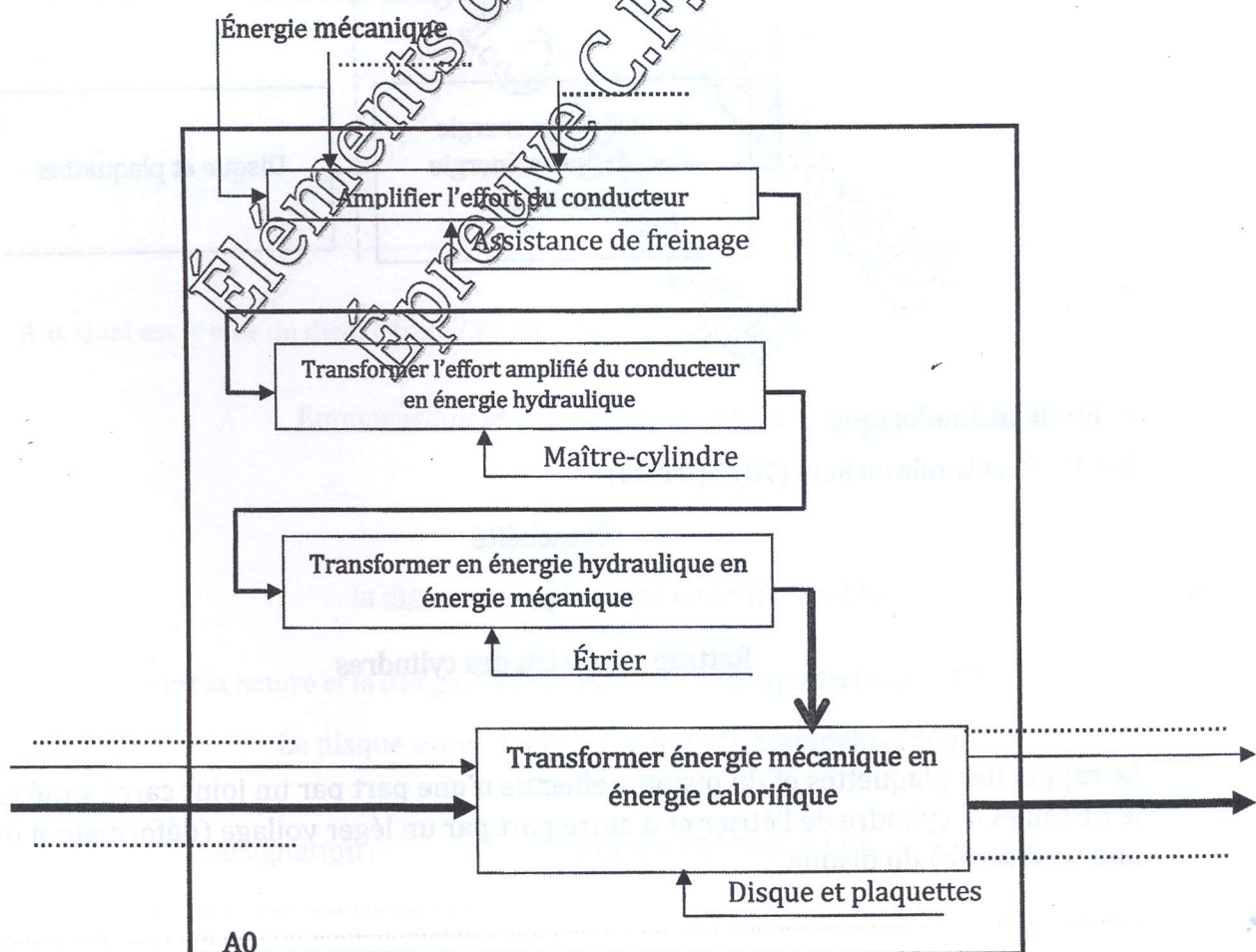
Partie A : Conception Mécanique

1- Analyse Fonctionnelle

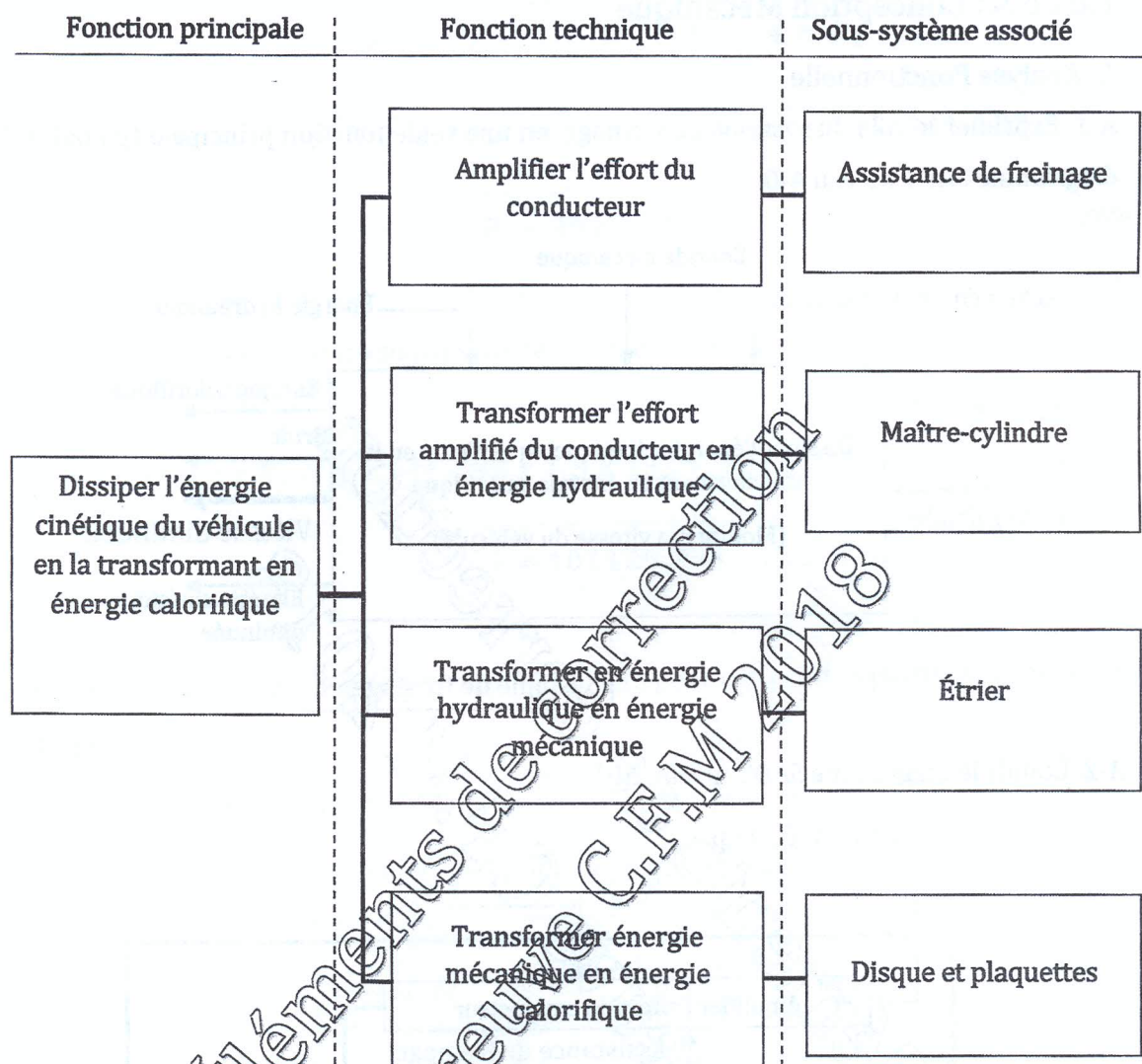
A-1. Exprimer le rôle du système de freinage, en une seule fonction principale (globale) dans le diagramme SADT niveau A-0.



A-2. Établir le diagramme SADT niveau A0



A-3. Établir le diagramme FAST du système de freinage faisant apparaître les principales fonctions techniques ainsi que les solutions constructives utilisées.



2- Étude technologique

A-4. Quel est le rôle du joint (70) ? (DT-03)

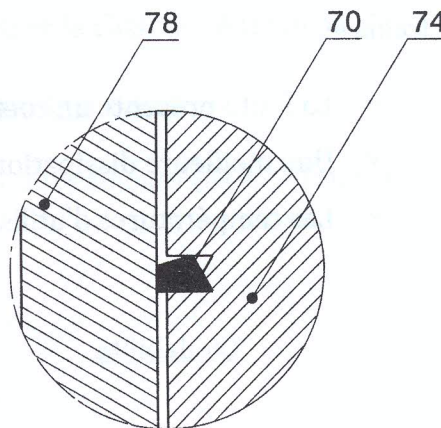
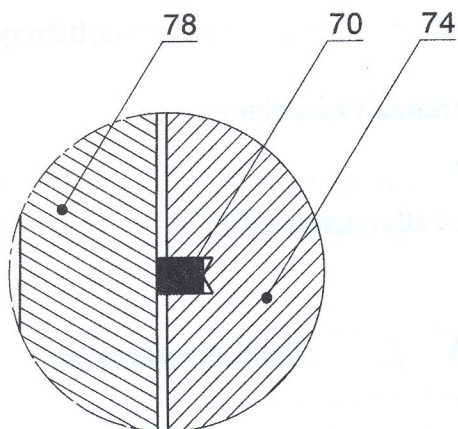
Étanchéité

et

Rattrapage du jeu des cylindres

Le rappel des plaquettes et du piston s'effectue d'une part par un joint carré situé entre le piston et le cylindre de l'étrier et d'autre part par un léger voilage (déformation due à une surchauffe) du disque.

A-5. Dessiner la forme du joint (70) au repos et au freinage (DT-03, voir détail B)



Forme de joint au repos

Forme de joint au freinage

A-6. À partir de quel matériau est fait le silentbloc (42) et quel est son rôle ? (DT-01)

Caoutchouc

Amortir les chocs

A-7. Donner le nom et le rôle de la pièce (59). (DT-02)

Anneau élastique

Arrêter la noix (45)

A-8. Quel est le rôle du disque frein (3). (DT-01)

Emmagasiner la chaleur résultant du frottement

et

la dispenser le plus rapidement possible

A-9. Quelle est la nature et la désignation du matériau du disque frein (3). (DT-01)

Le disque est en fonte à graphite sphéroïdale (FSG)

Désignation :

Afnor : FGS 500-7 / EN -GJS-500-7

A-10. Citer deux avantages du matériau du disque vis-à-vis de son utilisation dans le système de freinage.

- ✓ La fonte présente un coefficient de frottement très élevée
- ✓ Une meilleure dissipation de la chaleur
- ✓ Les températures d'utilisations pouvant aller jusqu'à 700 °C

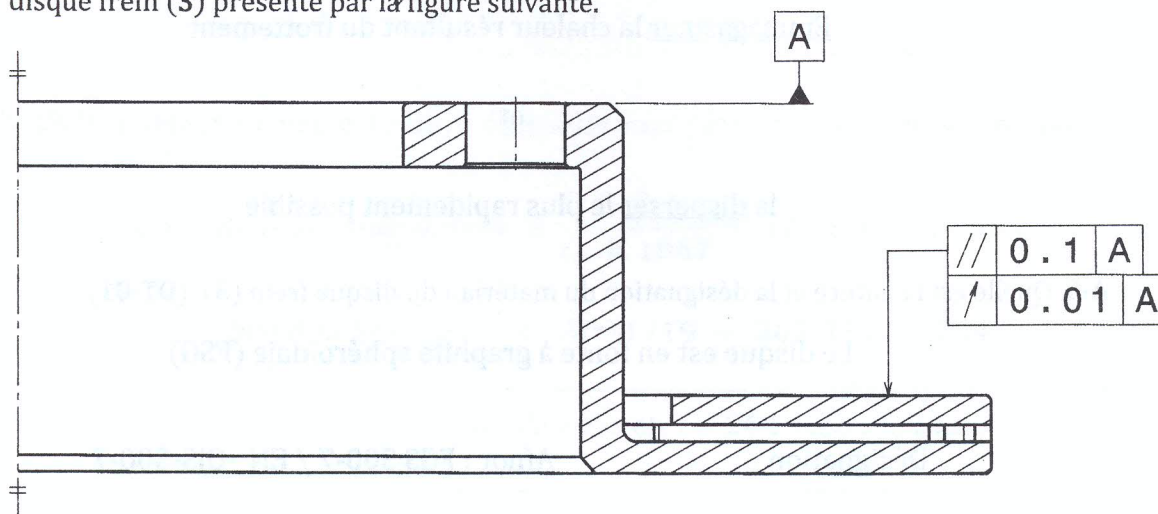
Coulabilité / Usinabilité / Fiabilité en service

Amortissement des vibrations / Trempabilité en surface

A-11. Compléter le tableau suivant, en précisant le nom et le rôle des pièces indiquées par leurs numéros (DT-02).

Rep.	Nom du composant	Rôle
52	Bague d'appui	Faire un obstacle pour les roulements
54 / 56	Rondelle d'appui	Sert d'appui pour les joints à lèvres
58	Chicane	Étanchéité sans frottement
60	Cage à bille	Garder les éléments roulants équidistants pour permettre une répartition homogène de la charge

A-12. Indiquer les conditions géométriques (DT-07) nécessaires sur le dessin de définition du disque frein (3) présenté par la figure suivante.



A-13. Expliquer le rôle des trous et des rainures sur le disque frein (3). (Détail D : DT-06)

Ventilation du disque

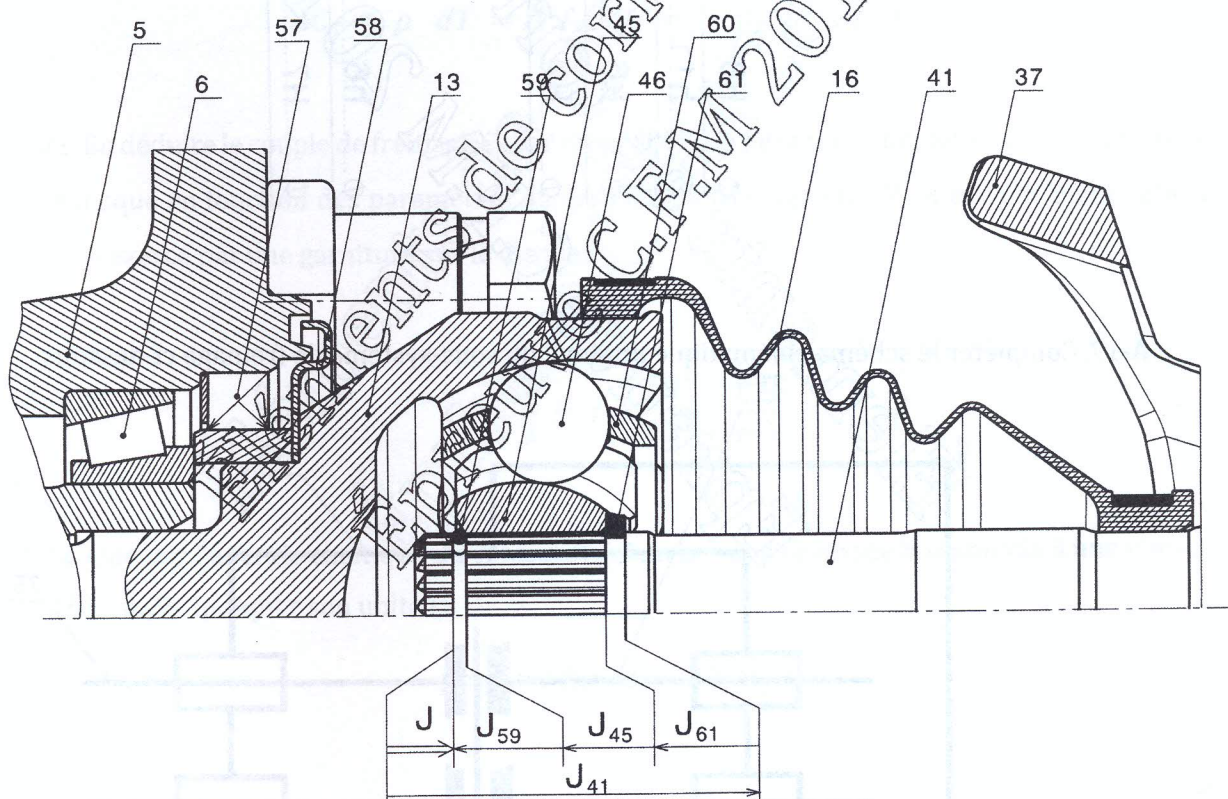
Répartition rapide de l'air dans le disque pour réguler la chaleur générée par le freinage

Ce qui améliore la puissance du freinage.

A-14. Indiquer le type de montage des roulements à rouleaux coniques (6) et (7) (DT-02) (Cocher la case correspondante) du montage.

Arbre tournant/ Moyeu fixe	Montage en "O"	✓
Arbre tournant/ Moyeu fixe	Montage en "X"	
Arbre fixe / Moyeu tournant	Montage en "O"	
Arbre fixe / Moyeu tournant	Montage en "X"	

A-15. Tracer la chaîne de cotes relative à la condition J. Justifier l'utilité de cette condition.



... Condition de montage

La cote J est nécessaire pour disposer d'un espace (jeu positif) pour pouvoir engager l'anneau élastique dans la gorge de l'axe

3- Transmission de puissance

A-18. Déterminer dN en fonction de p_c et les paramètres $\rho, d\rho$ et $d\theta$ de l'étude.

$$dN = p_c dS = p_c \rho d\rho d\theta$$

A-19. En déduire dT en fonction de p_c , du coefficient de frottement f_f et les paramètres $\rho, d\rho$ et $d\theta$ de l'étude.

$$dT = f_f dN = f_f p_c dS = f_f p_c \rho d\rho d\theta$$

A-20. Déterminer le couple de freinage élémentaire dC_f par rapport à l'axe de la roue, engendré entre la garniture et le disque en fonction des paramètres ($f_f, p_c, \rho, d\rho$ et $d\theta$).

$$dC_f = \rho dT = \rho f_f dN = f_f p_c \rho^2 d\rho d\theta$$

A-21. En déduire le couple de freinage C_f par rapport à l'axe de la roue engendré entre la garniture et le disque en fonction des paramètres du système de freinage (f_f, N, R et r). N étant l'effort normal exercé par une garniture sur le disque.

$$C_f = \frac{2}{3} N f_f \frac{(R^3 - r^3)}{(R^2 - r^2)}$$

A-22. Calculer l'énergie cinétique du véhicule roulant sur une chaussée horizontale à une vitesse de 108 km/h. Indiquer son unité (S.I).

$$v = 108 \text{ km/h} = 30 \text{ m/s}$$

$$E_c = \frac{1}{2} M v^2 = \frac{1}{2} 1500 \times 30^2 = 675000 \text{ Joules}$$

$$E_c = 675000 \text{ joules}$$

A-23. Calculer la force de freinage T_f , par roue, nécessaire pour arrêter le véhicule à une distance $d = 50 \text{ m}$.

$$T_f = \frac{E_c}{4 \times d} = \frac{675000}{4 \times 50} = 3375 \text{ N}$$

$$T_f = 3375 \dots\dots\dots \text{N}$$

A-24. Calculer le couple de freinage C_f par rapport à l'axe de la roue, par roue, nécessaire pour arrêter le véhicule à une distance $d = 50 \text{ m}$.

$$C_f = T_f \times R_r = 3375 \times 0,2 = 675 \text{ N.m}$$

$$C_f = 675 \dots\dots\dots \text{N.m}$$

A-25. Calculer l'effort normal N , par plaquette sur le disque pour arrêter le véhicule à une distance de $d = 50 \text{ m}$.

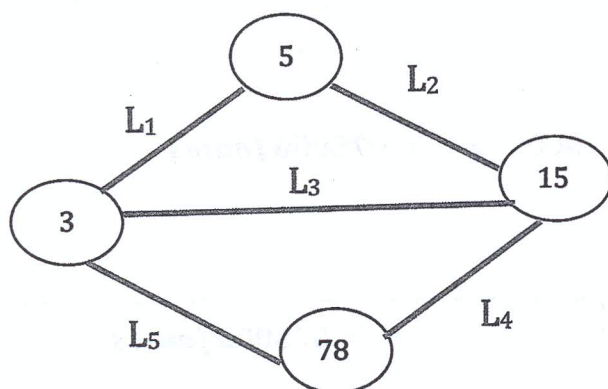
Dans le texte page 3/8 on suppose que le freinage est assuré par le frottement des garnitures de deux plaquettes sur le disque

$$N = \frac{1}{2} \left(\frac{3}{2} \frac{C_f}{f_f} \frac{(R^2 - r^2)}{(R^3 - r^3)} \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{3}{2} \frac{675}{0,3} \frac{(0,12^2 - 0,077^2)}{(0,12^3 - 0,077^3)} \right) = 11242,8 \text{ N soit } 11250 \text{ N}$$

$$N = 11242,8 \text{ N soit } 11250 \dots\dots\dots \text{N}$$

4- Analyse de système mécanique

A-26. Établir le graphe des liaisons du mécanisme de la Figure 5, Page 4/8 et déterminer son nombre cyclomatique.



Nombre cyclomatique

2

A-27. Écrire les torseurs cinématiques au point O des différentes liaisons

$$\{\vartheta(L_1)_{3/5}\}_O = \begin{pmatrix} \alpha_1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}_O$$

$$\{\vartheta(L_2)_{5/15}\}_O = \begin{pmatrix} 0 & u_2 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}_O$$

$$\{\vartheta(L_3)_{15/3}\}_O = \begin{pmatrix} \alpha_3 & 0 \\ 0 & v_3 \\ 0 & w_3 - b \alpha_3 \end{pmatrix}_O$$

$$\{\vartheta(L_4)_{78/15}\}_O = \begin{pmatrix} \alpha_4 & u_4 \\ 0 & 0 \\ 0 & -b \alpha_4 \end{pmatrix}_O$$

$$\{\vartheta(L_5)_{3/78}\}_O = \begin{pmatrix} \alpha_5 & 0 \\ 0 & v_5 \\ 0 & w_5 - b \alpha_5 \end{pmatrix}_O$$

A-28. Écrire, les équations torsorielles relatives au sous-système de freinage au point O .

Cycle 5 - 15 - 3 - 5 : $\{\vartheta(L_2)_{5/15}\}_O + \{\vartheta(L_3)_{15/3}\}_O + \{\vartheta(L_1)_{3/15}\}_O = 0$

Cycle 15 - 3 - 78 - 15 : $\{\vartheta(L_3)_{15/3}\}_O + \{\vartheta(L_5)_{3/78}\}_O + \{\vartheta(L_4)_{78/15}\}_O = 0$

A-29. En déduire le système d'équations scalaires au point O

(1) $0 + \alpha_3 + \alpha_1 = 0$

(7) $\alpha_3 + \alpha_5 + \alpha_4 = 0$

(2) $0 + 0 + 0 = 0$

(8) $0 + 0 + 0 = 0$

(3) $0 + 0 + 0 = 0$

(9) $0 + 0 + 0 = 0$

(4) $u_2 + 0 + 0 = 0$

(10) $0 + 0 + u_4 = 0$

(5) $0 + v_3 + 0 = 0$

(11) $v_3 + v_5 + 0 = 0$

(6) $0 + w_3 - b \alpha_3 + 0 = 0$

(12) $w_3 - b \alpha_3 + w_5 - b \alpha_5 - b \alpha_4 = 0$

A-30. En déduire le groupe des inconnues calculables.

$$Gp_{Cal} = \{u_2(4); v_3(5); u_4(10); v_5(11)\}$$

A-31. Déterminer le(s) groupe(s) d'inconnue (s) non calculables

$$Gp_{NC/1}^1 = \{(\alpha_3, \alpha_1)(1); w_3(6)\}$$

$$Gp_{NC/2}^1 = \{(\alpha_4, \alpha_5)(7); w_5(12)\}$$

A-32. Quel est alors le nombre de degrés de mobilité. En déduire le nombre de degrés d'hyperstaticité.

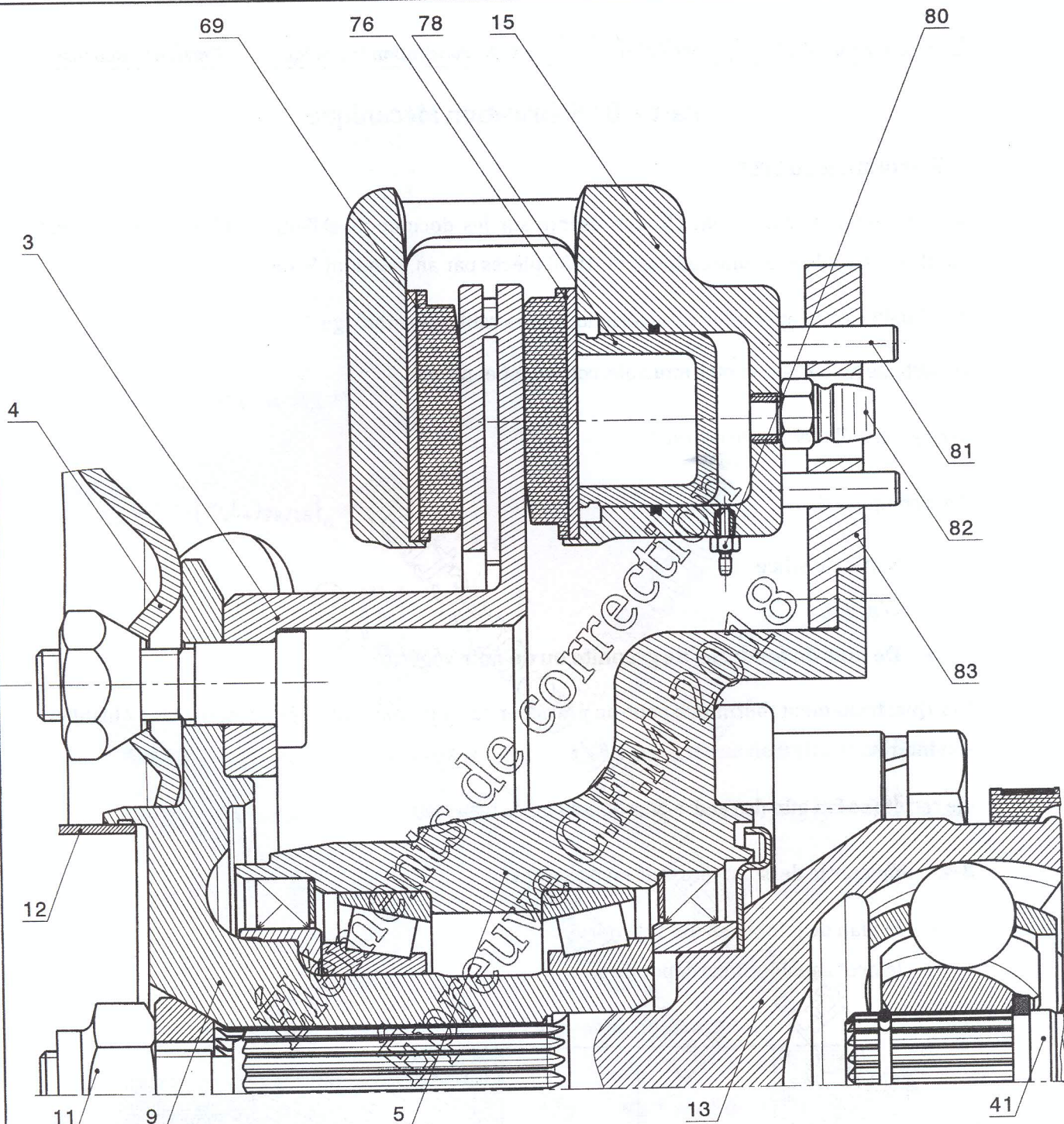
Nombre de degré(s) de mobilité	Nombre de degré(s) d'hyperstaticité
2	4

5- Représentation Graphique

Dans cette partie, il s'agit de substituer l'étrier fixe par un étrier mobile. En effet, le concepteur propose de :

- Rendre l'étrier (15) en liaison glissière avec le boîtier de roulement (5),
- Assurer le guidage en translation entre l'étrier (15) et le boîtier de roulement (5),
- Créer une liaison pivot-glissant entre le piston (68) et l'étrier (15),
- Indiquer les éléments de purge et l'alimentation hydraulique.
- Compléter la nomenclature du document de la page 11/20

A-33. Apporter ces modifications, sur le dessin d'ensemble du sous-système suivant (Page 11/20), en présentant le système en situation de freinage.



83	1	Support		
..82..	.1....	Alimentation hydraulique.....	.....	
..81..	.2....	Colonne de guidage.....	.....	
..80..	.1....	Purgeur.....	.....	
78	2	Piston grand diamètre		
76	2	Plaquette de frein intérieure		
69	1	Plaquette de frein extérieure		
41	1	Arbre de transmission		
15	1	Etrier du frein à disque - Partie extérieure	Fonte	
13	1	Fusée de roue	Acier	
12	1	Cache-moyeu	Tôle noire	
11	1	Ecrou haute température	Acier	Standard
9	1	Moyeu	Acier	
5	1	Boîtier de roulements	GC45	
4	1	Jante	Acier	
3	1	Disque de frein		
Rep.	Nbre	Désignation	Matériaux	Obs.
		Train Avant d'un Véhicule	Echelle 1:1	Session 2018

Partie B : Fabrication Mécanique

1- Élaboration du brut

Soit le boîtier de roulement (5) représenté sur les documents DT-08 et DT-09 à obtenir par moulage en sable avec une cadence de 1000 pièces par an, pendant 5 ans.

B-1. Quelles doivent être les caractéristiques des sables de moulage ?

Le sable de fonderie doit être infusible, consistant et poreux

B-2. Quels mélanges utilise-t-on ?

Il est composé de :

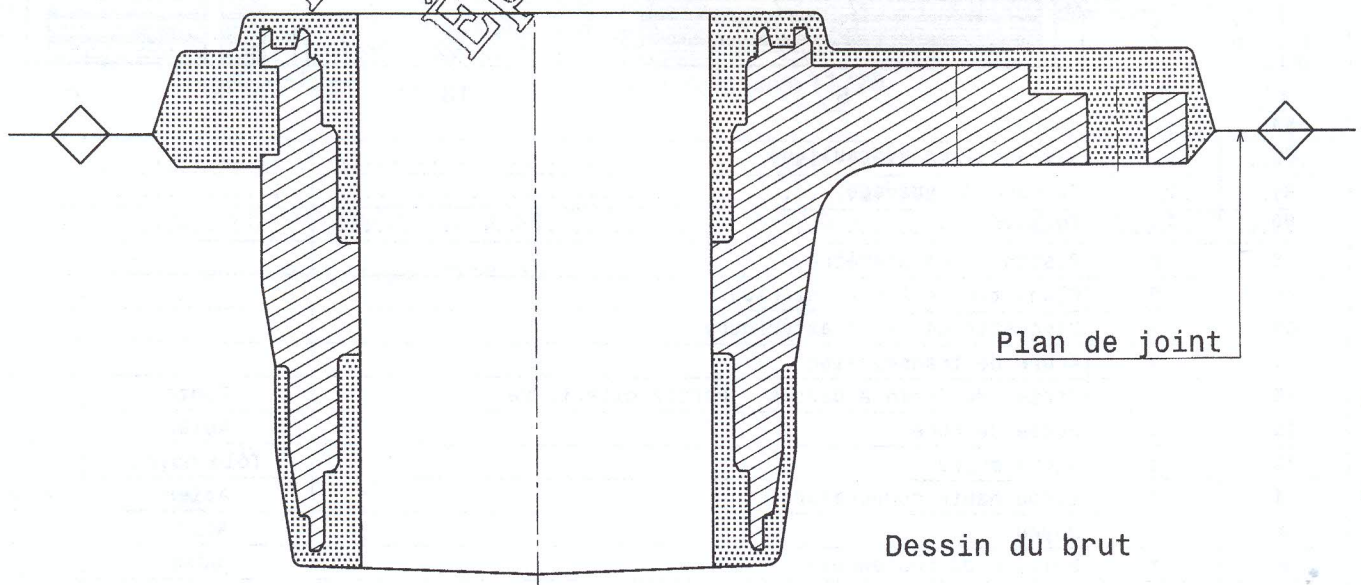
- Sable de silice
- D'argile
- De noir de fonderie, de graphite ou de noir végétal

B-3. Quel traitement thermique peut-on pratiquer sur cette pièce moulée avant usinage ? Justifier son intérêt.

- le recuit : se fait afin de rendre plus homogène le matériau

B-4. Compléter le dessin ci-dessous en précisant :

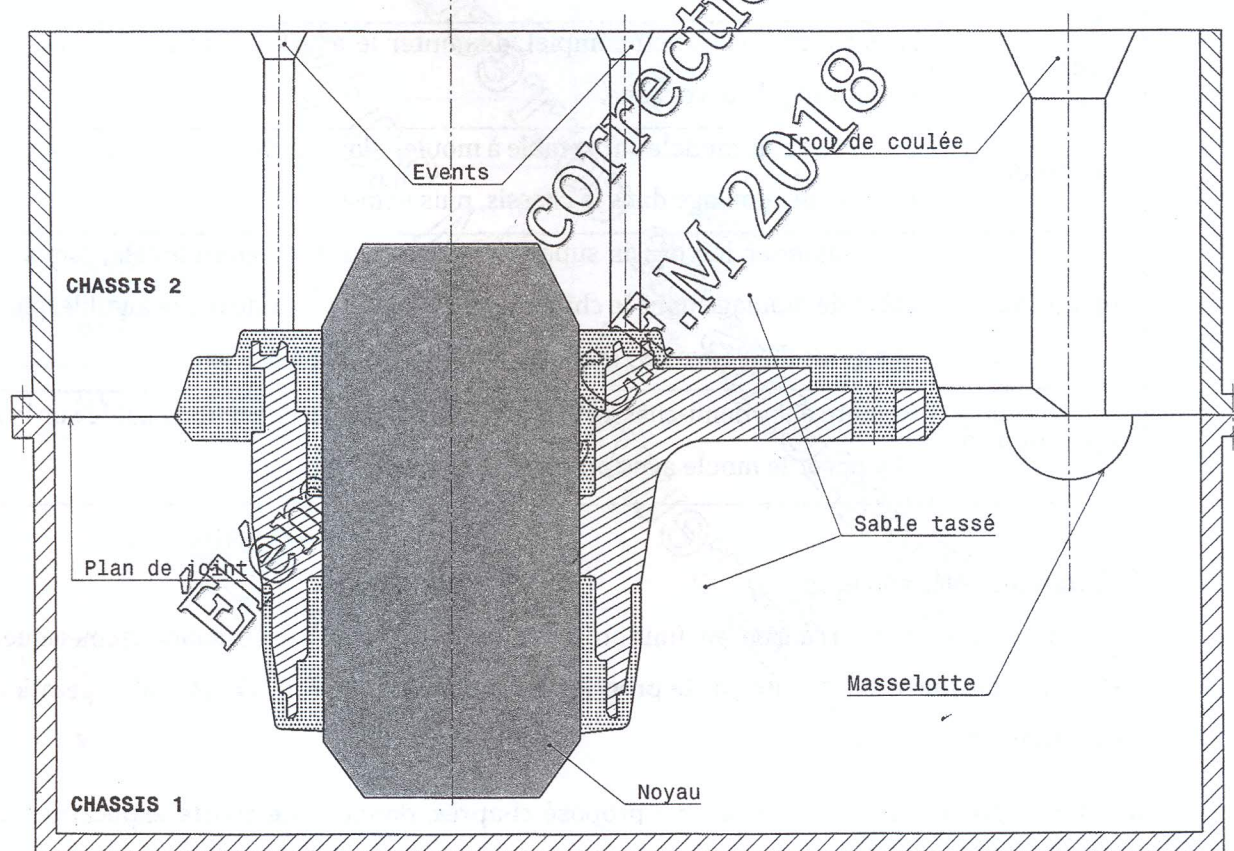
- le plan de joint le mieux approprié
- le brut capable et les dépouilles.



B-5. Calculer les cotes du modèle $C_{\text{modèle}}$ relatives aux cotes usinées du boîtier (5) (DT-08).

Cote	Détails de calcul	Cote du modèle $C_{\text{modèle}}$
89	$(89 + 2+2) \times (1 + 0,02) = 94,86$	$C_{\text{modèle}} = 94,86$
$\varnothing 78$	$(73 - 2 - 2) \times (1 - 0,02) = 67,62$	$C_{\text{modèle}} = 67,62$
17	$(17+2) \times (1+0,02) = 19,38$	$C_{\text{modèle}} = 19,38$

B-6. Représenter le moule prêt à la coulée en indiquant les événements, les canaux de coulée et d'attaque et les masselottes.



B-7. Citer trois défauts pouvant être rencontrés dans les pièces moulées en général.

- Soufflures
- Retassures
- Criques
- Contraintes résiduelles et état de surface

B-8. Le tableau ci-dessous regroupe sept opérations de réalisation du boîtier (5) par moulage. On demande de compléter le tableau, en précisant de 1 à 7 l'ordre chronologique des opérations.

Ordre des opérations	Les opérations de moulage
opération : 2	Retourner le châssis, saupoudrer la face du joint avec du sable blanc et enfoncer légèrement le mandrin de coulée.
opération : 4	Enlever le mandrin de coulé, puis séparer les deux demi-châssis ; enlever le modèle. Si besoin est, mettre les noyaux en place, finir et lisser le trou de coulée, saupoudrer l'empreinte de noir de fonderie qui donnera à la pièce une belle peau.
opération : 6	Procéder à la coulée.
opération : 7	Avant refroidissement complet, démonter le moule et casser le sable. C'est l'opération de décochage.
opération : 1	Poser le demi-modèle sur la table à mouler, dans le châssis inférieur ; tamiser le sable de moulage dans le châssis, puis le tasser.
opération : 3	En goujonner le châssis supérieur, placer l'autre demi-modèle, tamiser le sable de moulage dans le châssis, puis le tasser. À l'aide d'une aiguille, piquer des trous d'air (évents) qui favorisent l'évacuation des gaz.
opération : 5	Remettre les demi-châssis l'un sur l'autre, préparer un lit de sable sur le sol et y poser le moule avec précaution.

2- Commande Numérique

La série de boîtier est réalisée en finition directe sur un tour à commande numérique. La trajectoire d'usinage est décrite par le programme proposé ci-dessous (Phase 30 : opération de contournage extérieur).

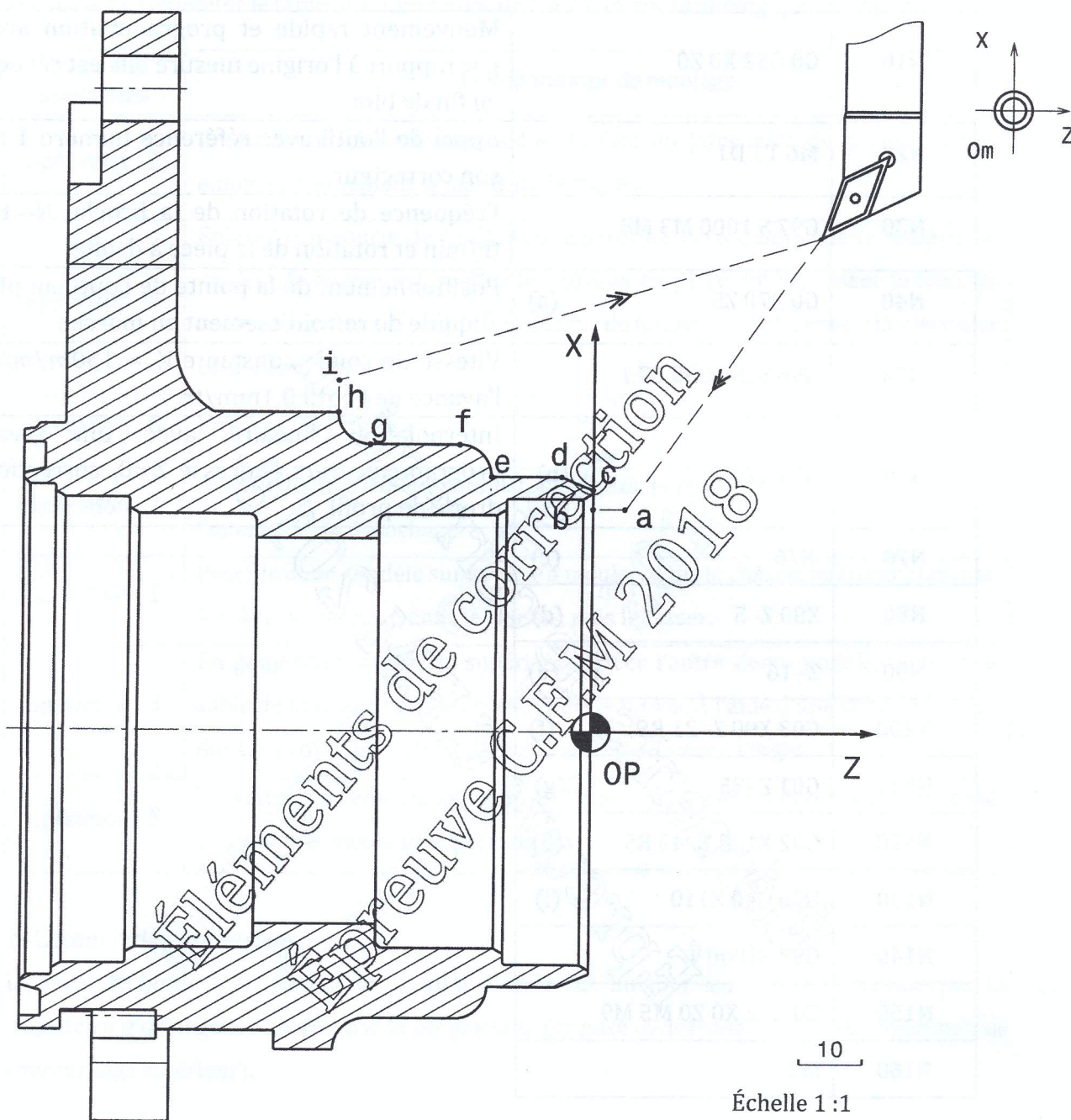
B-9. Pour chaque ligne du programme proposé ci-après, donner une courte explication en se limitant aux blocs N10 à N60.

N° du bloc	Programme	Explication
% 1 (PHASE 30 : OPÉRATION DE CONTOURNAGE EXTÉRIEUR) Numéro du programme		
N10	G0 G52 X0 Z0	Mouvement rapide et programmation absolu par rapport à l'origine mesure elle est révoquée en fin de bloc
N20	M6 T1 D1	Appel de l'outil avec référence numéro 1 avec son correcteur
N30	G97 S 1000 M3 M8	Fréquence de rotation de la broche N=1000 tr/min et rotation de la pièce à droite
N40	G0 X70 Z5 (a)	Positionnement de la pointe de l'outil au pt (a) /liquide de refroidissement en marche
N50	G96 S150 G95 F0.1	Vitesse de coupe constante $V_c = 150m/min$ et l'avance de l'outil 0.1mm/tr
N60	G1 G42 Z0 (b)	Interpolation linéaire avec une avance programmée vers l'adresse Z=0, correction à droite de profil
N70	X76 (c)	
N80	X80 Z-5 (d)	
N90	Z-16 (e)	
N100	G03 X90 Z-21 R5 (f)	
N110	G01 Z-35 (g)	
N120	G02 X100 Z-40 R5 (h)	
N130	G00 G40 X110 (i)	
N140	G97 S1000	
N150	G0 G52 X0 Z0 M5 M9	
N160	M2	

B -10. À partir du programme présenté dans la question B-9, compléter le tableau en déterminant les coordonnées du parcours de l'outil, sachant que X représente le diamètre.

	a	b	c	d	e	f	g	h	i
X	70	70	76	80	80	90	90	100	110
Z	5	0	0	-5	-16	-21	-35	-40	-40

B-11. En se basant sur les données de la question B-10, tracer la forme modifiée du boîtier (5).



3- Étude de la coupe

L'opération d'alésage de la surface (C4) (DT-08) (diamètre $\varnothing d = 68$ mm et longueur $L = 20$ mm) de la phase 30 est réalisée à l'aide d'un outil à aléser à plaquette rapportée en carbure.

Des essais ont permis de relever la durée de vie pour un critère d'usure défini par $V_b = 0.3$ mm

V_c [m/min]	T [min]
200	40
400	2.1



Outil d'alésage à plaquette amovible

B -12. Donner l'expression de la loi de Taylor.

$$T = C_v V_c^n \text{ ou } V_c T^a = Cte$$

$$\text{Modèle : } T = C_v V_c^n \text{ ou } V_c T^a = Cte$$

B -13. Calculer l'exposant et la constante de Taylor.

$$T = C_v V_c^n$$

$$n = \frac{\ln\left(\frac{T_1}{T_2}\right)}{\ln\left(\frac{V_{c1}}{V_{c2}}\right)} = \frac{\ln\left(\frac{40}{2.1}\right)}{\ln\left(\frac{200}{400}\right)} = 4.25$$

$$C_{v1} = T / (V_c^n) = 40 / (200^{-4.25}) = 2.40678597957529 \cdot 10^{11}$$

$$C_{v2} = T / (V_c^n) = 2.1 / (400^{-4.25}) = 2.40422028940777 \cdot 10^{11}$$

$$C_{vmoy} = 2.40550313449153 \cdot 10^{11}$$

$$V_c T^a = Cte, a = 0.235, Cte = 476$$

$$n = 4.25, C_v = 2.40550313449153 \cdot 10^{11}$$

$$a = 0.235, Cte = 476$$

B -14. Calculer la durée de vie de l'outil T_{250} .

$$T_{250} = 2.40550313449153 \cdot 10^{11} \times 250^{-4.25} = 15.486$$

$$T_{250} = 15.486 \dots \text{min}$$

B -15. Calculer la puissance utile de la machine P_u sachant que la puissance moteur est $P_m = 5 \text{ Kw}$ et le rendement de la chaîne cinématique étant $\eta = 0.8$.

$$\eta = \frac{P_m}{P_u} \Rightarrow P_u = P_m \times \eta = 5 \times 0.8 = 4$$

$$P_u = 4 \dots \text{KW}$$

B -16. Calculer l'effort de coupe F_c sachant que $f = 0.1 \text{ mm/tr}$, $a_p = 2 \text{ mm}$, $K_s = 3000 \text{ N/mm}^2$.

$$F_c = K_s \times f \times a_p = 3000 \times 0.1 \times 2 = 600 \text{ N}$$

$$F_c = 600 \dots\dots\dots \text{N}$$

B -17. En déduire la vitesse de coupe et la durée de vie correspondante pour une exploitation maximale de la machine.

$$P_u = (F_c \times V_c) / (60 \times 1000) \Rightarrow V_c = (P_u \times 60 \times 1000) / F_c$$

$$= (4 \times 60 \times 1000) / 600 = 400$$

$$V_c = 400 \dots\dots\dots \text{m/min}$$

$$T_{V_{cmax}} = 2.1 \dots\dots\dots \text{min}$$

B -18. Calculer le temps de coupe de la surface (C4).

$$t_c = \frac{L}{V_f} \quad ; \quad N = \frac{1000 V_c}{\pi D} = \frac{1000 \times 400}{3.14 \times 68} = 1873.36 \text{ tr/min}$$

$$V_f = N \times f = 1873.36 \times 0.1 = 187.34$$

$$t_c = \frac{20}{187.34} = 0.107 \text{ min}$$

$$t_c = 0.107 \dots\dots\dots \text{min}$$

B -19. Déterminer le nombre d'arêtes nécessaires pour l'usinage de la série de 5000 pièces.

$$\text{Nb de pièce par arêtes} = \frac{T}{t_c} \times \frac{2.1}{0.1067} = 19.68 \text{ soit } 19 \text{ pièces}$$

$$\text{Nb de arêtes total} = 5000 / 19 = 263.157 = 264$$

$$\text{Nombre d'arêtes} = 264 \dots\dots\dots$$

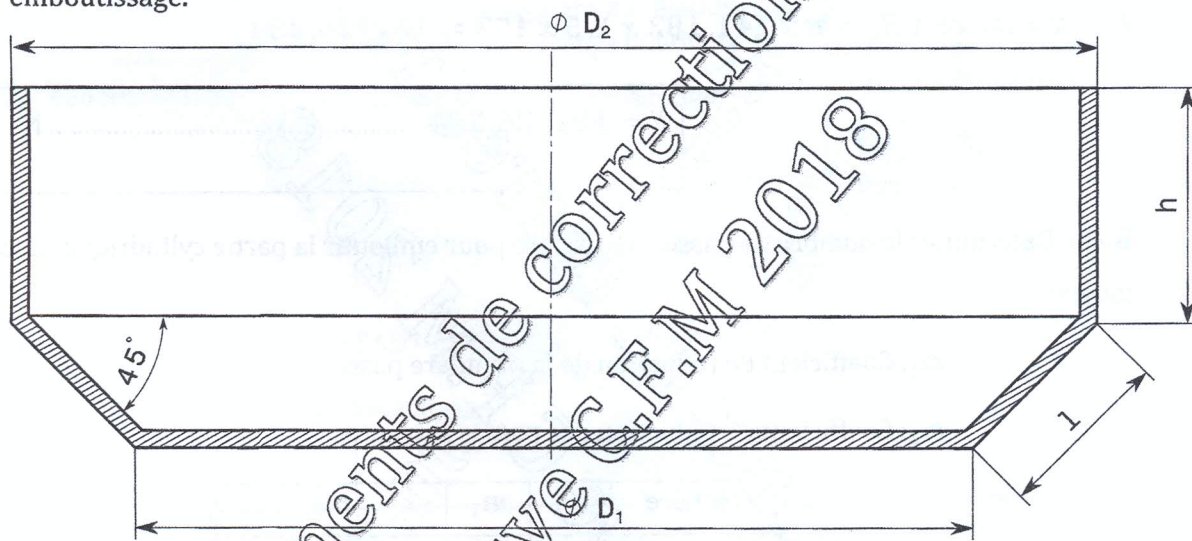
B -20. En déduire le nombre de plaquettes sachant qu'une plaquette possède 4 arêtes.

$$\text{Nb de plaquettes} = \text{Nb de arêtes} / 4 = 264 / 4 = 66$$

Nombre de plaquettes = 66

3- Mise en forme par déformation plastique

Le cache-moyeu (12) présenté ci-dessous est obtenu en utilisant le procédé de mise en forme par emboutissage.



Données :

$$\phi D_1 = 75 \text{ mm}, \quad \phi D_2 = 95 \text{ mm}, \quad h = 25 \text{ mm}, \quad l = 14.14 \text{ mm},$$

Matière tôle : tôle noire

Épaisseur de tôle : $e = 1.5 \text{ mm}$

B -21. Démontrer que le diamètre de flan D_f s'écrit sous la forme :

$$D_f = \sqrt{D_1^2 + 2 \cdot l \cdot (D_2 + D_1) + 4 \cdot h \cdot D_2}$$

$$\frac{\pi \cdot D_f^2}{4} = 2 \cdot \pi \cdot \left(\sum L_i \cdot G_i \right) = 2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{D_1}{2} \cdot \frac{D_1}{4} + \frac{l \cdot (D_2 + D_1)}{4} + \left(h \frac{D_2}{2} \right) \right)$$

$$= 2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{D_1^2}{8} + \frac{l \cdot D_2}{4} + \frac{l \cdot D_1}{4} + h \frac{D_2}{2} \right)$$

$$D_f^2 = D_1^2 + 2 \cdot l \cdot (D_2 + D_1) + 4hD_2 \Rightarrow D_f = \sqrt{D_1^2 + 2 \cdot l \cdot (D_2 + D_1) + 4 \cdot h \cdot D_2}$$

B-22. Calculer le diamètre initial du flan

$$D_f = \sqrt{D_1^2 + 2.l.(D_2 + D_1) + 4.h.D_2}$$

$$D_f = \sqrt{75^2 + 2 \times 14.14.(95 + 75) + 4 \times 25 \times 95} = 141.182$$

$$D_f = 141.182 \text{mm}$$

B-23. Calculer l'effort de découpage du flan sachant que la résistance au cisaillement est définie par $R_c = 152 \text{ N/mm}^2$.

$$F = \pi \times D_f \times e \times R_c = \pi \times 141.182 \times 1.5 \times 152 = 101126.284$$

$$F = 101126.284 \text{ N}$$

B-24. Déterminer le nombre de passes nécessaire pour embouter la partie cylindrique du cache-moyeu.

m_1 : Coefficient de réduction de la première passe

m_2 : Coefficient de réduction des passes suivantes

Matière	m_1	m_2
Tôle noire	0.63	0.80

$$D_1 = m_1 \times D = 0.63 \times 141.182 = 88.944$$

Il faut une seule passe

$$\text{Nombre de passes} = 1 \text{}$$

B-25. Calculer la force d'emboutissage de la passe de finition avec $R_m = 190 \text{ N/mm}^2$.

$$\frac{d}{D_f} = \frac{95}{141.182} = 0.67 \Rightarrow K = 0,7$$

$$F_{emb} = K.\pi.D.e.R_m = 0.7 \times \pi \times 95 \times 1.5 \times 190$$

$$F_{emb} = 59541.034 \text{ N}$$