



SERVICES CULTURE ÉDITIONS  
RESSOURCES POUR  
L'ÉDUCATION NATIONALE

**Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel**

**Campagne 2009**

Ce fichier numérique ne peut être reproduit, représenté, adapté ou traduit sans autorisation.

CRDP Aquitaine

**BTS MAINTENANCE ET EXPLOITATION  
DES  
MATERIELS AERONAUTIQUES**

**- SESSION 2009 -**

**Epreuve U4 :** Mécanique et résistance des matériaux appliquées à la technologie des cellules et des systèmes.

**1<sup>ère</sup> partie :** Mécanique et résistance des matériaux

**Durée : 5h**

**Coefficient : 3**

Le sujet proposé porte sur l'étude du freinage d'un avion de ligne, il comporte 3 études indépendantes :

**1<sup>ère</sup> Etude : COMPORTEMENT DE L'AVION DURANT LE FREINAGE**

**2<sup>ème</sup> Etude : ETUDE MECANIQUE DES FREINS**

**3<sup>ème</sup> Etude : DESSIN EN PERSPECTIVE A MAIN LEVEE**

Afin de faciliter la correction, rédiger les études 1 et 2 sur des copies différentes, le document DR1 ou DR2 sera inséré dans une copie

**Matériels autorisés :**

- Calculatrice réglementaire
- Matériel du dessinateur
- Tous documents autorisés

**Avant de commencer l'épreuve, les candidats sont invités :**

- à vérifier que le dossier est complet
- à lire tout le sujet

## **TEXTE DU SUJET**

**Ce dossier comporte 5 pages numérotées de 1 à 5**

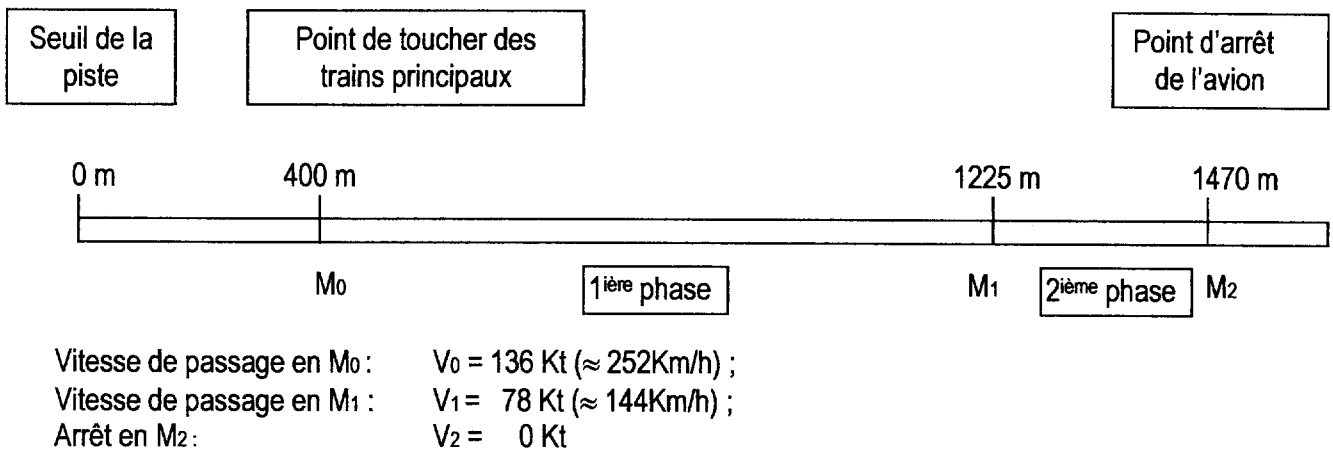
## PREMIERE ETUDE

### I - COMPORTEMENT DE L'AVION DURANT LE FREINAGE.

Lors de l'atterrissage, le pilote de l'avion choisit d'effectuer le freinage en 2 phases :

- 1<sup>ère</sup> phase : Utilisation des inverseurs de poussée après que les trains principaux aient touché la piste de 400 à 1225 m.
- 2<sup>ème</sup> phase : Utilisation des freins des deux trains principaux seuls de 1225 à 1470 m.

#### Vue de dessus de la piste d'atterrissage :



#### I-1 CINEMATIQUE :

**Objectifs :** Calcul des accélérations et de l'angle de rotation des roues des trains principaux

**Hypothèses :** voir DT1

- La poussée des inverseurs ( $\vec{R}_{inv.}$ ), la résistance de l'air ( $\vec{R}_{air \rightarrow avion}$ ), la résistance au roulement des roues ( $\vec{R}_{roul.}$ ) et les couples de freinage étant constants durant les phases considérées, les mouvements sont donc **uniformément variés**.

**Données :** voir ci dessus

**Questions :**

I-1-1 Calculer la décélération  $\gamma_{01}$ , durant la première phase, en déduire la durée  $\Delta t_{01}$ .

I-1-2 Calculer la décélération  $\gamma_{12}$ , durant la seconde phase, en déduire la durée  $\Delta t_{12}$ .

I-1-3 Calculer l'angle en radians et le nombre de tours effectués par les roues freinées des trains principaux durant la seconde phase en tenant compte de l'écrasement des pneus. (voir DT3 1-4)

## **I-2 ENERGETIQUE :**

**Objectifs :** Calcul de la poussée des inverseurs et du couple de freinage des freins des trains principaux

**Hypothèses :** voir DT1

- La poussée des inverseurs est constante durant la première phase
- Les résistances aérodynamiques ( $\vec{R}_{\text{air} \rightarrow \text{avion}}$ ) participent pour 10% aux pertes d'énergie cinétique lors de la première phase, puis deviennent négligeable lors de la seconde phase.
- La résistance au roulement des roues ( $\vec{R}_{\text{roul.}}$ ) est constante, elle est évaluée à 2% du poids de l'avion.

**Données :** voir DT1, I-2 DT2 et I-3 DT3

- Masse de l'avion lors de l'atterrissage :  $M = 46800 \text{ Kg}$ ,  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
- Quelque soit le résultat trouvé à la question 1-3, prendre  $\theta_{12} = 500 \text{ radians}$

**Questions :**

***Appliquer dans les deux cas le théorème de l'énergie cinétique à l'avion***

I-2-1 Première phase :

Calculer l'énergie dissipée par le freinage du à la poussée des inverseurs ( $\vec{R}_{\text{inv.}}$ ), en déduire la valeur moyenne de cette poussée.

I-2-2 Seconde phase :

Exprimer le travail résistant des freins à partir du couple de freinage ( $C_f$ ). Calculer l'énergie de freinage due aux freins des trains principaux, en déduire la valeur moyenne du couple de freinage ( $C_f$ ) de chaque frein.

## **I-3 STATIQUE :**

**Objectifs :** Calcul de la position du centre de gravité

**Hypothèses :** voir DT1

- L'avion est arrêté sur la piste horizontale

**Données :** voir DT1 et I-1 DT2

- La répartition des masses est de 15% sur le train avant et de 85% sur les trains principaux
- La distance entre les deux trains principaux et le train avant est définie par l'empattement.

**Questions :**

***Appliquer le principe fondamental de la statique à l'avion***

I-3 Déterminer la valeur des paramètres de position  $a$  et  $b$  du centre de gravité  $G$  de l'avion

## **I-4 DYNAMIQUE :**

**Objectifs :** calcul de la répartition des efforts sur les trains d'atterrissage durant la seconde phase

**Hypothèses :** voir DT1

- L'accélération  $\gamma_{12}$  est constante
- La résistance au roulement est négligée

**Données :** voir DT1 et DT3

- Quelque soit le résultat trouvé à la question 1-2, prendre  $\gamma_{12} = - 3,5 \text{ m/s}^2$
- Quelque soient les résultats trouvés à la question 3, prendre  $a = 10,50 \text{ m}$  et  $b = 1,70 \text{ m}$

**Questions :**

***Appliquer le principe fondamental de la dynamique à l'avion***

I-4-1 Calculer les valeurs des efforts exercés par la piste sur le train avant  $\vec{A}_{0 \rightarrow 1}$  et sur le train arrière  $\vec{B}_{0 \rightarrow 1}$ , en déduire la répartition des masses.

I-4-2 Calculer la valeur minimale du coefficient d'adhérence des roues des trains principaux sur la piste

## II - ETUDE MECANIQUE DES FREINS

### II-1 ETUDE du RESSORT de RAPPEL 2 :

**Objectifs :** *Calcul de l'effort résistant produit par le ressort*

**Données :** Voir DT6 et DT7

**Questions :**

II-1-1 Calculer la raideur K du **Ressort de rappel 2**

II-1-2 Calculer l'effort résistant produit par le **Ressort de rappel 2** pour le déplacement maximal du **Piston presseur 9**,

II-1-3 Calculer la contrainte dans le fil, pour le déplacement maximal et déterminer le coefficient de sécurité.

### II-2 ETUDE du PISTON PRESSEUR 9 :

**Objectifs :** *Calcul de l'effort produit par le Piston presseur 9 sur la plaque de poussée*

**Hypothèses :**

- Les liaisons du **Piston presseur 9** par rapport à la **Chemise 3**, aux joints et au **Segment racleur 7** sont supposées parfaites.

**Donnés :** voir DT6

- La pression maximale d'alimentation du **Piston presseur 9** est de 110 bars en fonctionnement normal.
- Quelque soit l'effort calculé à la question II-1-2, prendre un effort de 1500N

**Questions :**

II-2-1 Calculer l'effort résultant exercé par le fluide sous pression sur le **Piston presseur 9**

II-2-2 Calculer l'effort produit par le **Piston presseur 9** sur la plaque de poussée

### II-3 COUPLE DE FREINAGE :

**Objectifs :** *Calcul du couple maximal de freinage*

**Hypothèses :**

- Les liaisons glissières des **disques rotors** par rapport à la roue et des **disques stators** par rapport à l'essieu sont supposées parfaites.

**Donnés :** voir DT4 et DT5

- Les surfaces de frottement entre les disques ont un diamètre extérieur  $D = 350$  mm et un diamètre intérieur  $d = 250$  mm ;
- Coefficient de frottement  $f = 0,7$
- Sept **Pistons presseurs 9** agissent simultanément sur la plaque de poussée.
- Quelque soit l'effort calculé à la question II-2-2, prendre 13000N

**Questions :**

II-3-1 Déterminer le nombre  $n$  de contacts utiles du frein

II-3-2 Calculer le couple de freinage ( $C_f$ ) produit par les freins

II-3-3 Comparer cette valeur avec la valeur obtenue à la question I-2-2, conclusion.

### TROISIEME ETUDE

### III – DESSIN DE LA CHEMISE 3 DU CYLINDRE RECEPTEUR DU FREIN

**Donnés :** Le document DT6 représente le dessin du cylindre récepteur à l'échelle 1

**Question :**

Représentez la **Chemise 3** en perspective, 1<sup>er</sup> quart enlevé ( $X > 0$ ,  $Y > 0$  et  $Z > 0$ ), à main levée, à l'échelle de votre choix,

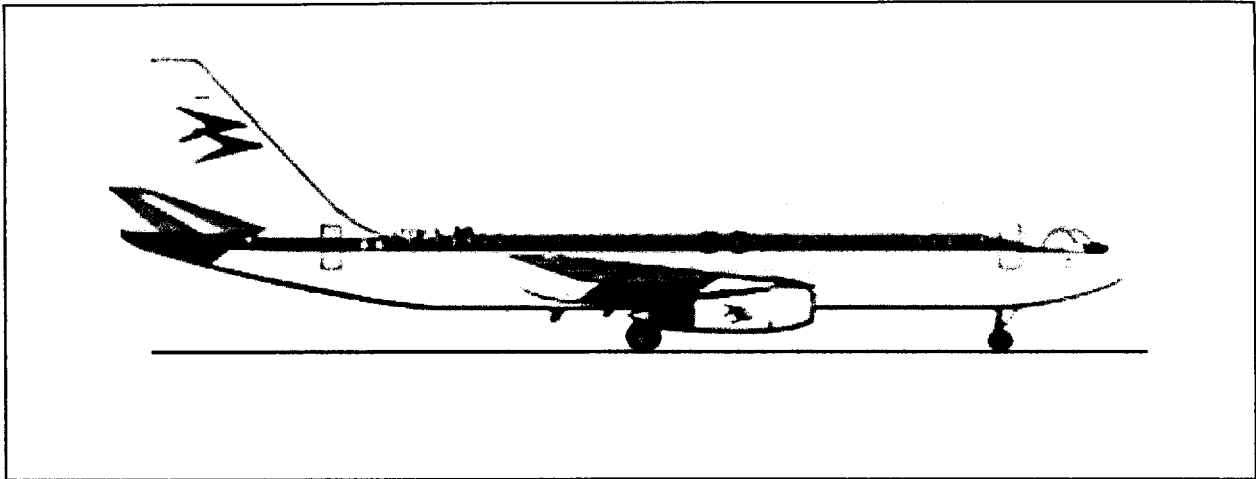
- Perspective isométrique sur le document DR1
- Perspective cavalière sur le document DR2

**Respecter le système d'axe donné sur le document DT6 et sur les documents DR1 et DR2**



# **DOSSIER TECHNIQUE**

**Ce dossier comporte 7 pages repérées : DT1, DT2, DT3, DT4, DT5, DT6 et DT7**



<b>Caractéristiques de l'avion</b>	
<i>Envergure ; Longueur ; Hauteur</i>	30,55 m ; 34,84 m ; 11,35 m
<i>Surface ailaire</i>	116 m <sup>2</sup>
<i>Masse à vide ; Masse max.</i>	31800 kg ; 56500 kg
<i>Vitesse max. ; Vitesse de croisière</i>	925 Km/h ; 870 Km/h
<i>Vitesse ascensionnelle</i>	1000 m/mn
<i>Plafond d'utilisation</i>	12000 m
<i>Distance de décollage</i>	2750 m
<i>Distance d'atterrissage</i>	1650 m
<i>Distance franchissable</i>	1700 Km
<i>2 Réacteurs</i>	Pratt & Whitney JT8D-15 de 7030 kg de poussée chacun.

<b>Caractéristiques du train d'atterrissage de type tricycle</b>	
<i>Empattement ; Voie</i>	12,2 m ; 6,2 m
<i>Un train avant directionnel à deux roues diablo</i>	
<i>Deux trains principaux à deux roues diablo équipées de freins à disques</i>	
<i>Pneumatiques des trains principaux</i>	46X16-20Pr

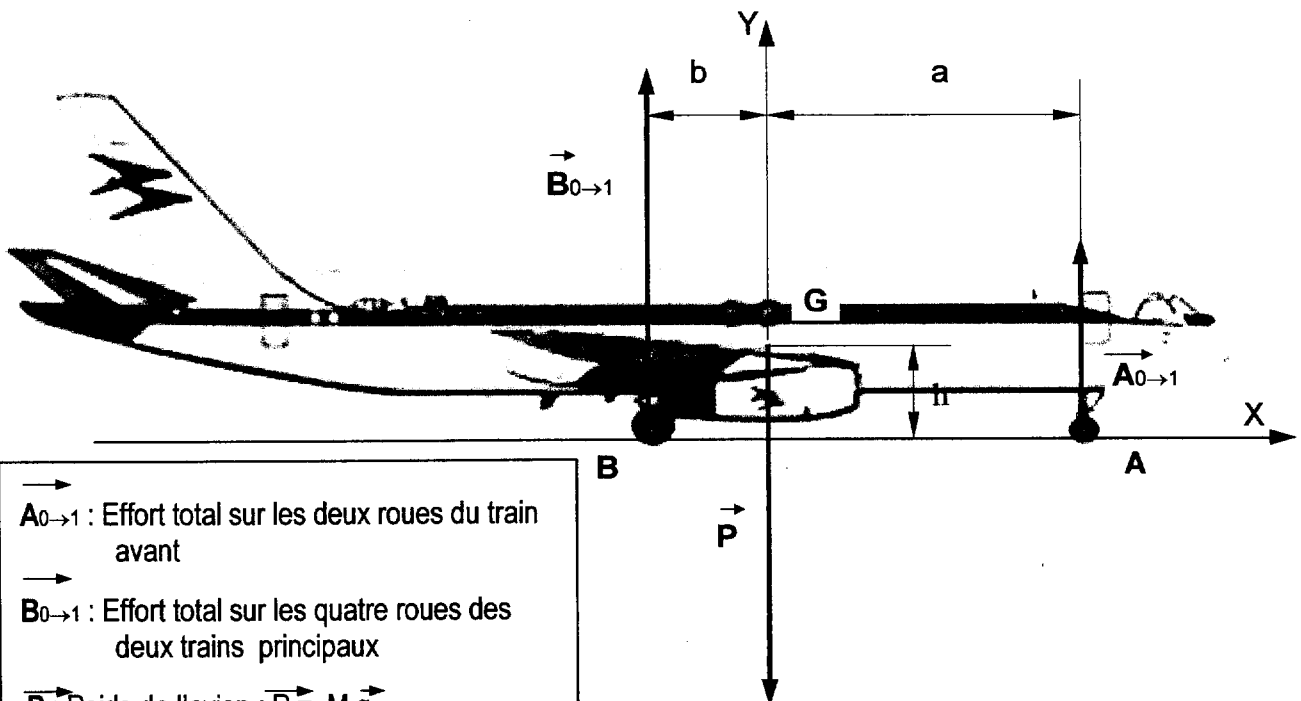
## **I Configuration des efforts exercés sur l'avion à l'arrêt et lors des différentes phases de l'atterrissage:**

### **Hypothèses :**

- L'avion présente un plan de symétrie longitudinal OXY, le point G centre de gravité appartient à ce plan
- L'avion suit une trajectoire rectiligne horizontale parallèle à l'axe OX
- Les différents efforts seront tous ramenés dans le plan de symétrie

### **Données :**

- Masse de l'avion à l'atterrissage :  $M = 46800 \text{ Kg}$ ,  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

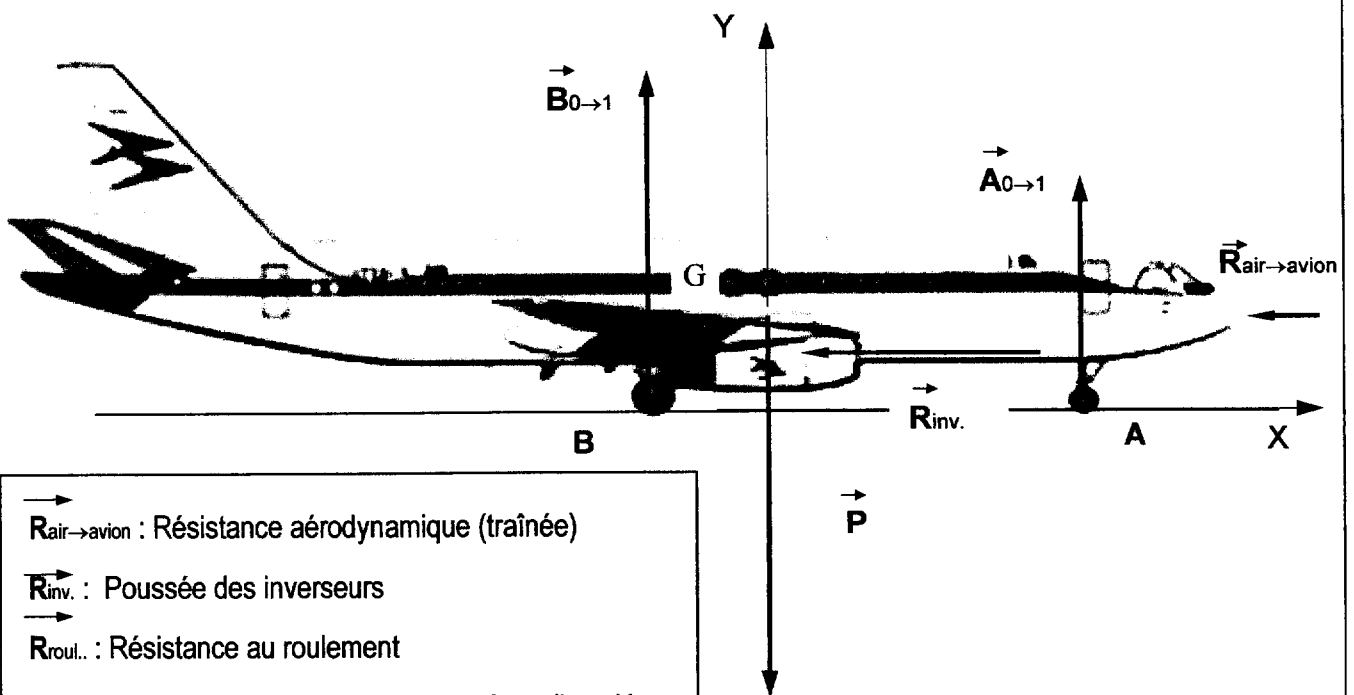
**I-1 Avion à l'arrêt sur la piste horizontale :**

$\vec{A}_{0 \rightarrow 1}$  : Effort total sur les deux roues du train avant

$\vec{B}_{0 \rightarrow 1}$  : Effort total sur les quatre roues des deux trains principaux

$\vec{P}$  : Poids de l'avion ;  $\vec{P} \equiv M \vec{g}$

$a + b = \text{Empattement} = 12,2 \text{ m}$  ;  $h = 3,5 \text{ m}$

**I-2 PREMIERE PHASE : Freinage avec inverseurs de poussée seuls :**

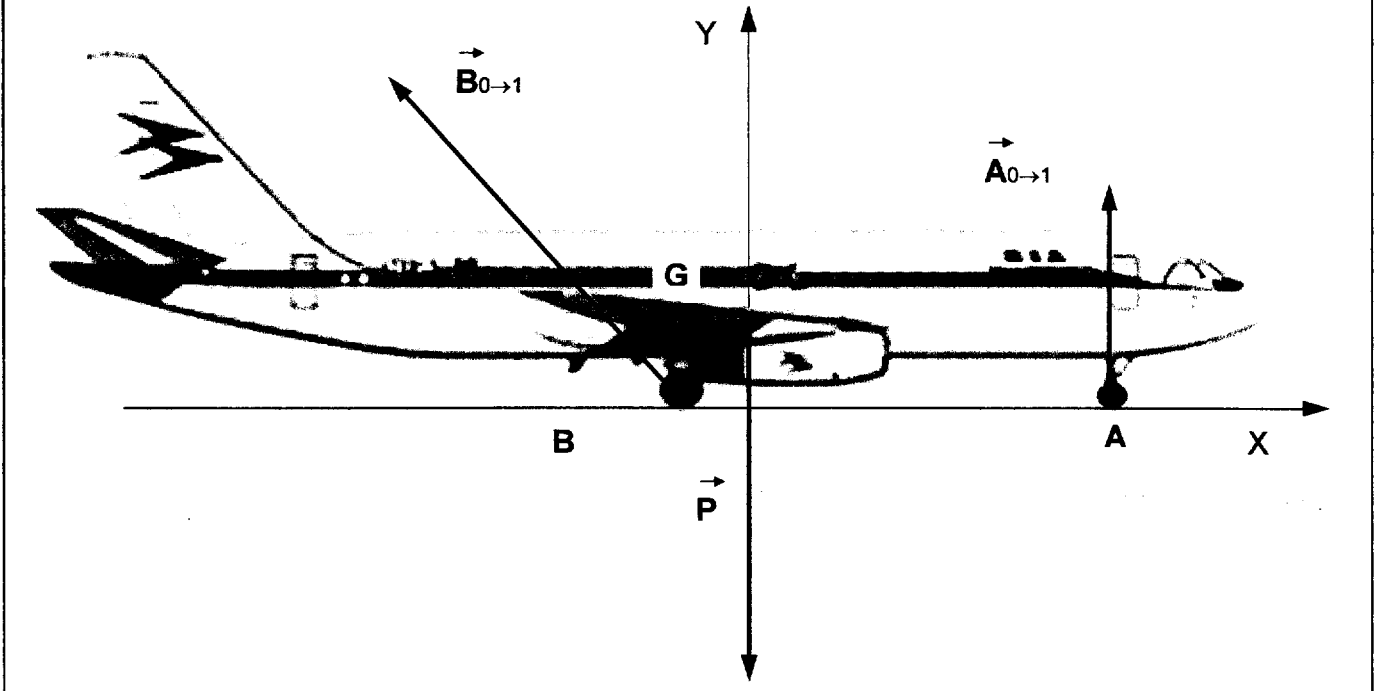
$\vec{R}_{\text{air} \rightarrow \text{avion}}$  : Résistance aérodynamique (traînée)

$\vec{R}_{\text{inv.}}$  : Poussée des inverseurs

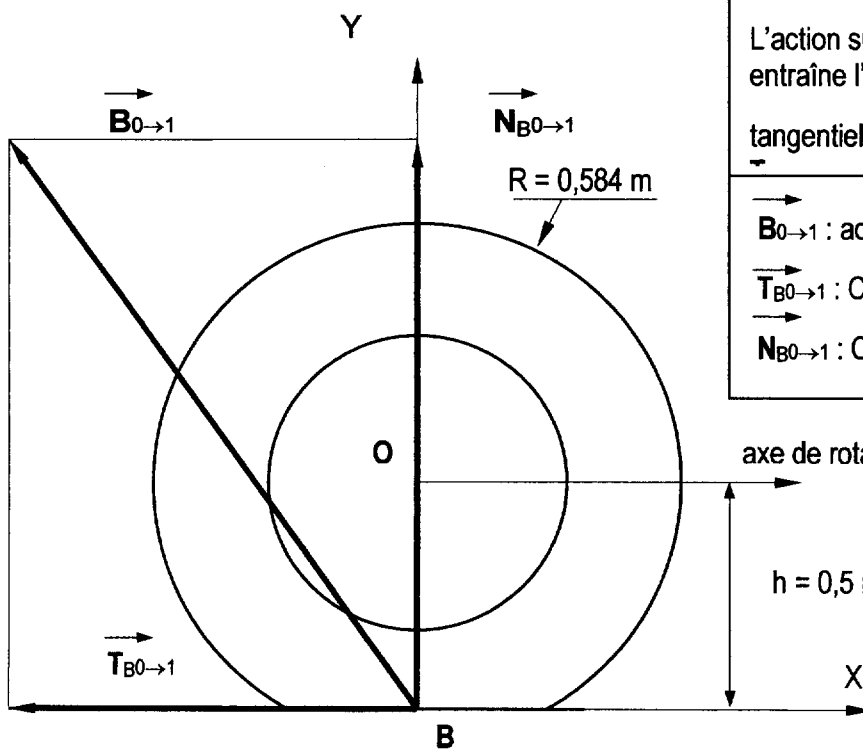
$\vec{R}_{\text{roul.}}$  : Résistance au roulement

Ces 3 efforts sont horizontaux dirigés suivant l'axe X

### I-3 SECONDE PHASE : Freinage avec freins des trains principaux seuls:



### 1-4 Représentation simplifiée de l'effort $\vec{B}_{0 \rightarrow 1}$ durant la seconde phase:



L'action sur les freins des trains principaux entraîne l'apparition de la composante tangentielle

$\vec{B}_{0 \rightarrow 1}$  : action de la piste les roues

$\vec{T}_{B0 \rightarrow 1}$  : Composante tangentielle

$\vec{N}_{B0 \rightarrow 1}$  : Composante normale

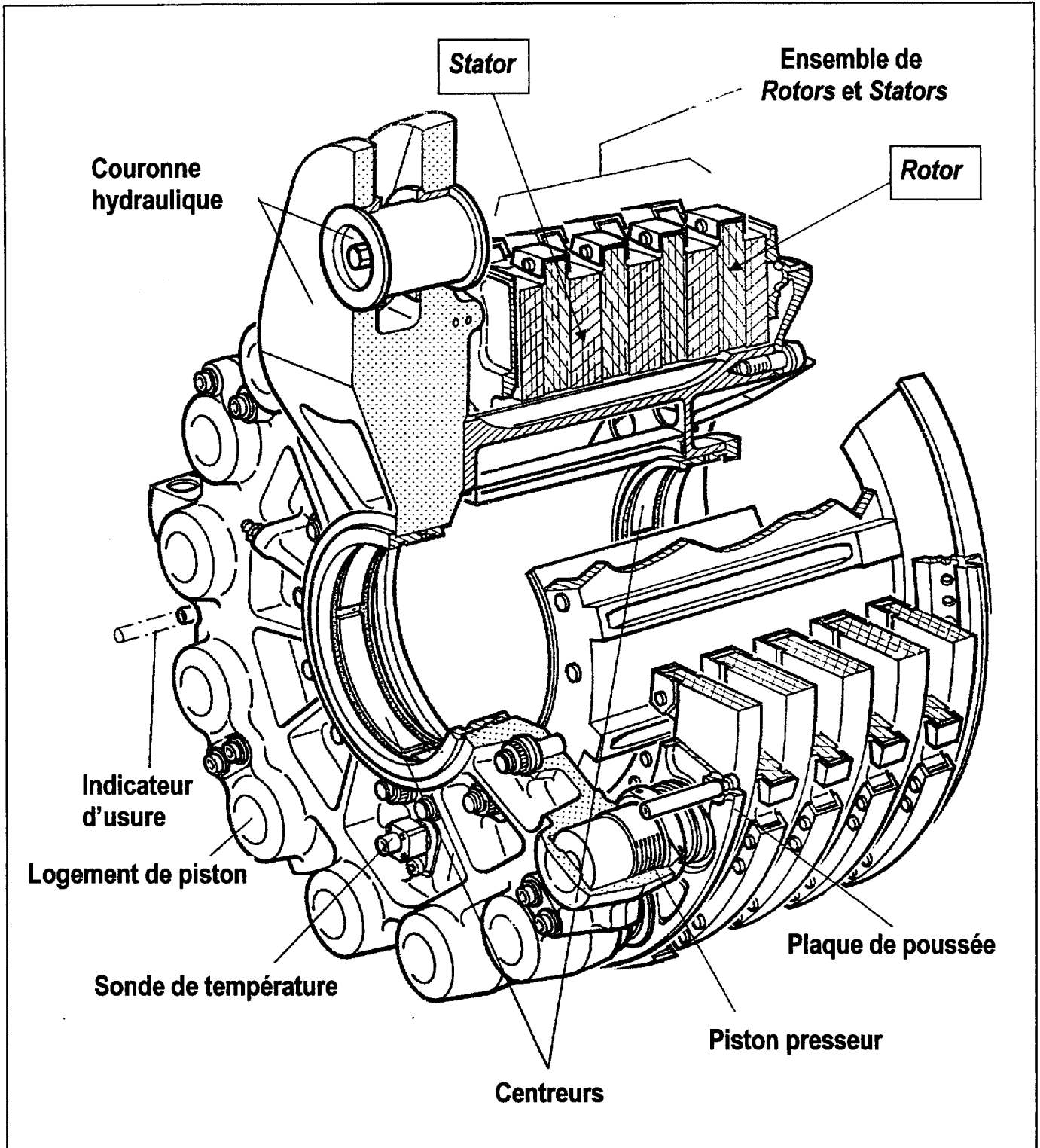
axe de rotation des roues = OZ

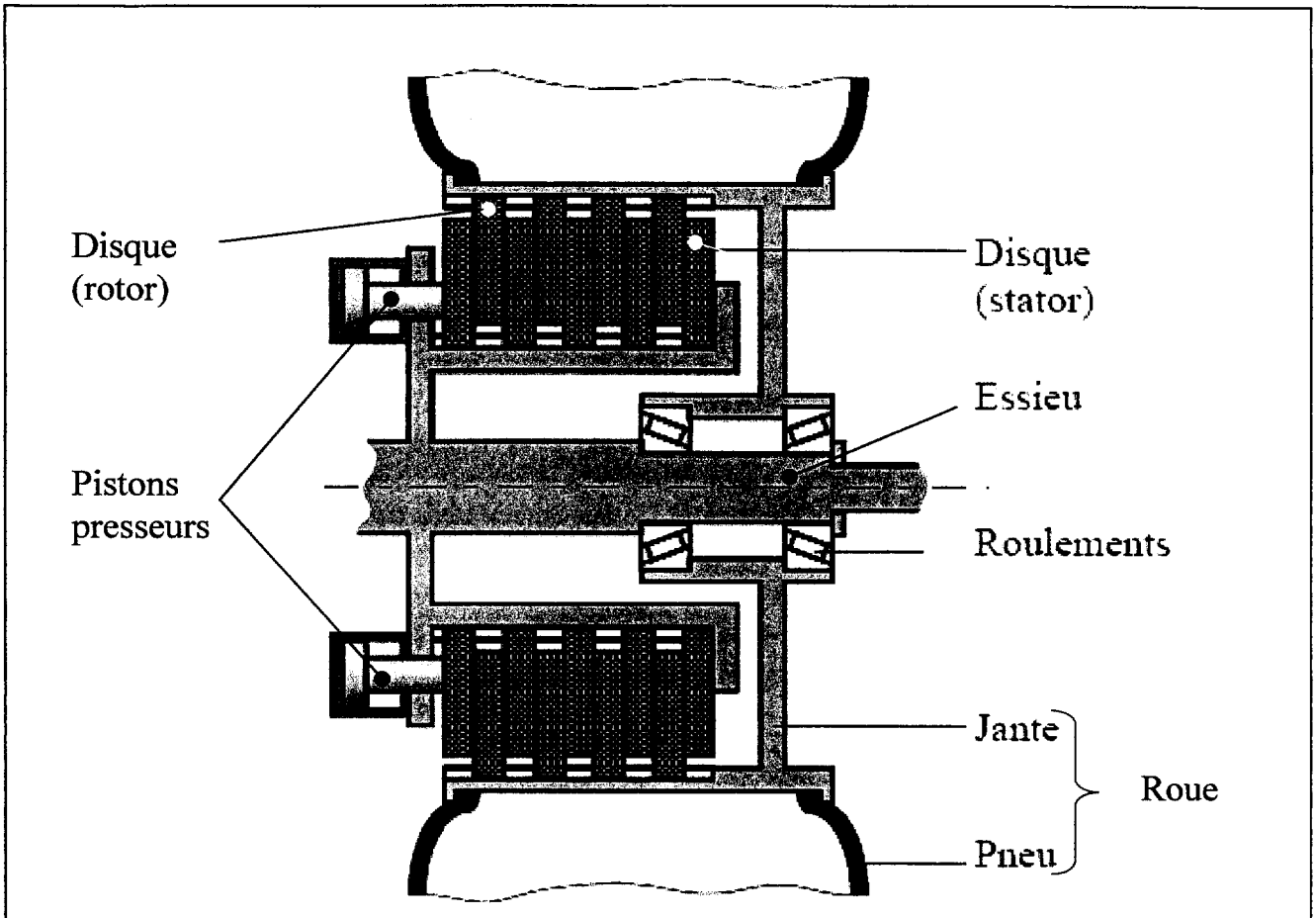
$h = 0,5 \text{ m}$  après écrasement du pneu

## II Frein à disques du train principal

Le freinage de chaque roue des trains principaux est assuré par des freins à disques.

### II-1 Constitution et fonctionnement du frein :





Les disques de frein sont en liaison glissière avec la roue ou avec l'essieu

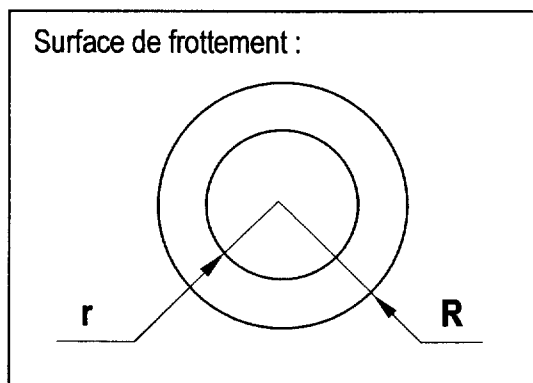
Les disques **ROTORS** sont en liaison glissière avec la roue, ils tournent avec elle.

Les disques **STATORS** sont en liaison glissière avec l'essieu du train d'atterrissage ils ne tournent pas.

Les disques sont montés en alternance, ils sont poussés les uns sur les autres par 7 pistons presseurs disposés dans la couronne hydraulique. Ce sont ainsi les frottements des **ROTORS** sur les **STATORS** qui assurent le freinage.

Le premier disque sur lequel agissent les 7 **PISTONS** à l'origine des efforts presseurs est un **STATOR**, le dernier disque est également un **STATOR**.

## II-2 Calcul du couple de freinage :



$$C_f = \frac{2}{3} \cdot n \cdot f \cdot P \cdot \frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2}$$

$C_f$  : Couple de freinage (N.m)

$R$  : rayon maxi de la surface de frottement (m)

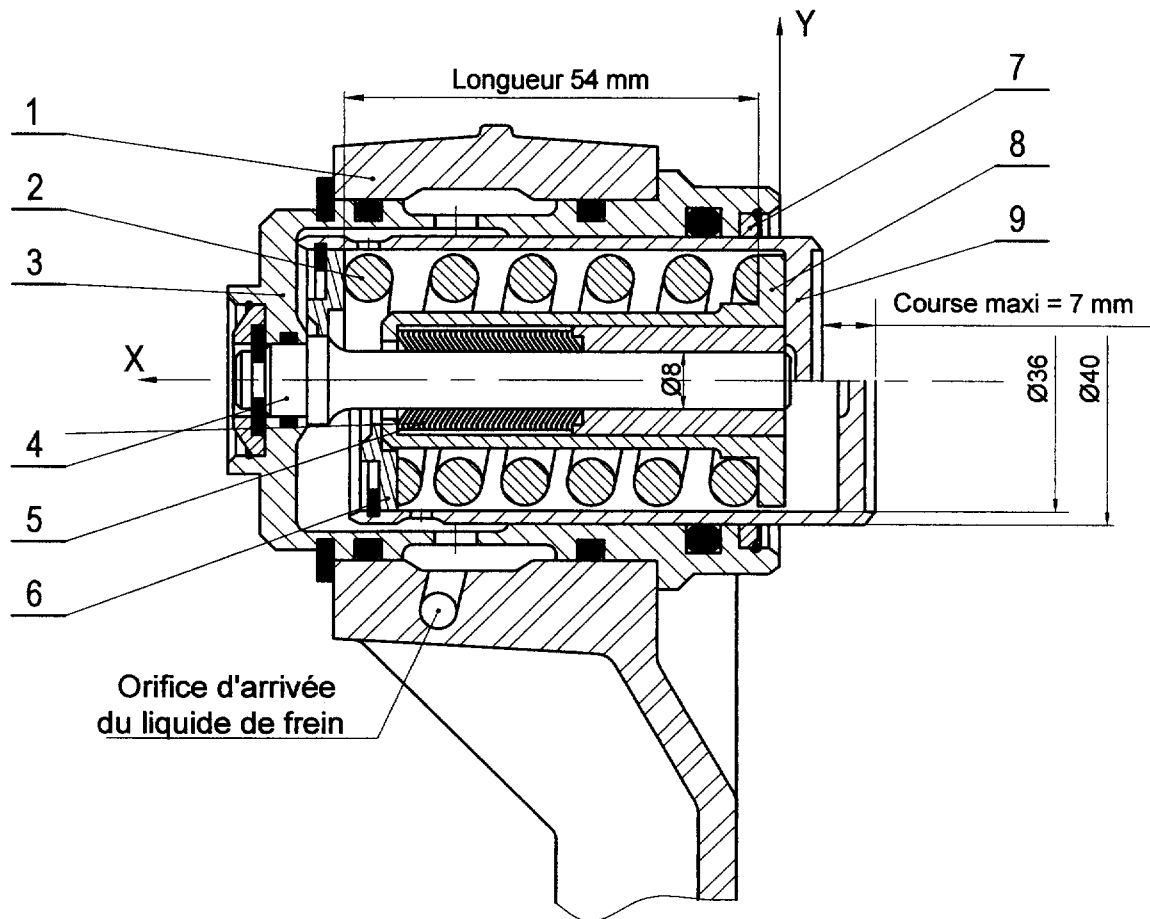
$r$  : rayon mini de la surface de frottement (m)

$n$  : nombre de contacts utiles = nombre de contacts entre rotors et stators avec glissement

$f$  : Coefficient de frottement rotor / stator

$P$  : effort presseur (N)

## CYLINDRE RECEPTEUR et son PISTON PRESSEUR



4	1	Tige de friction	9	1	Piston presseur
3	1	Chemise	8	1	Guide
2	1	Ressort de rappel	7	1	Segment racleur
1	1	Couronne hydraulique	6	1	Rondelle d'assise
NOMENCLATURE PARTIELLE			5	56	Rondelle élastique "fixe rapide"

Remarque: Le ressort 2 est précontraint de 4 mm au montage

### Fonctionnement :

Le liquide de frein sous pression est distribué dans la **Couronne hydraulique 1** au 7 cylindres du circuit principal, la pression s'exerce sur les **Pistons presseurs 9** et provoque l'effort presseur sur les disques

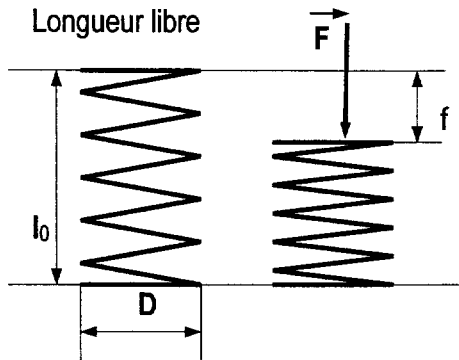
### Rattrapage de l'usure des disques :

Le système de rattrapage de l'usure des disques est constitué de la **Tige de friction 4**, du **Guide 8** et des **Rondelles élastiques 5**

Quand l'usure totale des disques dépasse la valeur maximale de déplacement du **Piston 9** (7 mm), alors la **Rondelle d'assise 6** pousse le **Guide 8**, les **Rondelles élastiques 5** glissent sur la **Tige de friction 4** se bloquent et bloquent le **Guide 8** dans cette nouvelle position par arc-boutement. La position de l'ensemble **Piston 9**, **Guide 8** se trouve donc légèrement décalée, le **Piston 9** recule de 7mm par rapport à la nouvelle position du **Guide 8**.

**II-4 Calcul du ressort :****Raideur d'un ressort de compression:**

$$K = \frac{G d^4}{8 D^3 n}$$



**K**: Raideur du ressort ( N / mm )  
**G**: module d'élasticité ( N / mm<sup>2</sup> )  
**d**: diamètre du fil ( mm )  
**D**: diamètre d'enroulement ( mm )  
**n**: nombre de spire utile

La relation  $F = K f$  exprime la proportionnalité entre la flèche  $f$  et l'effort  $F$  qui comprime le ressort

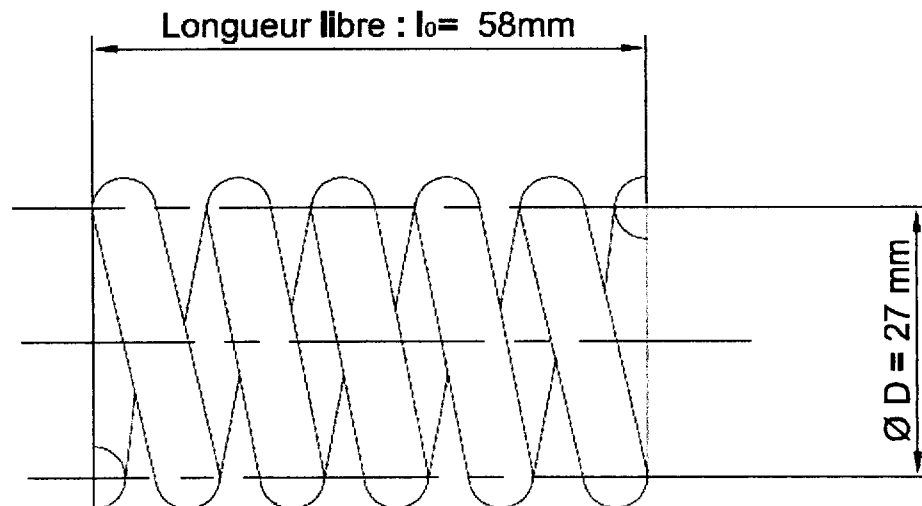
**F**: effort appliqué sur le ressort ( N )  
**f**: flèche du ressort ( mm )  
**l<sub>0</sub>**: longueur libre

**Sollicitation du fil:**

La sollicitation à laquelle est soumise le fil du ressort de compression est une sollicitation de torsion.

Expression de la **contrainte**:

$$\tau_{\text{Max}} = \frac{8 F_{\text{Max}} D}{\pi d^3}$$

**CARACTERISTIQUES DU RESSORT de RAPPEL**

Nombre de spires utiles :  $n = 5$

Diamètre du fil :  $d = 6 \text{ mm}$

Acier :  $R_{pg} = 800 \text{ MPa}$  ;  $G = 80000 \text{ MPa}$



## **DOCUMENTS REPONSES**

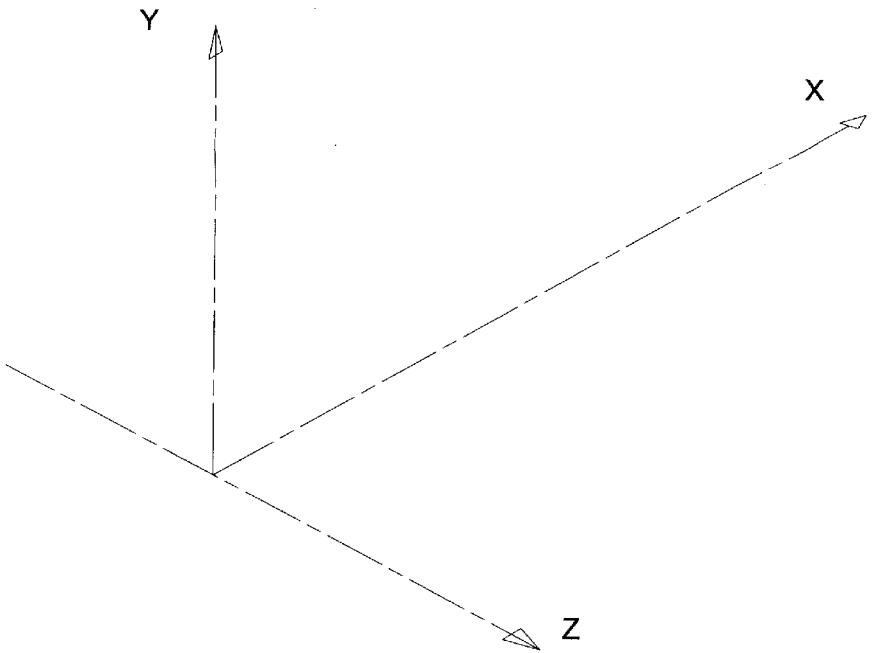
**Ce dossier comporte 2 pages repérées : DR1 et DR2**

Académie : \_\_\_\_\_ Session : \_\_\_\_\_  
Examen ou Concours \_\_\_\_\_ Série\* : \_\_\_\_\_  
Spécialité/option\* : \_\_\_\_\_ Repère de l'épreuve : \_\_\_\_\_  
Épreuve/sous-épreuve : \_\_\_\_\_  
NOM : \_\_\_\_\_  
(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)  
Prénoms : \_\_\_\_\_ N° du candidat   
Né(e) le : \_\_\_\_\_  
(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

DANS CE CADRE  
NE RIEN ÉCRIRE

\* Uniquement s'il s'agit d'un examen.

MEMRMAT1



Troisième partie: Perspective isométrique

DR1

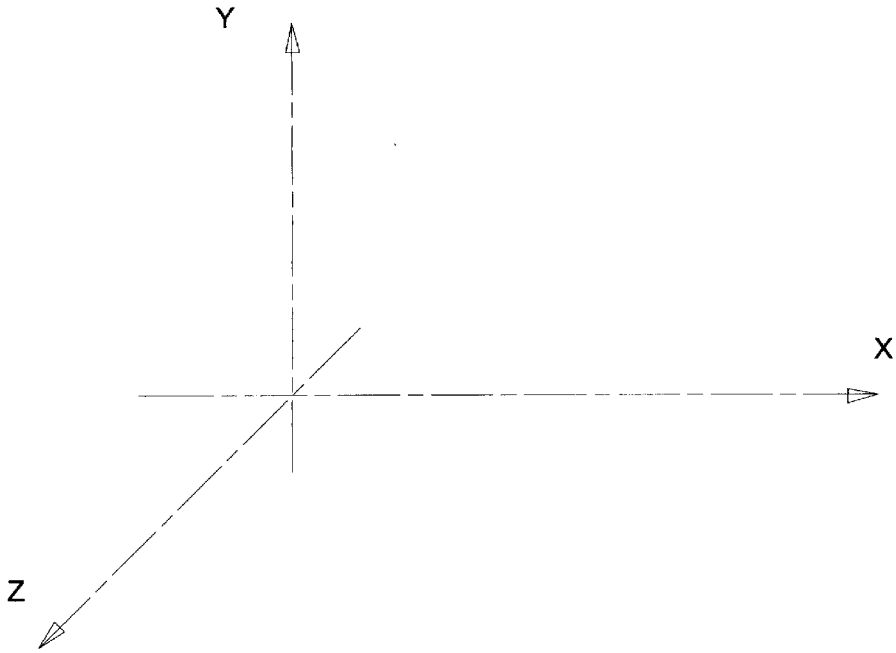
Académie : \_\_\_\_\_ Session : \_\_\_\_\_  
Examen ou Concours \_\_\_\_\_ Série\* : \_\_\_\_\_  
Spécialité/option\* : \_\_\_\_\_ Repère de l'épreuve : \_\_\_\_\_  
Épreuve/sous-épreuve : \_\_\_\_\_  
NOM : \_\_\_\_\_  
(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)  
Prénoms : \_\_\_\_\_ N° du candidat   
Né(e) le : \_\_\_\_\_ (le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE

\* Uniquement s'il s'agit d'un examen.

MEMRMAT1



Troisième partie: Perspective cavalière

DR2