

DOSSIER

SUJET

A – Etude du véhicule à l'arrêt.

Objectif : vérifier que l'effort à exercer pour libérer le frein est acceptable par l'utilisateur.

♦ Le DEVALKART est utilisé indifféremment par des adolescents ou des adultes de poids différents. La tension initiale du ressort [15] agissant sur le frein à bande ne pouvant pas être modifiée à chaque changement d'utilisateur, deux conditions sont alors nécessaires :

- tant que l'utilisateur ne lève pas le volant, l'effort exercé par le ressort est suffisant pour maintenir le DEVALKART et son passager immobiles (face à la pente, quel que soit son poids),
- l'effort à exercer pour lever le volant et le maintenir levé, afin de permettre au DEVALKART de descendre la pente en roue libre, doit rester dans une limite acceptable quel que soit l'utilisateur : **inférieur à 100N.**

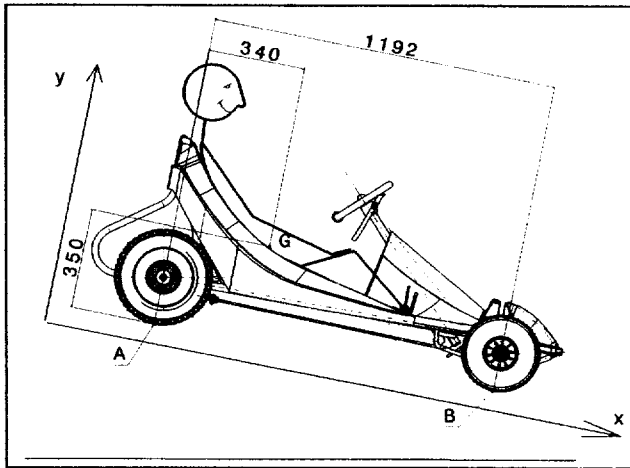
Question A-1 document réponse [DR1] et document technique [DT4].

Compléter le schéma cinématique du DEVALKART.

Evaluation du couple de freinage nécessaire au maintien du véhicule à l'arrêt.

Le conducteur s'installe au volant du DEVALKART orienté dans le sens de la descente. Tant qu'il ne lève pas le volant, le véhicule doit rester immobile sous le seul effet du frein agissant sur les roues arrière.

DEVALKART à l'arrêt, face à la pente



Données

Seules les roues arrière sont freinées.

Roues AR : ϕ 360 mm.

Roues AV : ϕ 270 mm.

G : centre de gravité de l'ensemble « conducteur + DEVALKART »,

Masse du DEVALKART : 40 kg ;

Masse du conducteur : 80 kg ;

Pente maxi : 20%,

angle Ox/horizontale \approx 11,5°;

Accélération de la pesanteur : $g \approx 10 \text{ m/s}^2$;

Coefficient d'adhérence minimum « pneu-sol » : f ou $\mu \geq 0,5$.

Hypothèses :

- le plan [Oxy], plan médian du DEVALKART, est le plan de symétrie du point de vue géométrique et de celui des efforts,

- dans une première approche du problème et malgré le type de pneu, on considèrera que le contact des roues sur le sol est ponctuel, une hypothèse acceptable pour cette première partie de l'étude.

Question A-2 : document réponse [DR2].

Représenter les différentes actions mécaniques agissant sur l'ensemble « conducteur + DEVALKART ».

Question A-3 : document réponse [DR2].

Sachant que seules les roues arrières sont freinées, déterminer **graphiquement** l'action $\vec{A}_{\text{sol} \rightarrow \text{rouesAR}}$ par ses composantes tangentielle et normale (X_A et Y_A).

Question A-4 : réponse sur feuille de copie.

L'hypothèse de « non glissement » est-elle acceptable pour une pente de 20% ?

Justifier votre réponse à l'aide de la réponse à la question A-3.

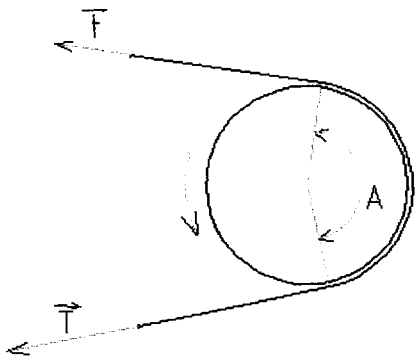
Question A-5 : réponse sur feuille de copie.

En déduire le couple de freinage minimum nécessaire sur l'ensemble des deux roues arrières.

Pour la suite du problème et vu les conditions réelles d'utilisation (types de pneumatiques, pente < 20%, irrégularité du terrain et nature du sol), **prendre $C_{f_{\max}}$** (couple de freinage maximum dû au ressort seul) = **20 N.m** (valeur très inférieure à celle trouvée précédemment, vu les hypothèses faites).

Action nécessaire du tirant [20] sur la bande de frein [22].

- **Frein à bande, rappel de technologie :**

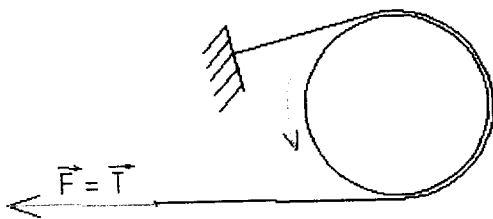


Pour notre application : $T = 3,9 \cdot t$

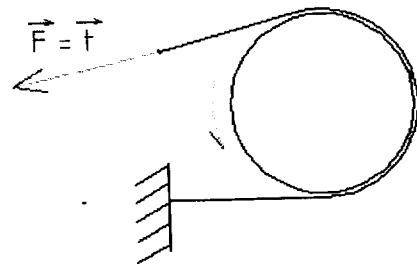
Avec T et t : tensions dans les brins de la sangle.

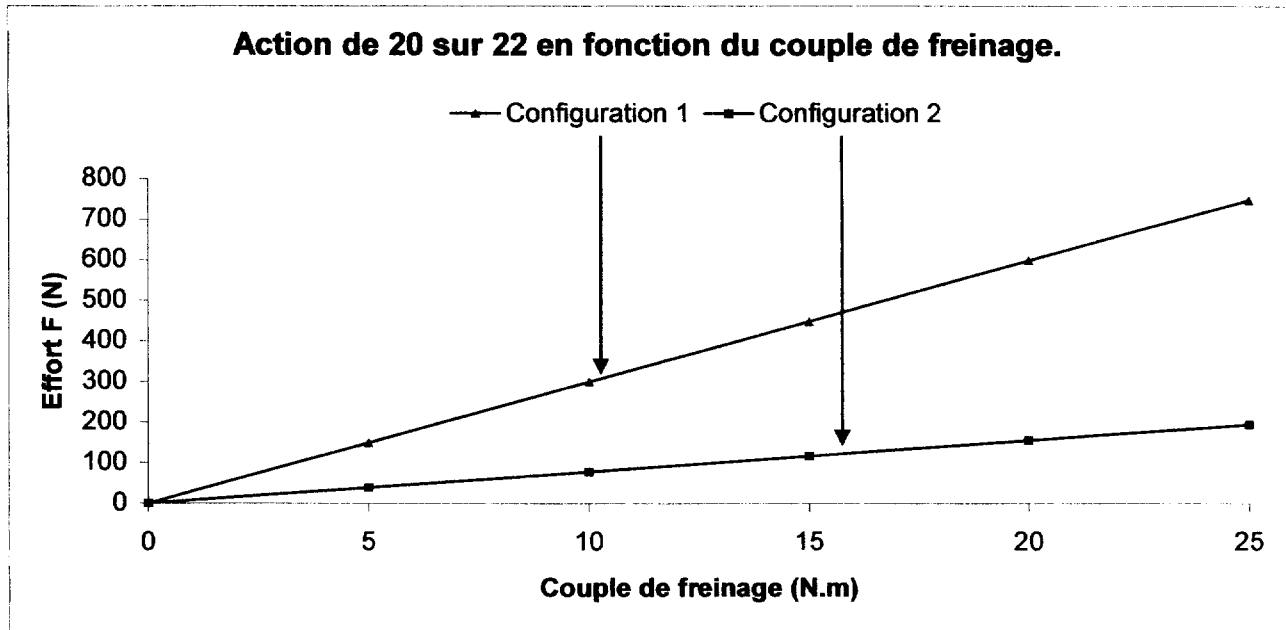
- **Deux dispositions constructives étaient possibles pour notre application :**

Configuration 1 : $(\vec{F}_{20 \rightarrow 22}) = \vec{T}$



Configuration 2 : $(\vec{F}_{20 \rightarrow 22}) = \vec{t}$





Question A-6 sur feuille de copie.

A l'aide de l'abaque ci-dessus, expliquer pourquoi le choix de la configuration 1 permet une meilleure progressivité de l'action de freinage afin d'éviter un freinage trop brutal.

Action nécessaire du ressort [15] sur la colonne de direction [12] pour maintenir le DEVALKART en position arrêtée.

Hypothèses

L'axe du ressort est perpendiculaire à celui de la colonne de direction [12].

Le poids des pièces sera négligé à l'exception de celui de la colonne de direction.

Le frottement dans les articulations est négligeable.

L'action de la barre d'accouplement [17] (système de direction) sur l'axe intérieur de la colonne de direction [11] est négligée.

Il n'y a pas contact entre la colonne de direction [12] et son appui possible sur le châssis [1], voir détail « S » du plan d'ensemble (document technique [DT2]). C'est une condition nécessaire au freinage.

Données

Pour $C_f = 20 \text{ N.m}$, prendre $F_{20 \rightarrow 22} \approx 600 \text{ N}$.

Colonne de direction, masse : 5 kg, centre de gravité : G_2 .

Le pilote n'exerce aucune action sur le volant.

Question A-7 document réponse [DR3] et feuille de copie.

Déterminer l'action du ressort [15] sur la colonne de direction [12]. Expliciter la démarche utilisée.

Effort à exercer par le conducteur lorsqu'il lève le volant pour libérer le frein.

Hypothèse supplémentaire

On considérera que la direction de cette action (conducteur sur volant) est perpendiculaire à l'axe de la colonne de direction et passe par le point K.

Question A-8 document réponse [DR3] et feuille de copie.

Déterminer l'action que doit exercer le conducteur pour « lever » le volant et libérer le frein.
Expliciter la démarche utilisée.

CONCLUSION de cette première partie de l'étude :

Question A-9 sur feuille de copie.

Vérifier que cet effort est acceptable (inférieur à 100N quel que soit l'utilisateur), c'est à dire conforme au cahier des charges.

B – Etude du véhicule en mouvement.

Objectif : vérifier que le conducteur est capable de s'arrêter.

Lorsque le conducteur lève le volant, il libère le frein. Le DEVALKART prend alors de la vitesse.

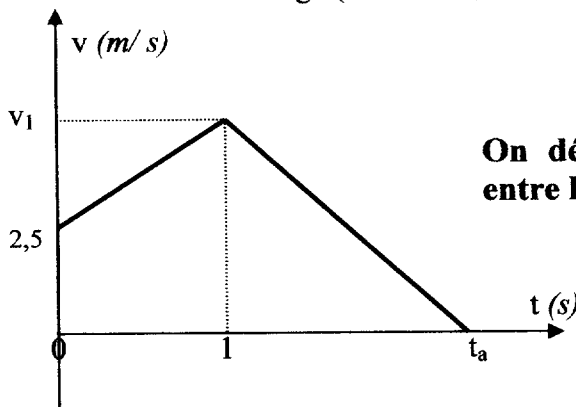
Si le conducteur estime qu'il prend trop de vitesse ou s'il aperçoit un obstacle, il doit relâcher le volant \Rightarrow freinage sous l'effet du ressort [15]. Ce freinage, sous l'effet du ressort seul, sera insuffisant dans la plupart des cas pour arrêter le DEVALKART sur une distance acceptable. Pour amplifier le couple de freinage, le pilote devra exercer une action « appuyée » sur le volant (voir la **figure2** page 2/2 du chapitre "**Présentation**", document technique [DT1]).

D'où l'objectif de la deuxième partie de l'étude : vérifier que la norme de l'effort $\vec{F}_{\text{homme} \rightarrow \text{volant}}$ nécessaire au freinage du DEVALKART en mouvement ne dépasse pas la limite imposée par le cahier des charges. Cette norme doit être inférieure au cinquième du poids du conducteur.

Etude de la phase de freinage.

Le DEVALKART descend la pente en roue libre et prend de la vitesse (mouvement uniformément accéléré). Lorsqu'il atteint la vitesse de 9 km/h (2,5 m/s), le conducteur souhaite arrêter son véhicule.

On estime que le temps de réaction d'une personne est égal à 1 seconde. Une seconde est donc le temps qui s'écoule entre l'instant où le conducteur décide de freiner ($t = 0$ et $v_0 = 9$ km/h) et celui du début réel de freinage ($t = 1$ s et $v_1 = 15$ km/h).

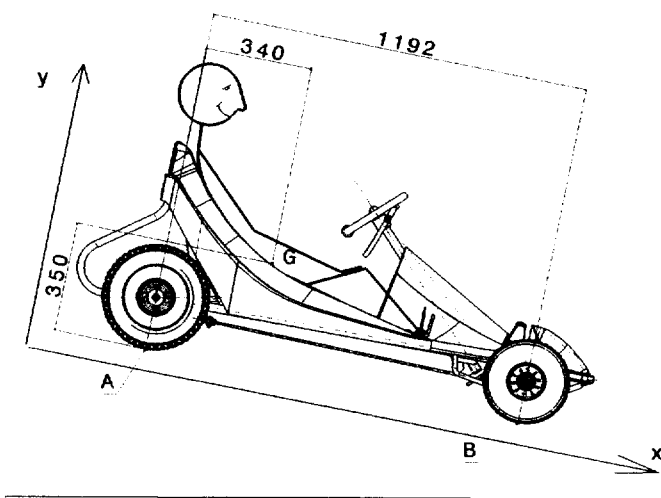


On désire alors que la distance de freinage réelle, entre les instant $t = 1$ s et l'arrêt, soit de 5m.

Question B-1 sur feuille de copie.

Déterminer la décélération et la durée du freinage à partir de l'instant $t = 1$ seconde.

Couple de freinage nécessaire.



Données

Seules les roues arrière sont freinées.

Roues AR : ϕ 360 mm, roues AV : ϕ 270 mm.

G : centre de gravité de l'ensemble « conducteur + DEVALKART ».

Masse du DEVALKART : 40 kg.

Masse du conducteur : 80 kg.

Pente : 20%, angle Ox /horizontale $\approx 11,5$.

Accélération de la pesanteur : $g \approx 10 \text{ m/s}^2$.

Hypothèses

Le frottement des paliers est négligeable.

Il y a roulement sans glissement des roues sur le sol.

Dans une première approche du problème et malgré le type de pneu, on considère à nouveau que le contact des roues sur le sol est ponctuel et qu'il n'y a donc pas de résistance au roulement.

Question B-2 sur feuille de copie.

Déterminer la variation d'énergie cinétique entre les instants $t = 1$ s et l'arrêt (période de freinage).

Question B-3 sur feuille de copie.

Déterminer le travail du poids (DEVALKART + CONDUCTEUR) durant ce même intervalle de temps.

Question B-4 sur feuille de copie.

Appliquer le théorème de l'énergie cinétique et en déduire le travail du couple de freinage nécessaire pour arrêter le DEVALKART.

Question B-5 sur feuille de copie.

Déterminer ce couple de freinage.

Analyse qualitative des résultats, étude du modèle avec résistance au roulement.

Le type de pneus employé (basse pression) pour le confort du conducteur (absence d'amortisseurs) a pour conséquence un écrasement important des pneumatiques. Cela induit une résistance au roulement non négligeable dont les coefficients sont:

$$\delta_{A \text{ roues AR}} = 30 \text{ mm.}$$

$$\delta_{B \text{ roues AV}} = 20 \text{ mm.}$$

Hypothèses : pendant la période de freinage, les roues arrière sont en limite d'adhérence.

Question B-6 document réponse [DR4].

Représenter qualitativement (*) le vecteur accélération \vec{A}_G (conducteur + dévalkart) .

Représenter qualitativement le cône de frottement et les actions réelles du sol sur les roues :

- dans le cas correspondant à la période de roue libre : $t \in [0 ; 1] \Rightarrow$ figure 1
- dans le cas correspondant à la période de freinage : $t \in [1 ; t_a] \Rightarrow$ figure 2

(*): Qualitativement signifie que l'on ne tient pas compte des valeurs numériques.

Question B-7 document réponse [DR4].

Quelle sera la conséquence de la résistance au roulement sur le mouvement ?

Analyse des résultats obtenus après résolution du modèle avec résistance au roulement.

La résolution du problème à partir du modèle réel (avec résistance au roulement) a permis d'établir les trois graphes proposés sur le document réponse [DR5]. L'objet de l'étude est de vérifier les conditions d'un freinage efficace en fonction des vitesses initiales du DEVALKART et la capacité du conducteur à exercer l'effort nécessaire. L'étude a été faite pour une pente de terrain de 20%.

Le graphe 1 exprime la décélération nécessaire du DEVALKART durant la phase de freinage (en ordonnées) en fonction des distances de freinage souhaitées (en abscisses). Quatre valeurs de vitesse initiale (au début du freinage) ont été envisagées ($v_1=12 ; 15 ; 18 ; 21$ km/h).

Pour qu'il n'y ait pas glissement des pneus sur le sol (éviter le dérapage et le blocage des roues), la norme de l'accélération ne doit pas dépasser $1,6 \text{ m/s}^2$.

Question B-8 document réponse [DR5].

A l'aide du graphe 1, déterminer les distances de freinage minimales admissibles pour chaque vitesse initiale étudiée (laisser le tracé apparent).

Les graphes 2 et 3 expriment l'effort K que doit exercer un conducteur sur le volant (en ordonnées) en fonction des distances de freinage souhaitées (en abscisses). Les mêmes quatre valeurs de vitesse initiale (au début du freinage) ont été envisagées ($v_1=12 ; 15 ; 18 ; 21$ km/h).

Question B-9 document réponse [DR5].

Sur le graphe 2, déterminer l'effort K que doit exercer un conducteur de 40 kg pour respecter la distance de freinage précédemment déterminée (pour chaque courbe de vitesse initiale étudiée).

Question B-10 document réponse [DR5].

Que se passera-t-il si le conducteur exerce un effort supérieur ou inférieur à celui trouvé ?

Question B-11 document réponse [DR5].

Sur le graphe 3, déterminer l'effort K que doit exercer un conducteur de 80 kg pour respecter la distance de freinage précédemment déterminée (pour chaque courbe de vitesse initiale étudiée).

Question B-12 document réponse [DR5].

Les efforts trouvés sont-ils compatibles avec les exigences du cahier des charges (inférieurs au cinquième du poids des conducteurs) ?

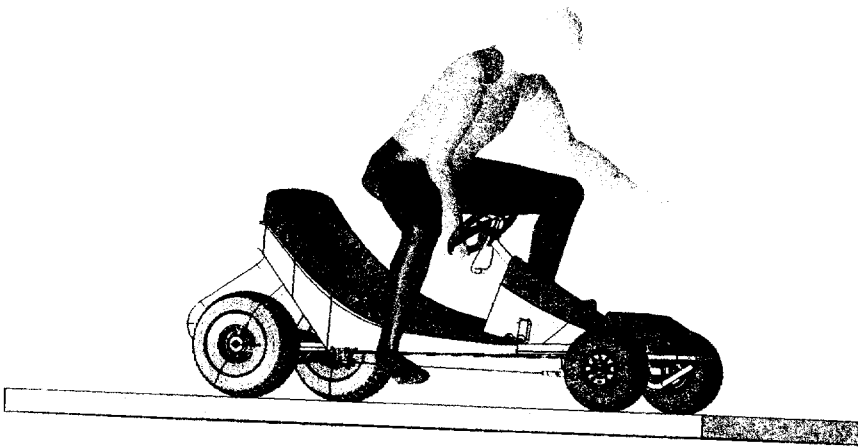
C – Influence de la distance « d » dans la zone S .

Objectif : Montrer la nécessité de régler « d » entre [12] et [1] pour optimiser les dimensions de [12]

L'utilisation du document ressource est nécessaire pour cette partie

Moyens utilisés :

- Un logiciel de statique.
- Un logiciel de RDM



Pour monter ou descendre du Dévalkart, on peut estimer qu'une personne exerce une force de **800 N** en **K** sur le volant, vers le bas.

Description de la colonne de direction.

La colonne de direction est constituée d'un tube [12] dans lequel est guidé en rotation un axe [11]. Le volant [16] est monté sur la partie supérieure de l'axe [11] avec une liaison complète en **J**, et il est en appui plan en **I** sur le coussinet [13]. La partie inférieure de l'axe a la forme d'une manivelle servant à transmettre le mouvement à la bielle de direction [17]. Le tube [12] est lié en **E** au châssis [1], en **C** à la pièce [20] reliée au frein, et en **F** au ressort [15]. L'axe [11] est guidé en rotation dans le tube par deux paliers lisses [13] en **H** et [14] en **D** montés serrés dans le tube [12].

Hypothèses

Les liaisons sont considérées comme parfaites.

Le plan médian du DEVALKART est un plan de symétrie géométrique et mécanique.

Il n'y a pas de contact du tube [12] sur le châssis [1] au niveau de la zone « S ».

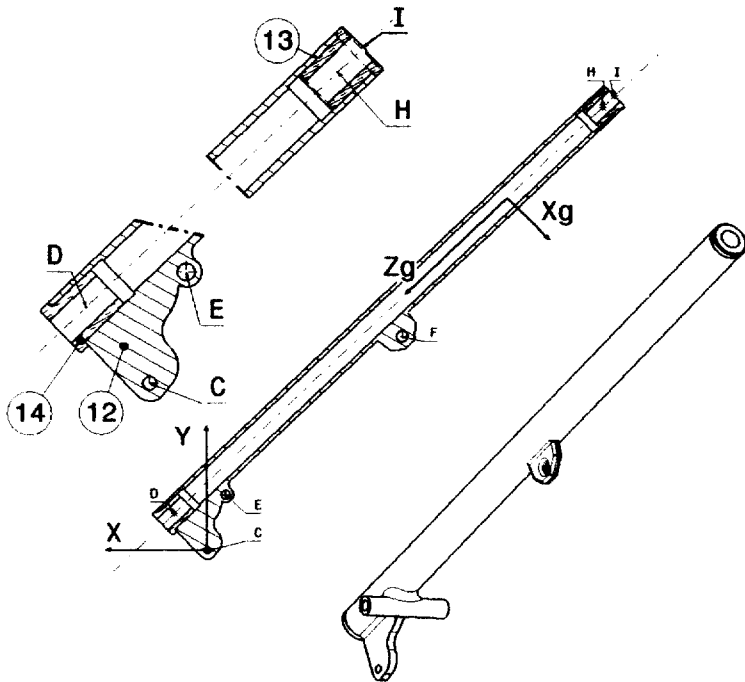
Données

Action exercée par le ressort [15] sur le tube [12] dans le repère (x_{15}, y_{15}, z) lié au ressort [15] et défini sur le document technique DT 2.

$$\left\{ \tau_{\text{ressort} \rightarrow 12} \right\}_F = \left\{ \begin{array}{cc} 0 & 0 \\ -100 & 0 \\ 0 & 0 \end{array} \right\}_{(x_{15}, y_{15}, z)}$$

Document sujet – page 7 /10.

Une étude de l'équilibre de l'ensemble {colonne [11], volant [16]} sur logiciel de statique donne les résultats suivants dans le repère (x, y, z) lié au châssis [1] et défini sur le document technique [DT2].



Action		Résultante	moment
$H_{11/13}$	x	-510.581	0
	y	-528.727	0
	z	0	0
$D_{11/14}$	x	+110.825	0
	y	+114.763	0
	z	0	0
$I_{16/13}$	x	+399.756	0
	y	-386.037	0
	z	0	0

Modélisation sur logiciel de RDM pour déterminer les contraintes et les déformations de [12]

Pour créer le modèle de calcul le concepteur doit choisir : des **fixations**, des **chargements** et paramétrer ces différents éléments. Voir le document [ressource].

On choisit :

- d'exprimer les paramètres dans le repère global (X_g, Y_g, Z_g).
- de modéliser des chargements
 - sur la bague [14] en D,
 - sur la bague [13] en H et I
 - ainsi qu'à l'attache du ressort sur [12] en F.
- de modéliser des fixations en E et C.

Question C-1 document réponse [DR6]

Indiquer le type de chargement choisi en H, I et F et les paramètres qui s'y rattachent.

Question C-2 document réponse [DR6]

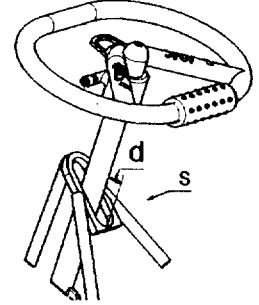
Le modèle de fixation en C doit tenir compte du mode d'action de la pièce [20]. Il est conseillé d'utiliser une pièce virtuelle. Indiquer le type de fixation choisi en E et C et les paramètres qui s'y rattachent.

Question C-3 feuille de copie

- Le tube [12] est en acier S355 de résistance : $R_r = 490 \text{ Mpa}$ et $R_e = 355 \text{ Mpa}$. Le résultat de l'étude est donné dans le document technique [DT5].
- Conclure quant à la résistance du tube.

Question C-4 feuille de copie

En utilisant les résultats des déformations, document technique [DT5], déterminer si l'hypothèse de non-contact en S est vérifiée.



Question C-5 feuille de copie

Pour abaisser la valeur de la contrainte dans [12], sans modifier sa forme, on utilisera sa déformation qui l'amènera en contact avec [1] dans la zone "S". La distance « d » doit pouvoir être réglée pour pouvoir permettre ce contact tout en ne perturbant pas le freinage.

Proposer, sous forme de croquis à main levée, une solution technique permettant le réglage de la distance « d ».

D : Choix du matériau des arbres de roue arrière.

Objectif : Vérifier le choix du matériau de l'arbre.

L'utilisation du document ressource est nécessaire pour cette partie

Cette détermination se fait pendant la phase de freinage.

Hypothèse

L'action de la roue libre [28] sur l'arbre [5] est négligeable.

Données

L'arbre est en acier S235. de résistance $R_e = 235 \text{ MPa}$.

Les pneus « basse pression » s'écrasent beaucoup, ce qui engendre un moment de résistance au roulement de 11 N.m entre la roue [2] et le sol.

Les forces sont exprimées en **N** et les moments en **N.m**.

$$\left\{ \tau_{\text{sol} \rightarrow \text{roue2}} \right\}_A = \begin{Bmatrix} -216 & 0 \\ 368 & 0 \\ 0 & 11 \end{Bmatrix}_{(x,y,z)} ; \quad \left\{ \tau_{\text{bande21} \rightarrow \text{tambour27}} \right\}_R = \begin{Bmatrix} 1746 & 0 \\ -148 & 0 \\ 0 & 27.89 \end{Bmatrix}_{(x,y,z)} ;$$
$$\left\{ \tau_{\text{roulementgauche3} \rightarrow \text{arbre2}} \right\}_M = \begin{Bmatrix} 1127 & 0 \\ -664 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{(x,y,z)} ; \quad \left\{ \tau_{\text{roulementdroite4} \rightarrow \text{arbre2}} \right\}_Q = \begin{Bmatrix} -2657 & 0 \\ 444 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{(x,y,z)}$$

Un calcul préalable a permis de déterminer le torseur des efforts de cohésion dans l'arbre au niveau de la section droite passant par P :

$$\left\{ \tau_{\text{cohésion-en-P}} \right\}_p = \begin{Bmatrix} -911 & -69 \\ 296 & -112 \\ 0 & -38.8 \end{Bmatrix}_{(x,y,z)}$$

Question D-1 feuille de copie

Calculer la contrainte normale maxi de flexion dans la section P.

Question D-2 feuille de copie

Calculer la contrainte tangentielle maxi de torsion dans la section P.

Question D-3 feuille de copie

On négligera la contrainte tangentielle due à l'effort tranchant, calculer la contrainte normale équivalente de Von-Mises dans la section P.

Question D-4 feuille de copie

En déduire le coefficient de sécurité et concluez quant au choix du matériau.




DOSSIER
« *RESSOURCES* »

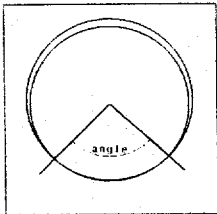
Logiciel de RDM.

CHARGEMENT

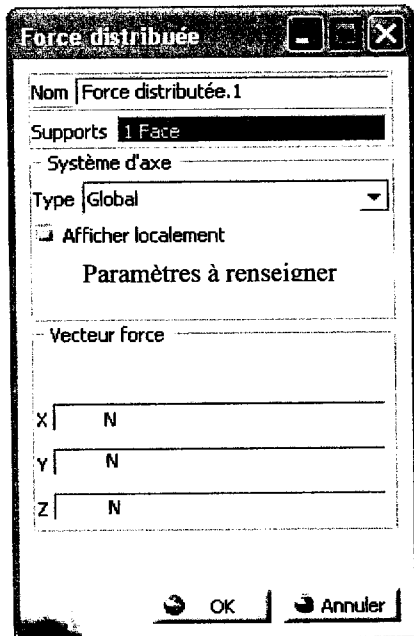
Les chargements sont les actions de l'extérieur sur le système isolé.

Systemes de forces distribuées

-  Création de forces distribuées
Générer un système de forces distribuées équivalent à une force pure à un point donné (résultante d'une force et résultante d'un moment nul).
-  Création d'un moment distribué
Générer un système de forces distribuées équivalent à un couple pur (résultante d'un moment et résultante d'une force zéro).
-  Création de chargements de type palier
Simuler les chargements de contact appliqués aux pièces cylindriques.



- X, Y, Z sont les valeurs algébriques des paramètres en Newton ou en Newton.mètre.
- Ces paramètres sont exprimés dans le repère global.
- Le paramètre **angle**, du chargement type palier, défini l'amplitude du contact



Force distribuée

Nom | Force distribuée.1

Supports | 1 Face

Système d'axe

Type | Global

Afficher localement

Paramètres à renseigner

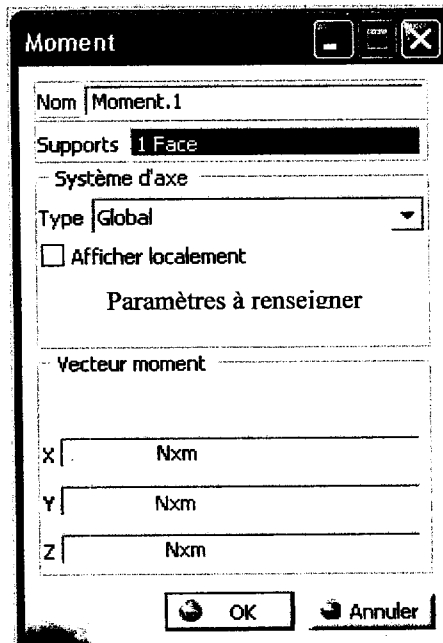
Vecteur force

X | N

Y | N

Z | N

OK Annuler



Moment

Nom | Moment.1

Supports | 1 Face

Système d'axe

Type | Global

Afficher localement

Paramètres à renseigner

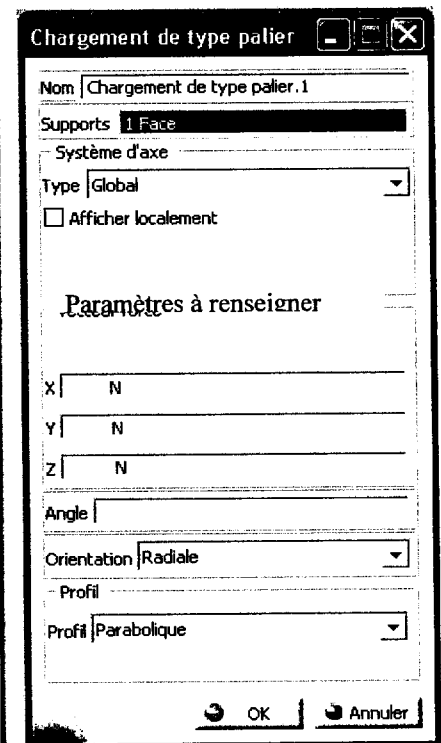
Vecteur moment

X | Nxm

Y | Nxm

Z | Nxm

OK Annuler



Chargement de type palier

Nom | Chargement de type palier.1

Supports | 1 Face

Système d'axe

Type | Global

Afficher localement

Paramètres à renseigner

X | N

Y | N

Z | N

Angle |

Orientation | Radiale

Profil

Profil | Parabolique

OK Annuler