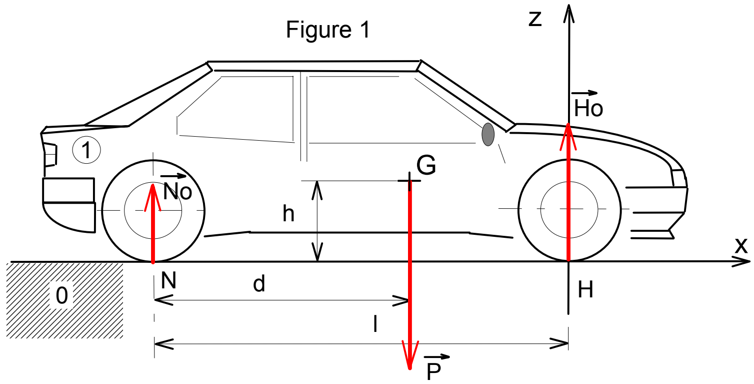
TRAIN AVANT DISPOSITIF ANTI-CABRAGE

1 - VEHICULE AU REPOS

- 1 - Actions du sol sur les roues



Véhicule 1 isolé.

Bilan des actions mécaniques

En G le poids : $\vec{P} = -m.g\,\vec{z}$

En N et H les actions du sol :

$\vec{No} = No\,\vec{z}$; $\vec{Ho} = Ho\,\vec{z}$

Le véhicule est en équilibre donc

$$\sum \vec{M}_{(N)ext\to 1} = \vec{0} \Rightarrow \vec{NG} \wedge \vec{P} + \vec{NH} \wedge \vec{Ho} = 0$$

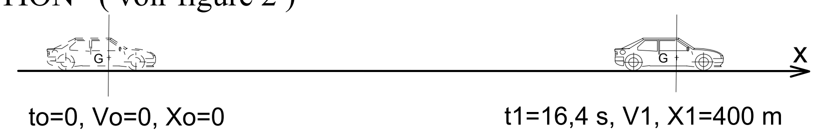
$$\Rightarrow \left[(d.\vec{x} + h.\vec{z}) \wedge (-m.g.\vec{z})\right] + (l.\vec{x} \wedge Ho.\vec{z}) = (d.m.g - l.Ho).\vec{y} = \vec{0} \Rightarrow d.m.g - l.Ho = 0 \Rightarrow \boxed{Ho = \frac{d.m.g}{l}}$$

$$\sum \vec{F}_{ext\to 1} = \vec{0} \Rightarrow No + Ho - m.g = 0 \ (1)\ No + \frac{m.g.d}{l} - m.g = 0 \Rightarrow No = m.g - \frac{m.g.d}{l} \Rightarrow \boxed{No = m.g.\frac{l-d}{l}}$$

Valeurs numériques : $Ho = \dfrac{1{,}5*1100*9{,}81}{2{,}7} = 5995.N$ et $No = 1100*9{,}91*\dfrac{2{,}7-1{,}5}{2{,}7} = 4796.N$

2 - VEHICULE EN PHASE D'ACCELERATION (voir figure 2)

- 2 - 1 - Accélération du véhicule



Dans l'intervalle 0, 16,4 s le mouvement du véhicule est un mouvement de translation rectiligne uniformément varié donc

$\gamma = cte$, $V = \gamma.t + Vo$,

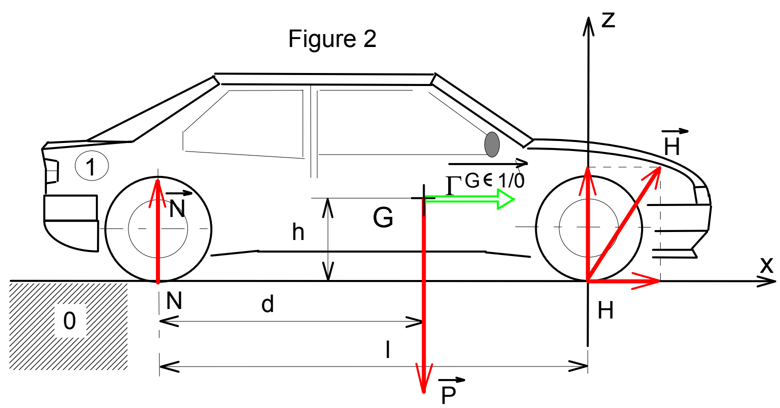
$X = {}^{1}/_{2}.\gamma.t^2 + Vo.t + Xo$

Ici Vo = 0 et Xo = 0

donc $V = \gamma.t$ et $X = {}^{1}/_{2}.\gamma.t^2$

à t1 = 16,4 s, X1 = 400 m

$$\gamma = \frac{2.X_1}{t_1^2} = \frac{2*400}{16{,}4^2} = 2{,}9..m.s^{-1} \cong 3\ m.s^{-1}$$



2 - 2 - Actions du sol sur les roues

-2-2- 1 - Expression, en fonction de mg, d, h, l et γ, des actions du sol sur les roues.

Véhicule 1 isolé.

Bilan des actions mécaniques :

Le poids | Les actions du sol

En G $[P_{0/1}] = \left\{\begin{matrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -m.g & 0 \end{matrix}\right\}_G$; En N $[N_{0/1}] = \left\{\begin{matrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ ZN & 0 \end{matrix}\right\}_N$; En H $[H_{0/1}] = \left\{\begin{matrix} XH & 0 \\ 0 & 0 \\ ZH & 0 \end{matrix}\right\}_H$

On applique le principe fondamental au véhicule.

$$\boxed{\sum \vec{F}_{ext\to 1} = m.\vec{\Gamma}_{G\in 1/0}}\ (1) \text{ et } \boxed{\sum \vec{M}_{(N)ext\to 1} = \vec{\delta}_{(N)1/0} = \vec{\delta}_{(G)1/0} + \vec{NG} \wedge m.\vec{\Gamma}_{G\in 1/0}}\ (2)$$

$$\text{Avec : } \boxed{\vec{\delta}_{(G)1/0} = \frac{d\vec{\sigma}_{(G)1/0}}{dt} = \frac{d(J.\vec{\Omega}_{1/0})}{dt} = J.\dot{\vec{\Omega}}_{1/0}}$$

Ici $\overrightarrow{\delta}_{(G)1/0} = \dfrac{d\overrightarrow{\sigma}_{(G)1/0}}{dt} = J.\overrightarrow{\dot{\Omega}}_{1/0} = \overrightarrow{0}$ car $\overrightarrow{\Omega}_{1/0} = \overrightarrow{0}$ .et.. $\overrightarrow{\dot{\Omega}}_{1/0} = \overrightarrow{0}$. $\forall t$ donc $\sum \overrightarrow{M}_{(N)ext\rightarrow 1} = \overrightarrow{NG} \wedge m.\overrightarrow{\Gamma}_{G\in 1/0}$

$$\overrightarrow{NG} \wedge \overrightarrow{P} + \overrightarrow{NH} \wedge \overrightarrow{Ho} = \overrightarrow{NG} \wedge m.\overrightarrow{\Gamma}_{G\in 1/0} \Rightarrow \begin{pmatrix} \begin{vmatrix} d \\ 0 \\ h \end{vmatrix} \wedge \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ -mg \end{vmatrix} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \begin{vmatrix} l \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} \wedge \begin{vmatrix} XH \\ 0 \\ ZH \end{vmatrix} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \begin{vmatrix} d \\ 0 \\ h \end{vmatrix} \wedge \begin{vmatrix} m.\gamma \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} \end{pmatrix} \Rightarrow d.m.g - l.ZH = h.m.\gamma$$

$$\Rightarrow \boxed{ZH = \frac{d.mg - h.m\gamma}{l}} \ (d)$$

$$(1) \Rightarrow \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -mg \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} XH \\ 0 \\ ZH \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ ZN \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m.\gamma \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{matrix} XH = m.\gamma & (a) \\ 0 = 0 & (b) \\ -m.g + ZH + ZN = 0\,(c) & \end{matrix}$$

(a) $\Rightarrow \boxed{XH = m.\gamma}$

On remplace ZH par sa valeur (d) dans (c) : $-m.g + \dfrac{d.mg - h.m\gamma}{l} + ZN = 0 \Rightarrow \boxed{ZN = \dfrac{m.g.(l-d) + m.\gamma.h}{l}}$

Valeurs numériques : XH = m.γ =1100∗3 =3300 N

$$ZH = \frac{1{,}5*1100*9{,}91 - 0{,}785*1100*3}{2{,}7} = 5036.N \ ; \ ZN = \frac{1100.9{,}81.(2{,}7-1{,}5) + 1100.3.0{,}785}{2{,}7} = 5755.N$$

-2-2-2- Calcul de la surcharge $\overrightarrow{F}$ sur le train arrière.

On a : $\overrightarrow{N} = \overrightarrow{No} + \overrightarrow{F}$, avec $\overrightarrow{F} = F.\overrightarrow{z}$ et F >0.

On remplace $\overrightarrow{N}$ et $\overrightarrow{No}$ par leurs expressions trouvées précédemment

$$\frac{m.g.(l-d) + m.\gamma.h}{l} = m.g.\frac{l-d}{l} + F \Rightarrow F = \frac{m.g.(l-d) + m.\gamma.h - m.g.(l-d)}{l}$$

$$\Rightarrow \boxed{F = \frac{m.\gamma.h}{l}}$$

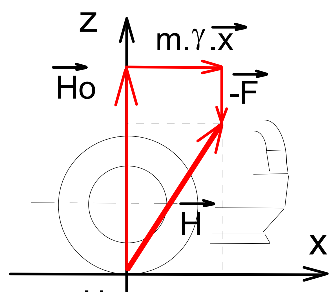


Figure 3

Comme $ZH = \dfrac{d.m.g - h.m.\gamma}{l} = \dfrac{d.m.g}{l} - F$ et $Ho = \dfrac{d.mg}{l}$,on en déduit que : $\boxed{ZH = Ho - F}$

3 - VEHICULE EN PHASE D'ACCELERATION : ETUDE DU DEMI-TRAIN AVANT GAUCHE

3 - 1 - Isostatisme

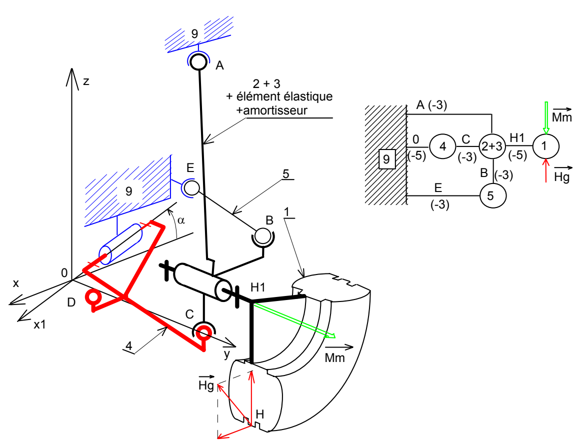
Montrons que le système matériel { 1, 2, 5 ,4 } est isostatique. On a : h = Σ lij - (6.p - mu - mi)

- mi = 1 rotation de 5 autour de son axe,
- mu = 1 relation entre le couple moteur Mm et Hg l'action du sol sur la roue,
- p = 4 quatre solides , 1, 2+3, 4 et 5
- ∑lij :

  $l_{9\rightarrow 4}$ et $l_{(2+3)\rightarrow 4}$ = deux liaisons pivots

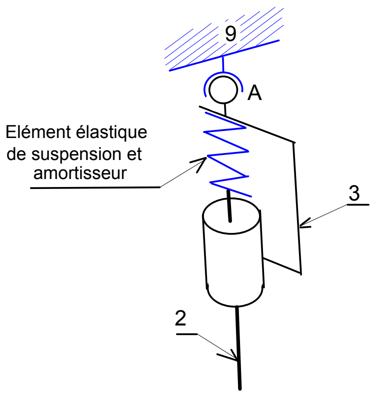
  $l_{5\rightarrow 9}$, $l_{(2+3)\rightarrow 4}$, $l_{(2+3)\rightarrow 9}$, $l_{(2+3)\rightarrow 5}$= quatre sphériques

- h =;5∗2+ 3∗4 - (6∗4 - 1 - 1) = 22 - (24-2) = 0
- le système matériel { 1, 2, 5 ,4 }est isostatique



Demi-train avant gauche

0 : sol
1 : pneumatique et jante
2 : porte-moyeu
3 : tube de suspension
4 : triangle inférieur
5 : biellette de direction
9 : caisse



$\vec{OA}\left|\begin{matrix}-20\\200\\500\end{matrix}\right._{0,x,y,z}$; $\vec{OB}\left|\begin{matrix}-150\\275\\100\end{matrix}\right._{0,x,y,z}$;

$\vec{OE}\left|\begin{matrix}-176\\-60\\113\end{matrix}\right._{0,x,y,z}$ $\vec{OH}\left|\begin{matrix}-5\\330\\-198\end{matrix}\right._{0,x,y,z}$ $\vec{OC}\left|\begin{matrix}0\\310;\\0\end{matrix}\right._{0,x,y,z}$ $\vec{OH_1}\left|\begin{matrix}-5\\330\\70\end{matrix}\right._{0,x,y,z}$

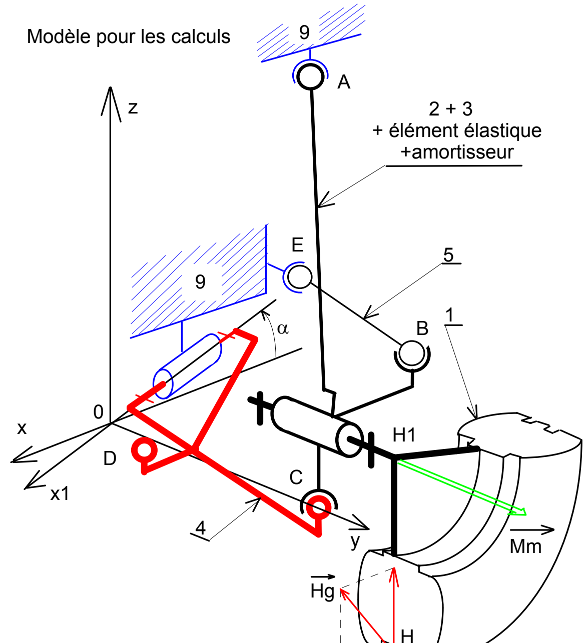
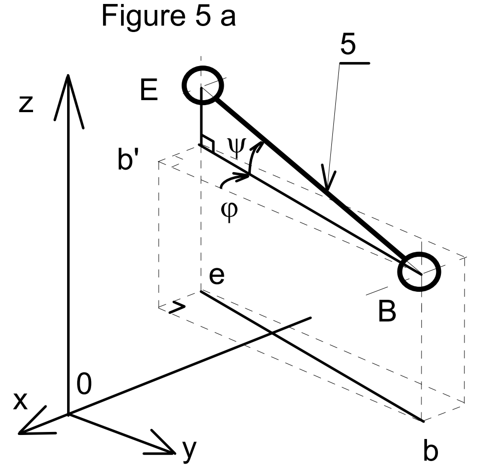


Figure 4 b

- 3 - 2 - Relation entre XB, YB, ZB

Biellette 5 isolée : Bilan des actions mécaniques

Figure 5 a



$$[B_{2/5}] = \begin{Bmatrix} XB & 0 \\ YB & 0 \\ ZB & 0 \end{Bmatrix}_{B} \quad 0\,x,y,z\,.$$

$$[E_{9/5}] = \begin{Bmatrix} XE & 0 \\ YE & 0 \\ ZE & 0 \end{Bmatrix}_{E} \quad 0\,x,y,z\,.$$

5 est en équilibre : $\sum \vec{M}_{(E)ext\to 5} = \vec{0} \Rightarrow \vec{EB} \wedge \vec{B} = \vec{0}$

$$\vec{EB} = \vec{EO} + \vec{OB} = \vec{OB} - \vec{OE} = \left|\begin{matrix}-150-(-176)=26\\275-(-60)=335\\100-113=-13\end{matrix}\right. \Rightarrow \left(\left|\begin{matrix}26\\335\\-13\end{matrix}\right. \wedge \left|\begin{matrix}XB\\YB\\ZB\end{matrix}\right.\right) = \left|\begin{matrix}0\\0\\0\end{matrix}\right. \Rightarrow \begin{matrix}335.ZB + 13.YB = 0..(1)\\ -13XB - 26ZB = 0..(2)\\ 26YB - 335XB = 0..(3)\end{matrix}$$

De (2) $26ZB = -13XB \Rightarrow \boxed{ZB = -0{,}5XB}$ de (3) $26YB = -335XB \Rightarrow YB = \frac{335}{26}XB \Rightarrow \boxed{YB = 13XB}$

Ou bien on peut remarquer que 5 est en équilibre sous l'action de deux forces donc ces deux forces sont égales et directement opposées donc leur support est la droite EB $\Rightarrow YB = XB/_{\mathrm{TAN}\varphi}$ et $ZB = -\frac{\mathrm{TAN}\psi}{\mathrm{Cos}\varphi}.XB$

- 3.- 3 - Relation entre ZC et XC

3-3-1- actions de 9 sur 4

-La liaison $9\to4$ est une liaison pivot d'axe ox_1 donc les actions de 9 sur 4 réduites au point o et projetées dans le repère R1 (O, x_1, y_1, z_1)donnent:

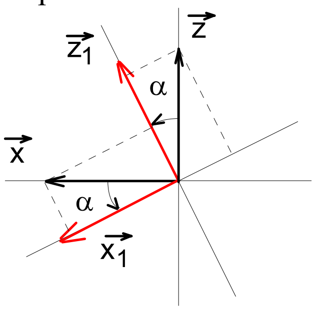
$$[O_{9/4}] = \begin{Bmatrix} XO_1 & 0 \\ YO_1 & MO_1 \\ ZO_1 & NO_1 \end{Bmatrix}_{E} \quad 0,\ x_1, y_1, z_1$$

3-3-2- Calcul du moment en O des actions de 2 sur 4 au niveau de C.

La liaison $2\to4$ en C est une liaison sphérique donc les actions de $2\to4$ se réduisent en C à :

$$[C_{\ 2/4}] = \left\{\begin{matrix} XC & 0 \\ YC & 0 \\ ZC & 0 \end{matrix}\right\}_{C}\ {}_{0\,x,y,z}\ .\quad \overrightarrow{M}_{(O)2\to4} = \overrightarrow{M}_{(C)2\to4} + \overrightarrow{OC}\wedge\overrightarrow{C} \Rightarrow \left|\begin{matrix} 0 \\ 310 \\ 0 \end{matrix}\right. \wedge \left.\begin{matrix} XC \\ YC \\ ZC \end{matrix}\right. = \left|\begin{matrix} 310.ZC \\ 0 \\ -310.XC \end{matrix}\right.\ {}_{0\,x,y,z}$$

Exprimons ce moment dans la base ($0, x_1, y, z_1$)



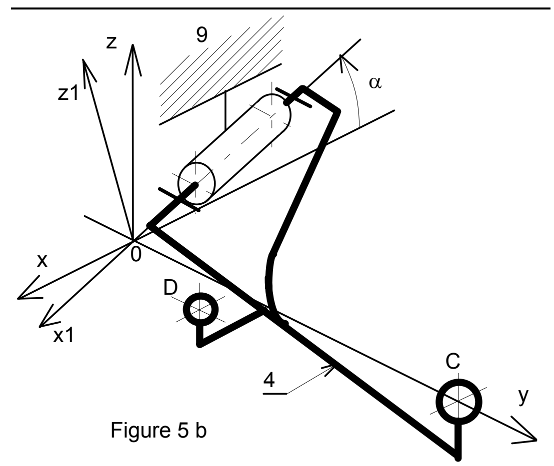


Figure 5 b

$$\vec{x} = \cos\alpha.\vec{x_1} + \sin\alpha.\vec{z_1} \text{ et } \vec{z} = \cos\alpha.\vec{z_1} - \sin\alpha.\vec{x_1}$$

$$\overrightarrow{M}_{(O)2\to4} = 310ZC.(\cos\alpha.\vec{x_1} + \sin\alpha.\vec{z_1}) - 310XC.(\cos\alpha.\vec{z_1} - \sin\alpha.\vec{x_1})$$

$$\overrightarrow{M}_{(O)2\to4} = \left|\begin{matrix} 310.(ZC.\text{Cos}\alpha + XC.\text{Sin}\alpha) \\ 0 \\ 310.(ZC.\text{Sin}\alpha - XC.\text{Cos}\alpha \end{matrix}\right. \quad (0, x_1, y_1, z_1)$$

-3-3-3- Relation algébrique liant ZC à XC et α.

Le triangle 4 est en équilibre donc : $\sum \overrightarrow{M}_{(O)ext\to4} \bullet \vec{x_1} = 0$

$$310.(ZC.\text{Cos}\alpha + XC.\text{Sin}\alpha) = 0 \Rightarrow ZC.\text{Cos}\alpha = -XC.\text{Sin}\alpha \Rightarrow ZC = -\frac{\text{Sin}\alpha}{\text{Cos}\alpha}.XC \Rightarrow \boxed{ZC = -\text{TAN}\alpha.XC}$$

- 3 - 4 - Détermination de XA, YA, ZA Ensemble { 2 + 3 + élément élastique + amortisseur } isolé

3-4-1 -Bilan des actions mécaniques agissant sur l'ensemble isolé.

Actions de la roue 1, au niveau de la liaison pivot, réduites en H1

$$[H1_{\ 1/2}] = \left\{\begin{matrix} 550.\gamma & 0 \\ 0 & 0 \\ (3000-160.\gamma) & 0 \end{matrix}\right\}_{H1}\ {}_{0x,y,z.}$$

Actions de la biellettes de direction 5 en B

$$[B_{\ 5/2}] = \left\{\begin{matrix} XB_1 & 0 \\ 13.XB_1 & 0 \\ -0{,}5.XB_1 & 0 \end{matrix}\right\}_{B}\ {}_{0\,x,y,z\,.}$$

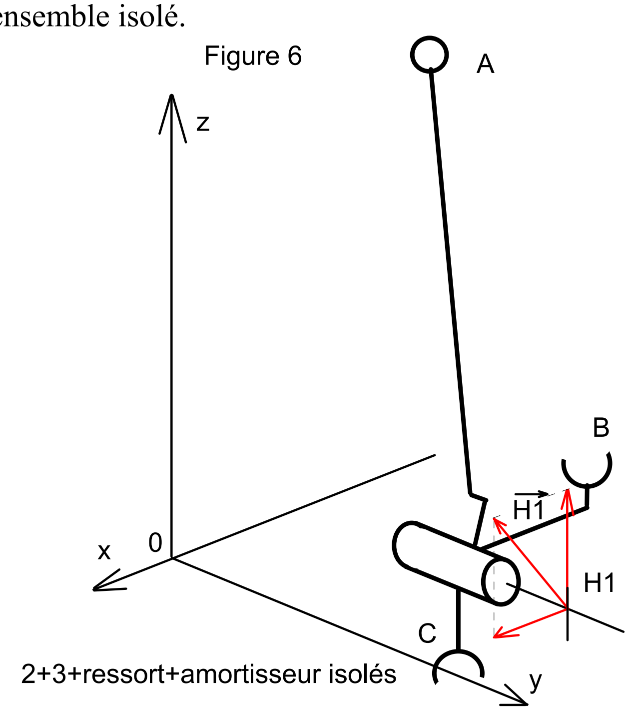
Actions du triangle inférieur 4 en C

$$[C_{\ 4/2}] = \left\{\begin{matrix} XC_1 & 0 \\ YC_1 & 0 \\ -0{,}18.XC_1 & 0 \end{matrix}\right\}_{C}\ {}_{0x,y,z}$$

Actions de la caisse 9 en A

$$[A_{\ 9/2}] = \left\{\begin{matrix} XA_1 & 0 \\ YA_1 & 0 \\ ZA_1 & 0 \end{matrix}\right\}_{A}\ {}_{0x,y,z}$$

Figure 6



- 3 - 4 - 2 - Exprimons : XB_1, XC_1 et YC_1 en fonction de γ.

Le solide 2 est en équilibre donc : $\sum \overrightarrow{M}_{(A)ext\to 2} = \vec{0} \Rightarrow \overrightarrow{AB} \wedge \overrightarrow{B} + \overrightarrow{AC} \wedge \overrightarrow{C} + \overrightarrow{AH_1} \wedge \overrightarrow{H_1} = \vec{0}$

$$\overrightarrow{AB} = \overrightarrow{OB} - \overrightarrow{OA} = \begin{vmatrix} -150-(-20) = -130 \\ 275-200 = 75 \\ 100-500 = -400 \end{vmatrix} ; \overrightarrow{AC} = \overrightarrow{OC} - \overrightarrow{OA} = \begin{vmatrix} 0-(-20) = 20 \\ 310-200 = 110 \\ 0-500 = -500 \end{vmatrix} ; \overrightarrow{AH_1} = \overrightarrow{OH_1} - \overrightarrow{OA} = \begin{vmatrix} -5-(-20) = 15 \\ 330-200 = 130 \\ 70-500 = -430 \end{vmatrix}$$

$$\left(\begin{vmatrix} -130 \\ 75 \\ -400 \end{vmatrix} \wedge \begin{vmatrix} XB_1 \\ 13.XB_1 \\ -0{,}5.XB_1 \end{vmatrix} \right) + \left(\begin{vmatrix} 20 \\ 110 \\ -500 \end{vmatrix} \wedge \begin{vmatrix} XC_1 \\ YC_1 \\ -0{,}18.XC_1 \end{vmatrix} \right) + \left(\begin{vmatrix} 15 \\ 130 \\ -430 \end{vmatrix} \wedge \begin{vmatrix} 550\gamma \\ 0 \\ 3000-160\gamma \end{vmatrix} \right) = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}$$

$5162{,}5.XB_1 - 19{,}8.XC_1 + 500.YC_1 + 390000 - 20800.\gamma = 0$ **(1)**

$-465.XB_1 - 496{,}4.XC_1 - 45000 - 234100.\gamma = 0$ **(2)**

$-1765.XB_1 - 110.XC_1 + 20.YC_1 - 71500.\gamma = 0$ **(3)**

On élimine YC_1 en faisant : 20***(1)** +(-500)***(3)** = **(4)**

$\Rightarrow 985{,}75.XB_1 + 54{,}604.XC_1 + 7800 - 35334.\gamma = 0$ **(4)**

On élimine ensuite XC_1 en faisant : 496,4***(4)** + 54,604***(3)**,ce qui donne :

$463935{,}44.XB_1 + 1414740 + 4757001.\gamma = 0 \Rightarrow XB_1 = -10{,}25.\gamma - 3$

Dans **(4)** on remplace XB_1 par la valeur trouvée précédemment on trouve : $XC_1 = -462.\gamma - 88{,}7$

On remplace XB_1 et XC_1 par leur valeur dans **(3)** on a alors : $YC_1 = 129.\gamma - 752{,}6$

$XB_1 = -3 - 10.\gamma$	$XC_1 = -88 - 462.\gamma$	$YC_1 = -752 + 130.\gamma$

3 - 4 - 3 - Déterminons les expressions de :XA_1,YA_1 et ZA_1 en fonction de γ.

$\sum \overrightarrow{F}_{ext\to 2} = \vec{0}$ Car 2 est en équilibre :

sur ox : $XA_1 - 3 - 10.\gamma - 88 - 462.\gamma + 550.\gamma = 0 \Rightarrow XA_1 = -78.\gamma + 91$

sur oy : $YA_1 + 13*(-3 - 10.\gamma) - 752 + 130.\gamma = 0 \Rightarrow YA_1 = 791$

sur ox : $ZA_1 - 0{,}5*(-3 - 10.\gamma) - 0{,}18*(-88 - 462.\gamma) + 3000 - 160.\gamma = 0 \Rightarrow ZA_1 = 72.\gamma - 3017$

$XA_1 = -78.\gamma + 91$	$YA_1 = 791$	$ZA_1 = 72\gamma - 3017$

4 - VERIFICATION DU DISPOSITIF ANTI-CABRAGE

- 4 - 1 - Recherche de l'action de 3 sur l'élément élastique

On isole 3. Bilan des actions mécaniques :

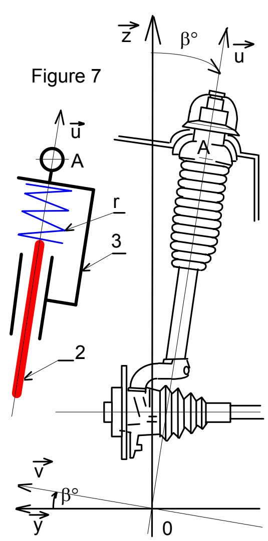


Figure 7

Action en A de la caisse 9 sur le tube de suspension 3

$$[A_{9/3}] = \begin{Bmatrix} -78.\gamma + 91 & 0 \\ 791 & 0 \\ 72.\gamma - 3017 & 0 \end{Bmatrix}_A \quad 0x,y,z$$

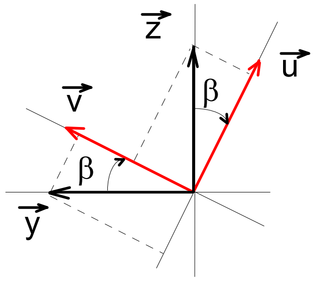
Action du ressort r projetée dans le repère (o,x,v,u)

$$[U_{r/3}] = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ U & 0 \end{Bmatrix}_A \quad 0x,v,u$$

Actions du porte-moyeu 2 projetées dans le repère (o,x,vu)

$$[V_{2/3}] = \begin{Bmatrix} X & L \\ V & M \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_A \quad 0x,v,u$$ (Liaison pivot glissant d'axe 0u)

Déterminons en fonction de γ l'action de 3 sur l'élément élastique r



$\vec{x} = \vec{x}$, $\vec{y} = \cos\beta.\vec{v} - \sin\beta.\vec{u}$ et $\vec{z} = \sin\beta.\vec{v} + \cos\beta.\vec{u}$

$$\vec{A}_{9/3} = (-78.\gamma + 91)*\vec{x} + 791*(\cos\beta.\vec{v} - \sin\beta.\vec{u}) + (72.\gamma - 3017)*(\sin\beta.\vec{v} + \cos\beta.\vec{u})$$

$$\vec{A}_{9/3} = \left|\begin{matrix} -78.\gamma + 91 \\ 791.\cos\beta + (72.\gamma - 3017)*\sin\beta \\ -791\sin\beta + (72.\gamma - 3017)\cos\beta \end{matrix}\right._{0xvu} = \left|\begin{matrix} -78.\gamma + 91 \\ 791.\cos\beta + 72.\gamma.\sin\beta - 3017.\sin\beta \\ -791\sin\beta + 72.\gamma.\cos\beta - 3017.\cos\beta \end{matrix}\right._{0xvu}$$

$$\vec{A}_{9/3} = \left|\begin{matrix} -78.\gamma + 91 \\ 660 + 3.\gamma \\ 72.\gamma - 3048 \end{matrix}\right._{0xvu}$$

Le tube de suspension 3 est en équilibre $\Rightarrow \sum \vec{F}_{ext\to 3} = \vec{0}$

En projection sur $\vec{u}$

$\Rightarrow$ 72.γ -3048 + U = 0 $\Rightarrow$ U = -72.γ +3048 $\Rightarrow \boxed{\vec{U}_{3/r} = -\vec{U}_{r/3} = (72.\gamma - 3048).\vec{u}}$

- 4 - 2 - Efficacité du dispositif

-4-2-1- Pour chaque demi-train avant, (α = 0, α = 10,20°), calcul des valeurs numériques de $\|\vec{U}_{3/r}\|$ dans les cas suivants : accélération nulle $\gamma = 0$ m.s^{-2} et accélération $\gamma = 3$ m.s^{-2}.

	Sans dispositif $\alpha = 0°$, $\vec{U}_{3/r} = (141.\gamma - 3034).\vec{u}$	Avec dispositif α =10,20° , $\vec{U}_{3/r} = (72.\gamma - 3048).\vec{u}$
$\gamma = 0$ m.s^{-2}	$\|\vec{U}_{3/r}\| = 3034$	$\|\vec{U}_{3/r}\| = 3048$
$\gamma = 3$ m.s^{-2}	$\|\vec{U}_{3/r}\| = 2611$	$\|\vec{U}_{3/r}\| = 2832$
Différence	423	216

L'élément élastique est détendu

On remarque que le système anti-cabrage est efficace. En effet la différence d'effort, sur l'élément élastique de la suspension, entre les deux phases de déplacement, à vitesse constante ($\gamma = 0$ m.s^{-2}) et accéléré ($\gamma = 3$ m.s^{-2}), est beaucoup plus faible pour α =10,20° que pour α = 0°. Ainsi l'élément élastique de la suspension se détend moins donc la tendance au cabrage du véhicule est plus faible

4 - 2 - 2 - Ce système fonctionne en phase de freinage en tant que dispositif anti-plongée. Les équations établies précédemment restent applicables. Il n'y a que le signe de l'accélération qui change. L'accélération devient négative dans le repère choisi pour faire cette étude. Faisons le calcul pour une phase de freinage avec une accélération $\gamma = -3$ m.s^{-2} (décélération)

	Sans dispositif $\alpha = 0°$, $\vec{U}_{3/r} = (141.\gamma - 3034).\vec{u}$	Avec dispositif α =10,20° , $\vec{U}_{3/r} = (72.\gamma - 3048).\vec{u}$
$\gamma = 0$ m.s^{-2}	$\|\vec{U}_{3/r}\| = 3034$	$\|\vec{U}_{3/r}\| = 3048$
$\gamma = -3$ m.s^{-2}	$\|\vec{U}_{3/r}\| = 3457$	$\|\vec{U}_{3/r}\| = 3264$
Différence	423	216

L'élément élastique est comprimé

CLIMATISATION

1 - CARACTERISTIQUE DU R134.

Calcul de cv et Cp

La relation de Mayer nous indique $C_p - C_v = r$ et nous savons que $\frac{C_p}{C_v} = \gamma$.

On en déduit $C_v = \frac{r}{\gamma - 1}$ et $C_p = \frac{\gamma . r}{\gamma - 1}$ donc $C_v = \frac{85}{1,12 - 1} = 708.J/kg.K$ et $C_p = 1,12.708 = 793.J/kg.K$

2 - CYCLE DU FLUIDE FRIGORIGENE

2 - 1 - Points qui correspondent aux états 1, 2, 5.
Voir le document III.

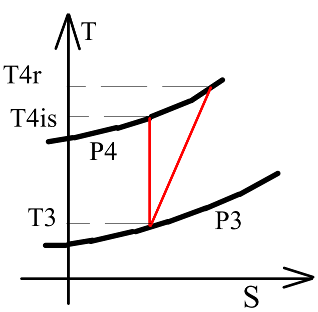
2 - 2 - température de fin de surchauffe T_3.

La transformation 2→3 est une transformation isobare $\Rightarrow q_{2\to3} = C_p.(T_3 - T_2) \Rightarrow \mathbf{T_3 = T_2 + \frac{q_{2\to 3}}{C_p}}$

$$\mathbf{T_3 = 278 + \frac{15000}{793} = 297.K}$$

3 - ETUDE DE LA COMPRESSION

3 - 1 - Température de fin de compression isentropique T_{4is}.



$3 \to 4_{is}$ = isentropique $\Rightarrow p_3 \cdot v_3^{\gamma} = p_4 \cdot v_{4is}^{\gamma}$
l'air est assimilé à un gaz parfait donc
$p_3 \cdot v_3 = r.T_3.et.p_4 \cdot v_{4is} = r.T_{4is}$

$$\Rightarrow \frac{T_{4is}}{T_3} = \left(\frac{p_4}{p_3}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \Rightarrow T_{4is} = T_3 \cdot \left(\frac{p_4}{p_3}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 297.\left(\frac{10}{3,5}\right)^{\frac{0,12}{1,12}} = 332.K$$

soit t_{4is} = 59 °C

3 - 2 - Température de fin de compression adiabatique réelle

$$\eta_{isc} = \frac{T_{4is} - T_3}{T_{4r} - T_3} \Rightarrow \eta_{isc}.(T_{4r} - T_3) = T_{4is} - T_3 \Rightarrow T_{4r} = T_3 + \frac{T_{4is} - T_3}{\eta_{isc}} = 297 + \frac{332 - 297}{0,8} = 341.K$$

soit t_{4r} = 68 °C

3 - 3 - Mise en place des points 3, 4_{is} et 4_r. Voir le document III.
3 - 4 - tracé du cycle Voir le document III.

3 - 5 - Travail massique réel w_r que doit fournir le compresseur au fluide.

Relevé sur le graphique document III $w_r = 455 - 420 = 35$ kJ/kg.K.

3 - 6 - Puissance fournie par le compresseur au fluide

$P_r = q_m.w_r = 35000.0{,}13 = 4{,}55$ kW

3 - 7 - Puissance effective nécessaire pour entraîner le compresseur

$$P_{eff} = \frac{P_r}{\eta_m} = \frac{4{,}55}{0{,}9} = 5.\text{kW}$$

4 - EFFICACITE DE L'INSTALLATION

4 - 1 - Quantité de chaleur échangée par 1 kg de fluide au niveau de l'évaporateur

$q_{1\to3} = 420 - 255 = 165$ kJ/kg

4 - 2 - Quantité de chaleur échangée par 1 kg de fluide au niveau du condenseur

$q_{4r\to5} = 255 - 455 = -200$ kJ/kg

4 - 3 - Efficacité de l'installation

$$\varepsilon = \frac{q_{1\to3}}{w} = \frac{165}{35} = 4{,}4$$

5 - MODIFICATION DE L'EFFICACITE

5 - 1 -Eléments qui influent sur ε

$$\varepsilon = \frac{q_{1\to3}}{w}$$

- agir sur w en améliorant $\eta$is
- agir sur $q_{1\to3} = h_3 - h_1$ soit augmenter la surchauffe h_3, soit agir sur le refroidissement h_1.

5 - 2 - Pour une efficacité ε = 5 sans agir sur w

5-2-1- Calcul de la quantité de chaleur échangée alors au niveau de l'évaporateur $q_{1\to3}$.

$q_{1\to3} = w.\ \varepsilon = 35.5 =$ **175 kJ/kg**

5-2-2- Calcul de la quantité de chaleur échangée alors au niveau de du condenseur.

$w + q_{1\to3} + q_{4r\to5} = 0$ (premier principe)

$q_{4r\to5} = w + q_{1\to3} = 175 + 35 =$ **210 kJ/kg**