

Examen : <b>DIPLÔME D'EXPERT EN AUTOMOBILE</b>	Session : 2007	
Epreuve : <b>SCIENCES ET TECHNIQUES INDUSTRIELLES</b>	Durée : 4h	Coefficient : 1

# **DIPLÔME D'EXPERT EN AUTOMOBILE**

## **SCIENCES ET TECHNIQUES INDUSTRIELLES**

### ***VEHICULE PROTOTYPE CLEVER***

(Compact Low Emission VEhicule for uRban transport)

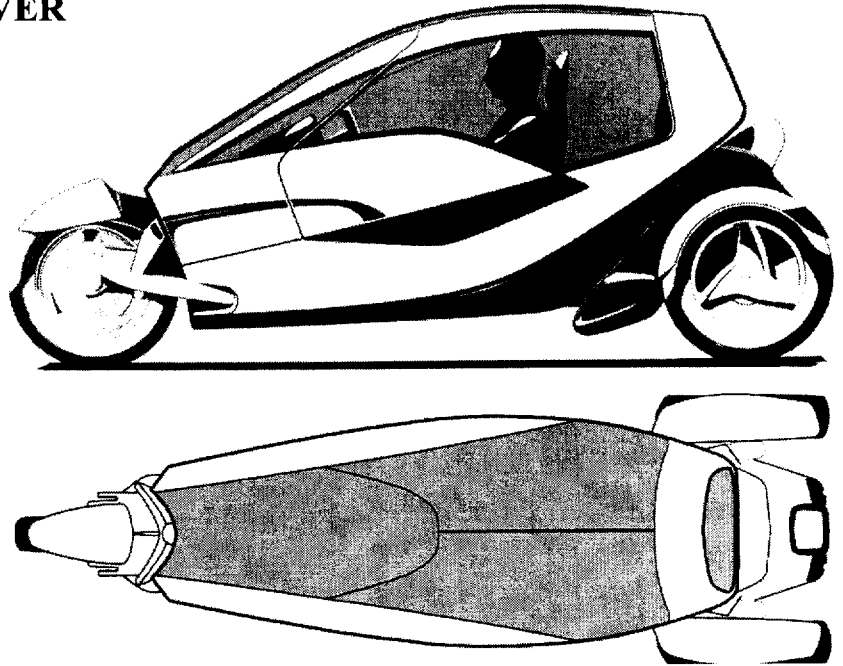
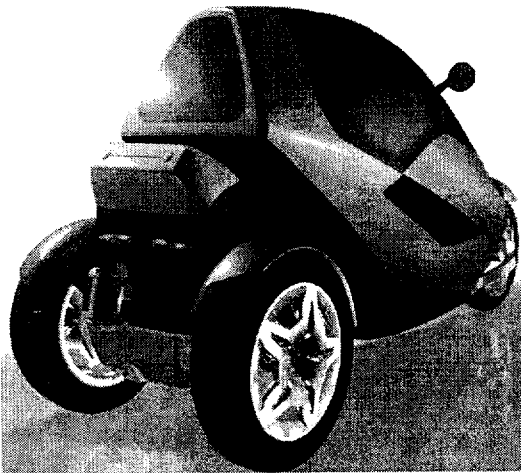
**Le document réponse DR1 est à compléter et à joindre à la feuille de copie.**

***Barème : sur 200 points***

<b>N°</b>	1.1.1	1.1.2	1.2.1	1.2.2	1.2.3	1.2.4	1.3	Total
<b>Points</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>90</b>
<b>N°</b>	2.1.1	2.1.2	2.2.1	2.2.2				Total
<b>Points</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>				<b>70</b>
<b>N°</b>	3.1	3.2						Total
<b>Points</b>	<b>20</b>	<b>20</b>						<b>40</b>

**AUCUN DOCUMENT N'EST AUTORISÉ**

## VEHICULE PROTOTYPE CLEVER

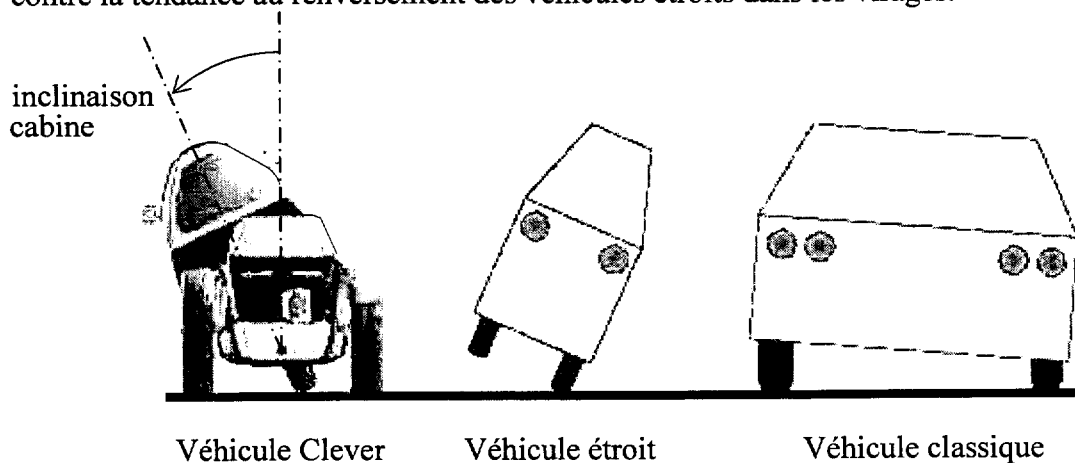


### DOSSIER TECHNIQUE

#### Présentation du véhicule prototype Clever

Ce nouveau véhicule à 3 roues, à cabine inclinable, est destiné à un usage urbain.

La cabine s'incline vers l'intérieur du virage, à l'instar des motos. Cette inclinaison de la cabine, permet de lutter contre la tendance au renversement des véhicules étroits dans les virages.



Ce véhicule peut transporter 2 personnes assises en tandem.

Ce véhicule présente une largeur minimale, un poids réduit, une faible consommation avec un bas niveau d'émissions polluantes, inférieur à la norme Euro IV.

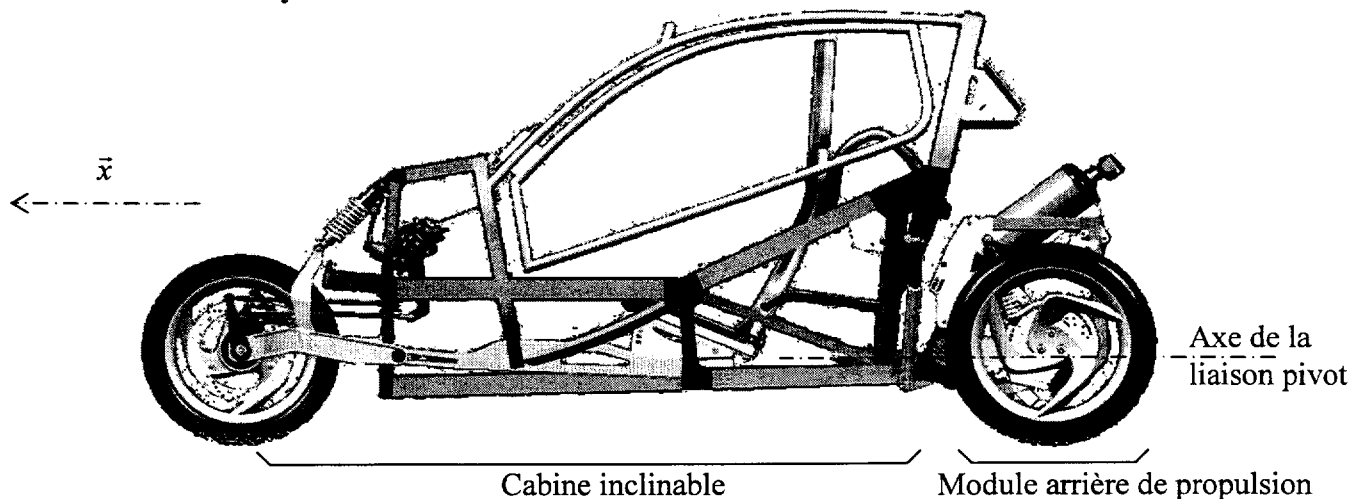
Le confort et la sécurité passive sont comparables à ceux des voitures compactes modernes.

Le coût d'achat et le coût d'utilisation sont inférieurs à ceux des voitures compactes modernes.

Ce véhicule se conduit grâce à des commandes identiques à celles des voitures (volant, leviers,...etc).

Ce véhicule est très maniable, et les sensations de conduite sont semblables à celles d'une moto.

Les enquêtes montrent que 15 % au minimum des trajets en ville peuvent être assurés par ce véhicule. Mais aussi, les problèmes de circulation actuels en ville (engorgements, stationnements, pollution...) augmentent le potentiel d'utilisation de ce véhicule Clever. Les temps de parcours seront aussi réduits. Le marché potentiel est donc significatif.

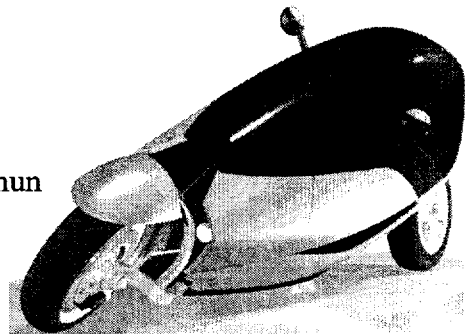
**Structure du véhicule et système d'inclinaison :**

Le véhicule Clever est constitué d'une structure principale inclinable appelée cabine, et d'un module arrière assurant la propulsion. Ce module arrière reste toujours perpendiculaire à la route. Ces 2 éléments sont liés par une liaison pivot d'axe parallèle à l'axe d'avancement du véhicule ( $\bar{x}$ ).

Il y a 2 manières de contrôler l'inclinaison en virage :

- en « prenant de l'angle » comme le font les motards, c'est simple mais cela nécessite un pilotage qualifié, et de plus, la moto n'est pas stable aux faibles vitesses et à l'arrêt (conditions urbaines).
- en confiant l'inclinaison à un système mécanique « intelligent » (ici : système hydraulique plus calculateur), qui malgré sa complexité, permet aux conducteurs habituels d'automobiles de bénéficier des avantages de l'inclinaison en virage.

Véhicule Clever avec cabine inclinée au Maximum

**Caractéristiques :**

- Véhicule à 3 roues, à cabine inclinable à  $\pm 45^\circ$  (inclinaison réalisée par système hydraulique)
- Rayon de braquage : 3,2 m lorsque la cabine est inclinée de  $45^\circ$  et 5,2 m lorsque la cabine est verticale
- Longueur : 3 m
- Largeur : 1 m
- Hauteur : 1,35 m
- Empattement : 2450 mm
- Voie (roues arrières) : 835 mm
- Masse à vide : 395 kg
- Section projetée du véhicule suivant l'axe longitudinal (ou surface frontale A): 1,045 m<sup>2</sup>
- Coefficient de traînée ( $C_x$ ) : 0,45
- Moteur à Gaz Naturel pour Véhicule (GNV) : 12,5 kW à 8500 tr/min
- Stockage GNV dans 2 réservoirs interchangeables (vente en station service ou en supermarché et possibilité de stockage à domicile)
- Autonomie : environ 200 km
- Vitesse Maxi : 100 km/h (de 0 à 60 km/h en 7 s)
- Émissions de CO<sub>2</sub> < 60 g/km
- Châssis en aluminium avec carrosserie en matériau synthétique

## TRAVAIL DEMANDE

**Présentation :** On se propose de comparer le comportement en virage d'un véhicule CLEVER par rapport à un véhicule « étroit rigide » et de vérifier que le système d'inclinaison ne pénalise pas les performances du véhicule.

Les 3 parties sont indépendantes.

Le travail est à effectuer sur feuille de copie et sur document réponse.

### 1° partie : Etude du comportement en virage. Comparaison pour les véhicules « classique » et « étroit » à 4 roues.

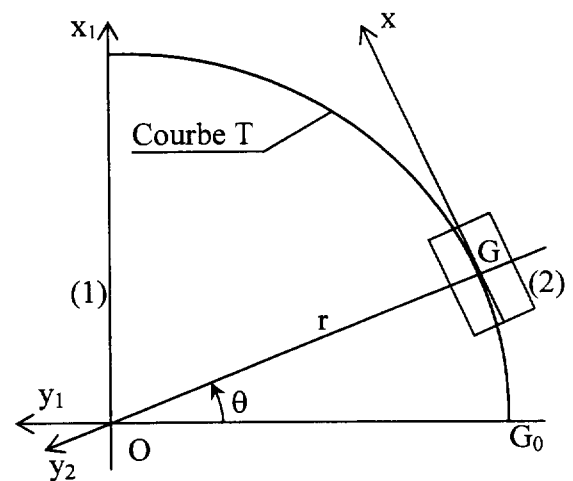
**But :** déterminer les vitesses théoriques en virage, avant glissement ou retournement, pour ces 2 véhicules.

1.1 – Un véhicule « classique » (2) parcourt la courbe T à la vitesse  $v$ , dans le repère  $R(O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$  lié à la terre (1)

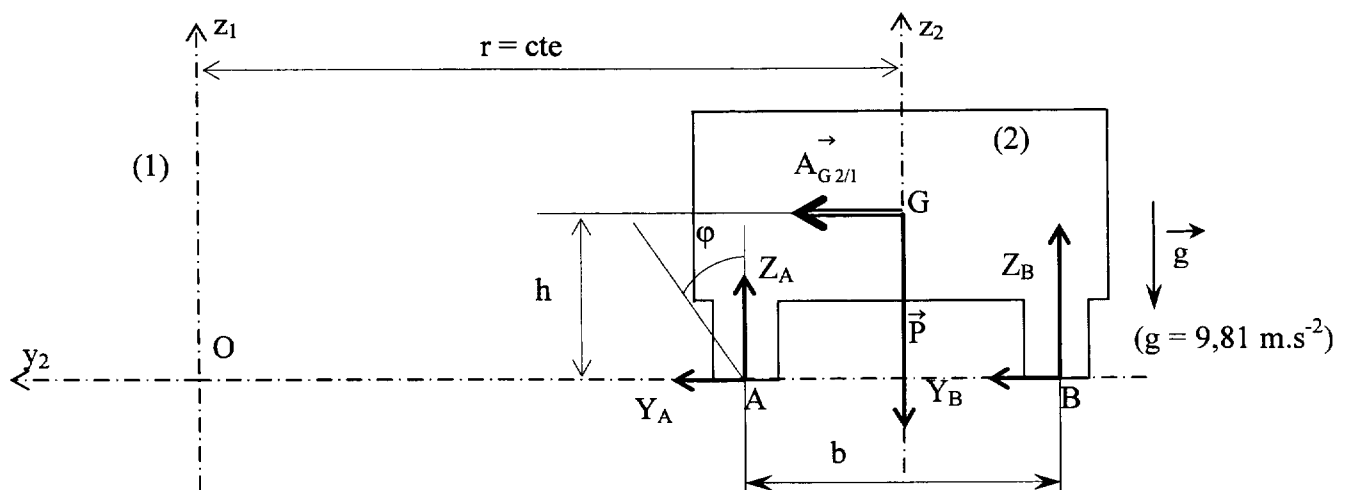
Notations :  $\omega = \dot{\theta} = \frac{d\theta}{dt}$  et  $\alpha = \ddot{\theta} = \frac{d^2\theta}{dt^2}$

1.1.1 – Exprimer la norme du vecteur vitesse  $\vec{V}_{G/2/1}$  du centre de gravité du véhicule par rapport au sol :  $v$ .  
Tracer, sur la figure 1 du document réponse DR1, le vecteur vitesse  $\vec{V}_{G/2/1}$ .

1.1.2 – Exprimer la norme des composantes tangentielle ( $a_t$ ) et normale ( $a_n$ ) du vecteur accélération  $\vec{A}_{G/2/1}$ .  
Tracer, sur la figure 1 du document réponse DR1, le vecteur accélération  $\vec{A}_{G/2/1}$  et ses composantes normale et tangentielle.



1.2 – Le véhicule « classique » (2), de masse  $m$ , est modélisé ci-dessous. Il parcourt, sur une route horizontale, la courbe T à une vitesse  $v$  constante, donc  $\vec{A}_{G/2/1} = \vec{a}_n$



## 1.2.1 – Isoler le véhicule « classique » (2).

Faire le bilan des actions extérieures qui agissent sur le système isolé.

Appliquer le principe fondamental de la dynamique au point G et écrire les 3 équations scalaires qui en résultent.

On admet que le moment dynamique au point G est nul ( $\vec{\delta}_{G2/1} = \vec{0}$ ).

## 1.2.2 – Etude au glissement.

Il y a « équiadhérence » aux contacts roues/sol, et le véhicule est à la limite de l'adhérence.

Les 2 équations correspondantes sont :  $Y_A = \mu_t \cdot Z_A$  et  $Y_B = \mu_t \cdot Z_B$

Le facteur d'adhérence transversal est  $\mu_t = \tan \varphi = 0,9$  (pneus neufs, chaussée sèche).

Déterminer l'expression de la vitesse  $v$  en fonction des paramètres  $\mu_t, r, g$ .

## 1.2.3 – Etude du renversement.

A l'instant de l'étude  $Y_A = Z_A = 0$ .

Déterminer  $v$  en fonction des paramètres  $b, h, r, g$ .

1.2.4 – Les caractéristiques du véhicule classique sont : voie  $b = 1,45$  m et hauteur  $h = 0,65$  m.

Compléter le tableau *figure 2 document DR1* en calculant les vitesses maxi du véhicule « classique » pour le non glissement et le non renversement

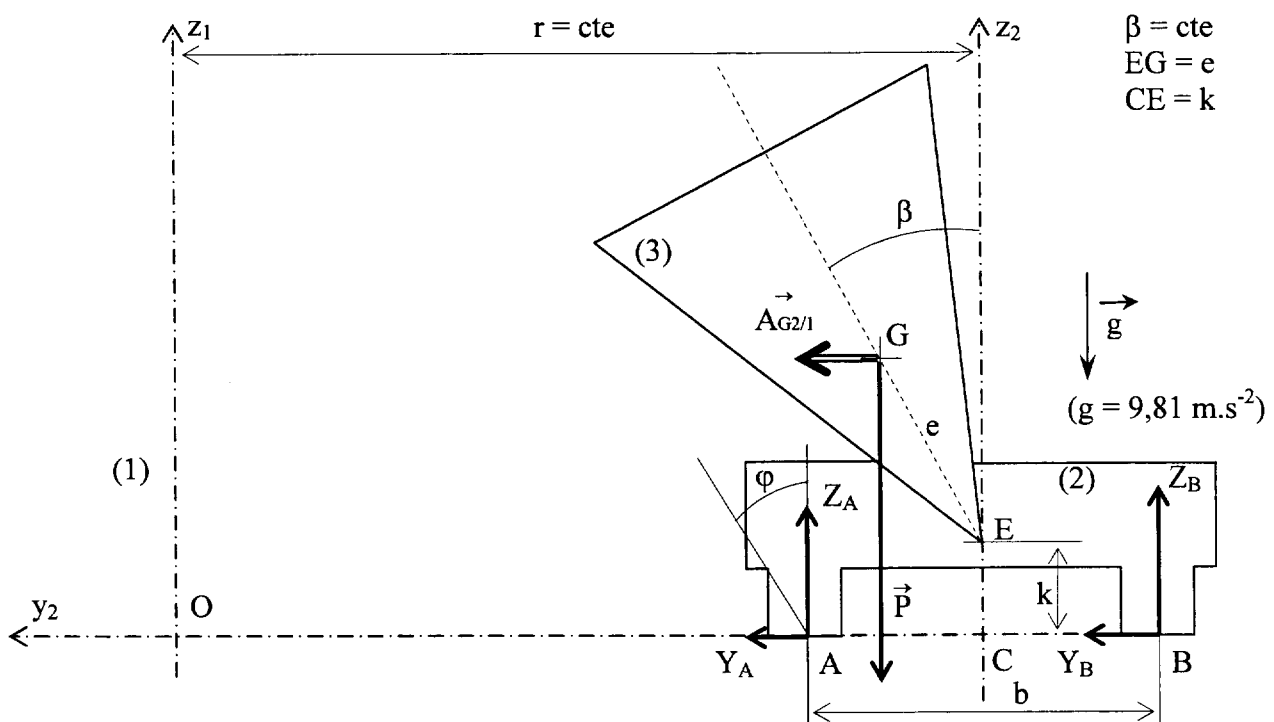
1.3 – Le modèle choisi et les équations établies précédemment restent valables pour le véhicule « étroit » dont les caractéristiques sont : voie  $b = 1$  m et hauteur  $h = 0,65$  m.

Compléter le tableau *figure 2 document DR1* en calculant les vitesses maxi du véhicule « étroit » pour le non glissement et le non renversement

Comparer les valeurs des véhicules « classique » et « étroit ».

## 2° partie : Etude du comportement en virage d'un véhicule « Clever » à cabine inclinable.

But : déterminer les vitesses théoriques en virage, avant retournement, pour le prototype « Clever ».

2.1 – Le véhicule de masse  $m$  est modélisé ci-dessous :

Le véhicule « Clever » (2) parcourt la courbe T à la vitesse  $v$ , dans le repère  $R(O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$  lié à la terre (1)

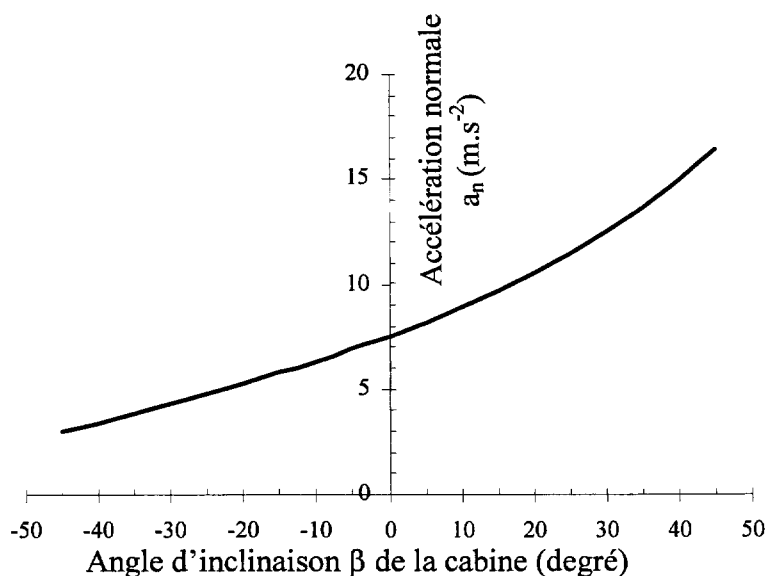
Hypothèses complémentaires :

La roue avant centrale du véhicule Clever n'est pas prise en compte dans cette première étude.

Le véhicule est constitué de la cabine (3) et du module de propulsion (2). L'angle d'inclinaison  $\beta$  entre la cabine (3) et l'axe vertical est constant. L'ensemble (2+3) constitue un ensemble rigide dans cette étude.

L'étude dynamique montre que, pour éviter le renversement, la relation  $a_n \leq g \cdot \frac{b/2 + e \cdot \sin \beta}{k + e \cdot \cos \beta}$

doit être vérifiée. Cette relation est tracée sur la figure ci-dessous.



$$\begin{aligned} b &= AB = 1 \text{ m} \\ e &= EG = 0,49 \text{ m} \\ k &= EC = 0,16 \text{ m} \\ g &= 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \end{aligned}$$

2.1.1 – Relever les accélérations admissibles pour les angles d'inclinaison  $\beta = 15^\circ$ ,  $\beta = 45^\circ$ .

Calculer les vitesses maxi que le véhicule Clever peut théoriquement atteindre avant retournement pour les virages de rayon 50 m et 20 m avec les angles  $\beta = 15^\circ$  et  $\beta = 45^\circ$ . et compléter le tableau *Figure 2 document DRI*

2.1.2 – Décrire alors le comportement (glissement et/ou retournement) du véhicule Clever pour une inclinaison  $\beta \geq 15^\circ$

Comparer avec les résultats des véhicules « classique » et « étroit ».

Conclure quant à l'utilisation du véhicule Clever.

## 2.2 – Prise en compte de la géométrie à 3 roues du véhicule CLEVER

Le véhicule de masse  $m_T$  est modélisé page suivante :

Données :

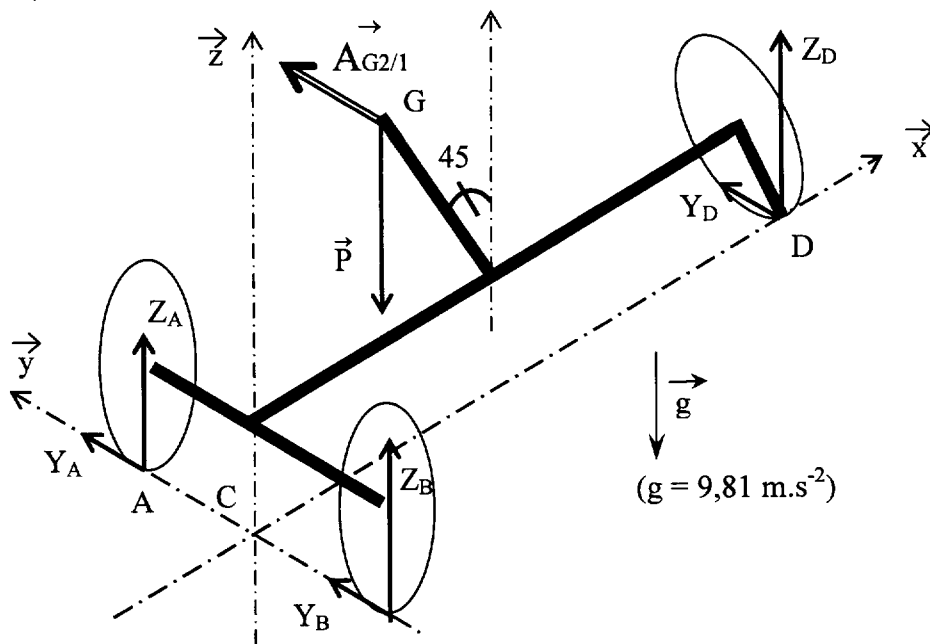
Coordonnées des points dans le repère  $(C, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$  :

$$A \begin{pmatrix} 0 \\ 417,5 \\ 0 \end{pmatrix} \quad B \begin{pmatrix} 0 \\ -417,5 \\ 0 \end{pmatrix} \quad C \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad D \begin{pmatrix} 2450 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad G \begin{pmatrix} 820 \\ 340 \\ 506 \end{pmatrix}$$

Masse totale (Clever + conducteur) :  $m_T = 500 \text{ kg}$

Inclinaison Maxi de la cabine :  $\beta = 45^\circ = \text{cte}$

Coefficient d'adhérence transversal :  $\mu_t = 0,9$



2.2.1 – Isoler le véhicule et faire le bilan des actions extérieures qui agissent sur le système isolé

Notation pour les actions en A, B et D :  $\{T_{1A/2}\} = \begin{matrix} \vec{A}_{1/2} \\ \vec{0} \end{matrix}_{(x, y, z)} = \begin{matrix} 0 & 0 \\ Y_A & 0 \\ Z_A & 0 \end{matrix}_{(x, y, z)}$

$X_A$  et  $Z_A$  sont des valeurs algébriques

Appliquer le principe fondamental de la dynamique au centre de gravité G du véhicule isolé et en déduire les cinq équations qui lient les composantes des actions du sol sur les roues en A, B, et D ( $Y_A, Z_A, Y_B, Z_B, Y_D$  et  $Z_D$ ).

Pour cela, on admettra que l'expression du torseur dynamique du véhicule en G dans le repère

(G,  $\vec{x}, \vec{y}, \vec{z}$ ) est :  $\{D_{2/1}\} = \begin{matrix} m_T \vec{A}_{G2/1} \\ \vec{0} \end{matrix}_{(x, y, z)} = \begin{matrix} 0 & 0 \\ m_T a_n & 0 \\ 0 & 0 \end{matrix}_{(x, y, z)}$

2.2.2 – On donne ci-dessous le tableau des résultats pour le prototype Clever et pour le véhicule « étroit » de même géométrie.

Analyser le contact en A pour décrire ce qui se passe au cours du mouvement.

Solution pour $a_n = 8,82 \text{ m/s}^2$		Prototype CLEVER (avec $\beta = 45^\circ$ )		
	A	B	D	$a_G$
Y	858 N	2079 N	1478 N	8,82 m/s <sup>2</sup>
Z	954 N	2310 N	1642 N	

Solution pour $a_n = 8,82 \text{ m/s}^2$		Véhicule « étroit » de même géométrie $\Leftrightarrow \beta = 0$		
	A	B	D	$a_G$
Y	-1624 N	4561 N	1478 N	8,82 m/s <sup>2</sup>
Z	-1805 N	5068 N	1642 N	

Solution pour $a_n = 4,2 \text{ m/s}^2$		Véhicule « étroit » de même géométrie $\Leftrightarrow \beta = 0$		
	A	B	D	$a_G$
Y	0	1394 N	701 N	4,2 m/s <sup>2</sup>
Z	0	3263 N	1641 N	

### 3° partie : Système d'inclinaison Clever

**But :** Vérifier que la puissance nécessaire à l'inclinaison de la cabine n'excède pas 10 % de la puissance du moteur thermique.

#### Présentation :

L'inclinaison  $\beta$  de la cabine du véhicule Clever est réalisée par 2 vérins simple effet. Ces 2 vérins hydrauliques sont positionnés entre la cabine (3) et le module arrière de propulsion (2). L'un des vérins incline la cabine d'un côté, l'autre vérin incline la cabine du côté opposé.

Un calculateur autorise l'alimentation de l'un des vérins en huile, pendant que l'huile s'évacue de l'autre vérin.

#### Notations :

masse cabine :  $m_3$

accélération de la pesanteur :  $g$

angle d'inclinaison de la cabine :  $\beta$

accélération angulaire :  $\ddot{\beta}$

#### Hypothèses :

Le mouvement étudié est la rotation autour de l'axe  $(E, \vec{x})$  de la cabine (3) par rapport au module arrière (2).

Dans cette première étude, le module arrière (2) est considéré comme fixe et la cabine (3) est modélisée par la tige EG. Le centre de gravité est le point G situé à la distance  $EG = e$  de l'axe  $(E, \vec{x})$

Le pivot d'axe  $(E, \vec{x})$  est parfait. Le problème est plan.

#### Données :

L'action des vérins sur la cabine crée un moment d'axe  $(E, \vec{x})$

noté  $\vec{L}_E$

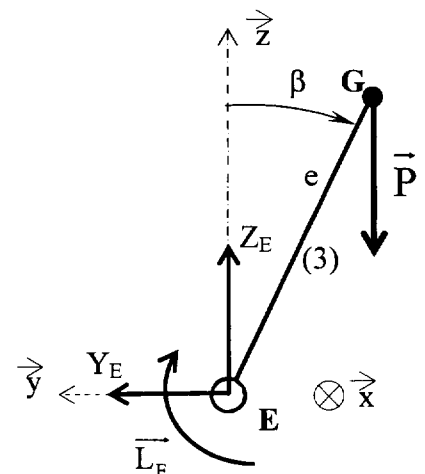
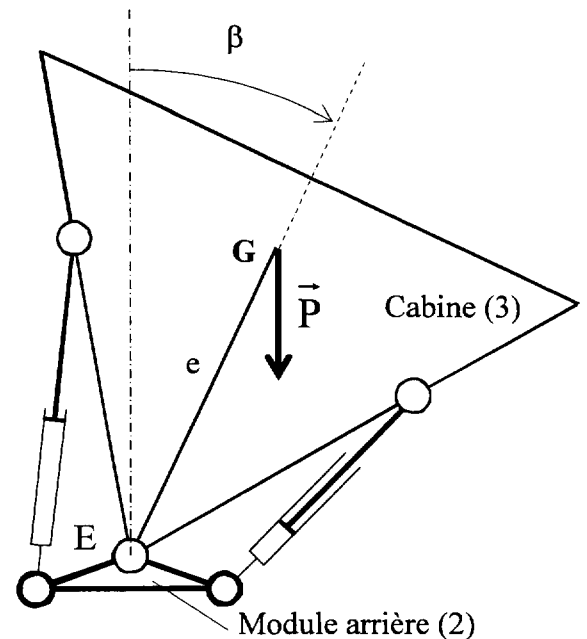
Avec le modèle simplifié choisi, l'expression du moment  $L_E$

nécessaire à l'inclinaison de (3)/(2) s'écrit :

$$L_E = - m_3 \cdot g \cdot e \cdot \sin\beta + m_3 \cdot e^2 \cdot \ddot{\beta}$$

Le cahier des charges impose l'inclinaison de la cabine de  $-45^\circ$  à  $+45^\circ$  en 1,5 s.

Cela se traduit par l'équation de mouvement :  $\beta(t) = \frac{\pi}{4} \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{3} \cdot t\right)$

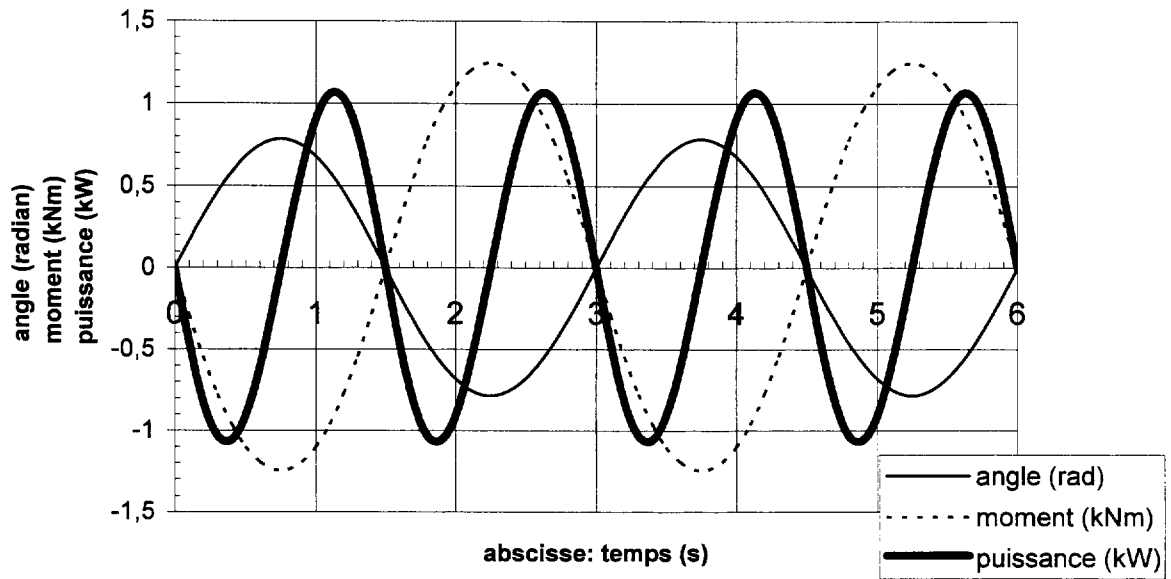


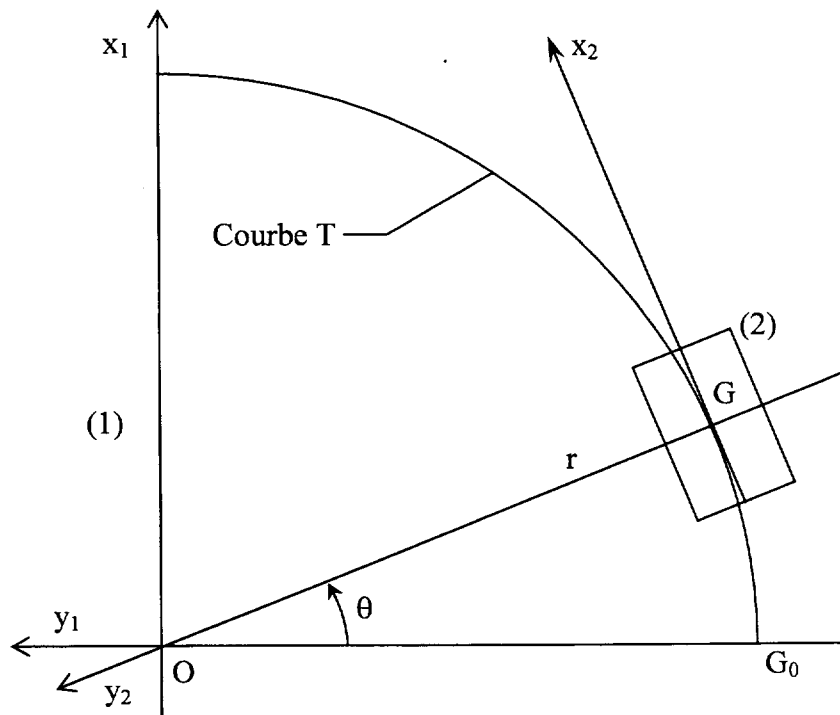
3.1 – Exprimer la vitesse angulaire  $\dot{\beta}(t)$  puis écrire l'expression littérale de la puissance  $P_{CAB}$  nécessaire à l'inclinaison de la cabine.

3.2 – On donne page suivante les courbes donnant l'angle d'inclinaison  $\beta$ , le moment  $L_E$  et la puissance  $P_{CAB}$  en fonction du temps  $t$  avec  $m_3 = 295 \text{ kg}$  et  $e = 0,49 \text{ m}$   
Relever et justifier les valeurs du moment et de la puissance correspondantes à l'inclinaison Maxi.  
Relever les valeurs du moment et de la puissance permettant le fonctionnement dans tous les cas.



### moment et puissance nécessaires à l'inclinaison de la cabine



**DR1 (Document Réponse 1)**

**Figure 1** : vue de dessus d'un véhicule en virage, de rayon constant  $OG = r$

		Bilan des vitesses admissibles (km/h)				
		véhicule « classique »	véhicule « étroit »	véhicule Clever		
vitesse glissement	$r = 50 \text{ m}$	75,6	75,6	75,6		
	$r = 20 \text{ m}$			47,8		
				$\beta = 0$	$\beta = 15^\circ$	$\beta = 45^\circ$
vitesse renversement	$r = 50 \text{ m}$	84,2		69,9		102
	$r = 20 \text{ m}$		44,2	44,2	50,4	

**Figure 2** : tableau des vitesses théoriquement admissibles (km/h) pour les 3 véhicules dans deux virages de 20 m et 50m de rayon.