

Physique - Devoir Maison 04

02/12/2024

Ce sujet comporte 4 pages et doit être traité en intégralité. Comme pour tous DMs, vous pouvez vous entraider pour les questions les plus difficiles. Il doit **impérativement** être rédigé en binôme, différent de celui du DM02.

Si vous avez des questions, n'hésitez pas à les poser par mail.

I Voiture et sécurité

Ce problème s'intéresse à quelques aspects de la sécurité routière. La première partie étudie la distance de freinage en fonction de l'état de la chaussée, la deuxième partie analyse le principe du relèvement d'un virage et la dernière partie étudie les risques liés à la suspension d'un objet dans l'habitacle à proximité du conducteur.

On précise que les parties sont totalement indépendantes les unes des autres. Dans tout le problème, on considérera que l'accélération de pesanteur vaut $g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

I.A Distance nécessaire pour s'arrêter sur une ligne droite horizontale

La sécurité routière insiste fortement sur le respect de distances minimales entre les véhicules afin qu'en cas d'incident imprévu, tout véhicule puisse s'arrêter sans danger.

DOCUMENT 1 : "Distance de sécurité", article extrait du site de l'Association de Prévention Routière
<http://www.preventionroutiere.asso.fr>

Sur autoroute, près des deux tiers des conducteurs ne respectent pas la distance de sécurité entre leur voiture et le véhicule qui les précède. Garder ses distances avec le véhicule que l'on suit est pourtant le meilleur moyen d'éviter une collision ou pire un carambolage.

La distance d'arrêt d'un véhicule correspond à la distance parcourue pendant le temps de réaction de son conducteur à laquelle s'ajoute la distance de freinage.

- *Temps de réaction noté t_R : on évalue à une seconde le temps minimum nécessaire pour que le conducteur réagisse en cas d'incident ou d'apparition d'un obstacle et ce, dans les meilleures conditions. Pendant ce temps-là, le véhicule continue sa course. Ce n'est qu'une fois l'information assimilée que le conducteur commence vraiment à freiner.*
- *Distance de freinage : sa longueur varie en fonction de la vitesse du véhicule, de l'efficacité du système de freinage, de la pente, ...*

Le Code de la Route a fixé une règle claire : l'intervalle de sécurité à ménager entre vous et le véhicule qui vous précède est au moins la distance que vous parcourez en 2 secondes. Plus votre vitesse est élevée, plus cette distance doit être grande.

Pour les véhicules lourds (PTAC > 3,5 t) ou ceux dont la longueur dépasse 7 mètres, les ensembles de véhicules (voiture + caravane) et les camping-cars, cette distance est d'au moins 50 mètres.

Comment évaluer la bonne distance de sécurité ? Prenez un point de repère visuel sur le bord de la route comme un arbre ou un panneau de signalisation. Une fois que le véhicule qui vous précède est passé à sa hauteur, comptez 2 secondes. Si votre véhicule passe ce repère avant ce délai, vous êtes trop près.

Autre astuce : sur autoroute, les lignes délimitant la bande d'arrêt d'urgence mesurent 39 mètres et sont espacées entre elles de 13 mètres. A $130 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, vous devez au moins laisser un intervalle de 2 traits soit environ $D = 90$ mètres pour arrêter votre véhicule sans percuter celui qui vous précède.

On considère un véhicule roulant sur une route rectiligne horizontale Ox à la vitesse v_0 prise égale pour l'instant à $130 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ avec un mouvement uniforme. On notera \vec{e}_x le vecteur unitaire de l'axe Ox dans le sens du déplacement. On donne les coefficients de frottement statiques suivants :

Matériaux	Coefficient de frottement statique μ_0
pneu sur béton sec	0,80
pneu sur béton mouillé	0,60

On prendra l'origine des temps à l'instant où un obstacle a surgi dans le champ de vision du conducteur, et l'origine O de l'espace à la position du véhicule à l'instant initial $t = 0 \text{ s}$. Pour les applications numériques, on prendra $t_R = 1,0 \text{ s}$.

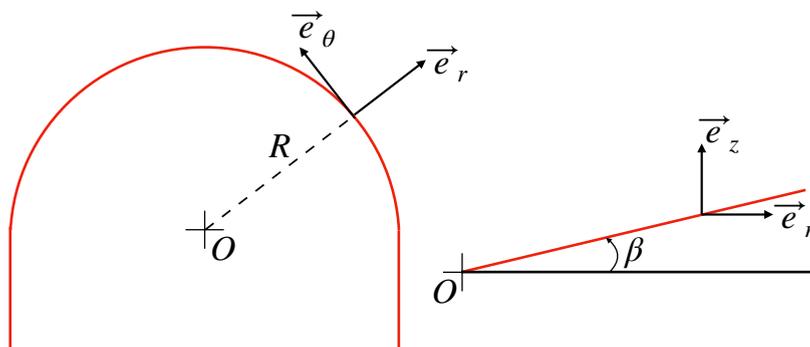
- À la suite de l'apparition d'un obstacle dans le champ de vision du conducteur, on peut distinguer une première phase du mouvement dont la durée correspond au temps de réaction du conducteur t_R . Que peut-on dire de la nature du mouvement au cours de cette phase? En déduire l'expression de la vitesse $v(t)$ puis de la position $x(t)$ du véhicule au cours du temps durant cette première phase, et l'abscisse du point R atteint au bout du temps de réaction.
- La seconde correspond au freinage proprement dit. Par souci de simplification, on considère que le freinage consiste à imposer une **décélération** a_0 constante. Si on suppose que $a_0 > 0$, donner l'expression du vecteur accélération au cours du temps puis celle du vecteur vitesse.
- En déduire la position $x(t)$ du véhicule en fonction du temps. (pour $t < t_R$ et $t > t_R$)
- Déterminer l'instant t_1 pour lequel le véhicule s'arrête. En déduire la distance d'arrêt d_a en fonction de v_0 , a_0 et t_R .
- Exprimer puis calculer (A.N.) la valeur minimale de la décélération permettant d'utiliser les lignes de la bande d'arrêt d'urgence pour évaluer la distance de sécurité c'est-à-dire pour que la distance d'arrêt soit inférieure à la distance D des deux lignes de la bande d'arrêt d'urgence.
- Pour une valeur de décélération $a_0 = 12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, comparer les temps d'arrêt et les distances d'arrêt pour des vitesses respectivement de 90 et $130 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Les résultats sont-ils logiques?
- En supposant que les pneus roulent sans glissement lors de la phase de freinage (le véhicule est muni d'un système ABS), exprimer la décélération maximale $a_{0,\text{max}}$ en fonction de g et μ_0 puis effectuez les applications numériques pour un sol mouillé puis sec.
- Ces valeurs étant inférieure à $a_0 = 12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, pourquoi le véhicule peut-il tout de même atteindre une décélération moyenne de $12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$?

I.B Relèvement d'un virage

On revient au cas d'une route sèche et horizontale mais elle n'est plus rectiligne. On la modélise par un arc de cercle horizontal de rayon R et de centre O .

- Rappeler les expressions de la vitesse et de l'accélération d'un mouvement circulaire en coordonnées polaires (R, θ) d'origine O et d'axe vertical Oz .
- On veut parcourir cette portion de route à vitesse constante v avec un véhicule de masse m . Que peut-on dire de la vitesse angulaire de rotation $\dot{\theta}$ sur l'arc de cercle? En déduire l'expression du vecteur accélération du véhicule.
- En projetant le principe fondamental de la dynamique sur la verticale, exprimer la composante normale N de la réaction de la route.
- Montrer qu'il y a nécessairement une force radiale \vec{T} au cours du mouvement. On donnera l'expression de sa norme en fonction de m , v et R .
- Pour que le virage soit pris dans de bonnes conditions de sécurité, cette force doit correspondre à la composante tangentielle de la réaction de la route lorsqu'il n'y a pas glissement c'est-à-dire que sa norme T doit être inférieure à $\mu_0 N$ où N est la composante normale de la réaction et μ_0 le coefficient de frottement. Montrer que pour qu'il en soit ainsi, la vitesse ne doit pas dépasser une valeur maximale v_{max} qu'on exprimera en fonction de μ_0 , g et R . Donner sa valeur numérique sur route sèche avec $R = 50 \text{ m}$.

14. Si le virage est mouillé voire verglacé, que peut-on dire de la vitesse maximale avec laquelle on peut aborder le virage? Vers quelle limite tend v_{max} quand le frottement tend à s'annuler?
15. Pour améliorer le contact pneu - route, on relève le virage d'un angle β . On suppose ici qu'il n'y a pas de frottement. Exprimer la valeur de la vitesse constante v dans le virage en fonction de g , R et β . Donner sa valeur pour $\beta = 20^\circ$ et $R = 50$ m.



Deux projections du relèvement d'un virage.

16. Calculer la valeur de β pour retrouver la vitesse v_{max} obtenue précédemment à la question 13.

I.C Danger lié à un pendule suspendu dans un véhicule

Prélude : Dynamique en référentiel non Galiléen

Dans cette partie, on s'intéresse à l'étude du mouvement d'un système ponctuel M de masse m à l'intérieur du véhicule qui est lui même en mouvement par rapport à la route. On considère alors le référentiel terrestre noté \mathcal{R}_T (Galiléen) puis le référentiel lié au véhicule noté \mathcal{R}_V .

17. On note $\vec{a}_{M \in \mathcal{R}_T}$ l'accélération de M dans \mathcal{R}_T qui est soumis à un ensemble de force de résultante $\vec{F} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i$. Exprimer le vecteur $\vec{a}_{M \in \mathcal{R}_T}$ en fonction de $\vec{a}_{M \in \mathcal{R}_V}$, le vecteur accélération de M dans \mathcal{R}_V et de $\vec{a}_{V/T}$, l'accélération du véhicule par rapport au référentiel terrestre.
18. En déduire que si \mathcal{R}_V est un référentiel non galiléen en mouvement rectiligne uniformément accéléré par rapport à \mathcal{R}_T , on peut obtenir la relation suivante :

$$m \vec{a}_{M \in \mathcal{R}_V} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i - m \vec{a}_{V/T} \quad (\text{I.1})$$

appelée "principe fondamental de la dynamique en référentiel non galiléen".

Application : Mouvement du pendule

Certains conducteurs aiment suspendre des objets à proximité de leur rétroviseur intérieur comme des porte-bonheur ou des diffuseurs solides de parfum.

On se propose de s'intéresser aux dangers associés à cette pratique. Pour simplifier l'étude, on considère que l'objet est une masse M suspendue à un fil inextensible, sans raideur, de masse négligeable devant M et de longueur ℓ dont l'autre extrémité est attachée au rétroviseur.

On suppose que la voiture roule en ligne droite à vitesse constante $\vec{v}_0 = v_0 \vec{e}_x$ quand surgit un obstacle sur la route. Le conducteur freine brutalement avec une accélération constante $\vec{a} = -a_0 \vec{e}_x$. On négligera les frottements de l'air.

Le point de suspension du fil est situé sur le pare-brise, ce dernier étant incliné d'un angle $\alpha = 15^\circ$ par rapport à la verticale.

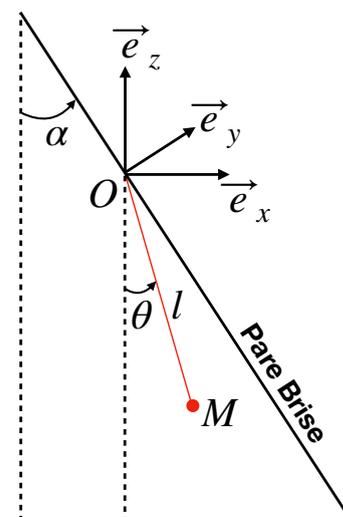


FIGURE I.1 – Pendule suspendu au pare-brise d'une voiture

19. Le référentiel lié à la voiture est-il galiléen ? La réponse diffère-t-elle en fonction de la phase du mouvement du véhicule (mouvement à vitesse constante ou phase de freinage) ?
20. Exprimer le vecteur accélération de la masse M dans le référentiel \mathcal{R}_V lié au véhicule en coordonnées polaires
21. Montrez qu'à l'équilibre, la position angulaire vérifie $\tan(\theta_{eq}) = a_0/g$ lors de la phase de freinage. Vérifier que ce résultat est cohérent à l'aide de cas particuliers.
22. Déterminer l'équation différentielle à laquelle obéit la position angulaire $\theta(t)$ de l'objet suspendu dans le référentiel lié à la voiture lors de la phase de freinage.
On se place dans l'approximation des petits angles (pour θ) jusqu'à la fin de cette partie. Montrer alors que les oscillations s'effectuent à la pulsation $\omega_0 = \sqrt{g/l}$
23. Établir l'expression de l'équation horaire de l'angle θ en supposant qu'initialement le pendule est immobile et vertical.
24. Déterminer la valeur a_m de l'accélération maximale du véhicule pour que la masse ne heurte pas le pare-brise. Commenter dans le cas d'un véhicule utilitaire ($\alpha = 20^\circ$)