

Accélération positives ou négatives-effets physiologiques

« subir quatre g », « prendre cinq g négatifs », deux expressions courantes dans les clubs d'aviation, teintées quelques fois d'une certaine forfanterie ou encore d'une frayeur posthume.

Et, en effet, prendre des g est une opération douloureuse qui peut conduire à de graves effets physiologiques, voire à un accident mortel.

Si pour le profane il ne s'agit là que d'un langage ésotérique, l'élève de terminale aura compris, qu'à défaut de prendre ou perdre du poids en vol, il est avant tout question d'accélération.

Les questions qui suivent se proposent d'élucider le problème.

A-Ordre de grandeur des accélérations.

1- Calculer dans les cas suivants la valeur de l'accélération supposée constante des mobiles cités :

a-Voiture de sport de 400 kW passant de 0 à 100 km.h⁻¹ en 3,87 s

b-Moto de sport effectuant le 400m départ arrêté en 10,9 s

c-Voiture de 50kW animée d'une vitesse de 40 km.h⁻¹ dont la distance de freinage est de 16 m sur route sèche.

2-Avez vous déjà éprouvé des accélérations supérieures ? Préciser les conditions et éventuellement la valeur ou son ordre de grandeur-justifier.

3- Ariane V a, au moment du décollage une masse de 750 tonnes et la poussée de ses moteurs vaut $9 \cdot 10^6$ N alors que l'accélération de pesanteur, g, a pour valeur 9,8 m/s². Calculer l'intensité " a " de l'accélération de la fusée lorsqu'elle quitte le sol verticalement.

B-Effets physiologiques.

Lors de fortes valeurs, les fluides de l'organisme, à mobilité relative, le sang notamment, se déplacent vers les membres inférieurs ou vers la tête, selon le sens de l'accélération (tête-siège ou siège-tête). Lorsque le sang quitte la région céphalique, la vision peut être perdue (« voile noir » de la cécité). Ensuite, c'est la perte de connaissance.

Lorsque le sang quitte les membres inférieurs et s'accumule vers la tête, il provoque rapidement des douleurs intenses, (turgescence des muqueuses), la sensation de vision rouge (« voile rouge »); le sujet devient aveugle et perd connaissance.

Le mouvement de glisse d'un skieur va nous permettre d'illustrer ces aspects dans les questions suivantes.

C-Mouvement de glisse d'un skieur.

Dans la suite de cette question on prendra pour valeur de l'accélération de pesanteur, $g=10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ et pour masse totale du skieur, $m=70 \text{ kg}$. On négligera les frottements.

1-Poids et poids apparent.

Un skieur chaussé de ses planches est en équilibre sur un sol horizontal.

a-Faire l'inventaire des forces qui lui sont appliquées et un schéma les représentant..

b-En déduire, en précisant le principe mis en jeu que c'est par la plante de ses pieds qu'il prend conscience de son poids.

Ce résultat reste encore valable lorsque ce même skieur est animé d'une vitesse quelconque sur un profil de piste quelconque. Néanmoins, dans le cas général qui sera illustré par les questions suivantes il n'y a plus identité entre le poids du skieur et la réaction du sol : on parlera alors de poids apparent

2-Profil à « g positif ».(DOC.4)

Un skieur est lâché en A, sans vitesse initiale, sur une pente inclinée d'un angle $\theta=45^\circ$ par rapport à l'horizontale.

a-Après un parcours AB de longueur $L=4 \text{ m}$, montrer qu'il atteint une vitesse V_B que l'on prendra égale à $7,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

b- Il aborde alors en B un profil circulaire de rayon $r=6 \text{ m}$ qu'il emprunte jusqu'au point C, le plus bas, l'angle (OB, OC) étant égal à θ .

Exprimer littéralement la vitesse V_C atteinte en C en fonction de g , r , θ et V_B et faire l'application numérique.

c-Déterminer la valeur R de la réaction du sol en C en fonction de V_C , r , m et g

d-Montrer que cette réaction est la même que celle que subirait le skieur sur un sol horizontal dans un champ de pesanteur d'intensité $g' > g$ à calculer..

Si nous remplaçons le skieur par le pilote d'un avion amorçant un looping, on retrouve alors l'expression des g positifs subis ; la seule différence réside dans la partie du pilote sensibilisée à cet effet : la partie du corps en contact avec le siège.

3-Profil à « g négatif »

Le skieur, animé d'une vitesse $V_0 = 8,0 \text{ m.s}^{-1}$ sur le sol horizontal, aborde en D une partie au profil circulaire descendant de rayon $r = 20 \text{ m}$ et de centre O. (Doc.5)

On établirait, comme précédemment que la vitesse atteinte en M est donnée par :

$$V_M = \sqrt{V_0^2 + 2gr(1 - \cos\alpha)}$$

a-En déduire la valeur de la réaction du sol en M, notée R. en fonction de V_M , g , α , m et r
Montrer qu'elle est inférieure au poids du skieur

b-Pour quelle valeur de α la réaction est nulle ? Faire l'application numérique.

c-Quand $R=0$, le skieur quitte la piste définitivement : quelle est alors sa trajectoire ?

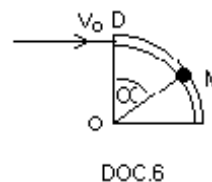
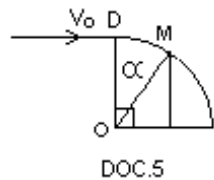
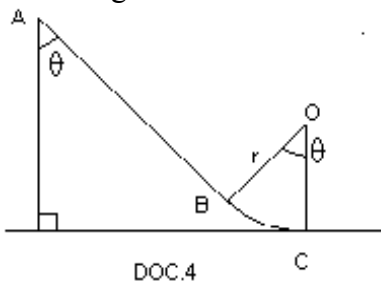
d-Il est clair que dans ce cas de figure on peut très bien concevoir une valeur de g' inférieure à g mais pas pour autant négative, puisque la valeur limite est nulle.

En fait, si l'on considère un pilote dans le cockpit de l'avion précédent, le problème se ramène à celui d'un mouvement de looping inversé (vers le bas) ; faute de ceinture de sécurité le pilote quitte son siège quand $R=0$; il se trouvera alors en état d'apesanteur.

Question : pourquoi ne le restera-t-il qu'un bref instant ?

Dans le cas plus réel, sinon obligatoire, où le pilote a bouclé sa ceinture, tout se passe comme s'il évoluait dans une gouttière le rendant solidaire du siège et de l'avion ; à partir de l'instant où $R=0$, en « quittant son siège » le pilote entre en contact avec le bord intérieur de la ceinture et la réaction change simplement de sens. Représenter dans le doc.6 l'ensemble des forces appliquées au pilote représenté par un point.

Tout se passe ainsi comme si le poids du pilote avait changé de sens : on parle alors de « g négatif ».



Remarque : les « g négatifs » sont plus difficiles à supporter que les « g positifs », c'est pourquoi, pour effectuer des " piqués " les pilotes de chasse ont recours à des arabesques les mettant en configuration de g positifs. En d'autres termes, ils se placent dans la concavité de la courbe qui les mène à la cible .

Réponses

(Les indications de puissance pour éviter une publicité)

1a $x = \frac{1}{2} at^2 + V_0 t + x_0$ et $V = dx/dt = at + V_0$ sans vitesse initiale: $V=at$

$a = V/t$ AN: $a = 7,2 \text{ m.s}^{-2}$

1b $x = \frac{1}{2} at^2$ $x = 400 \text{ m}$ et $t = 10,9 \text{ s}$ AN: $a = 6,7 \text{ m.s}^{-2}$

1c $x = \frac{1}{2} at^2 + V_0 t + x_0 = \frac{1}{2} at^2 + V_0 t$ si l'origine est prise au début du freinage

$v = at + V_0$ quand $v = 0$, à l'arrêt, $t = -a/V_0$

En reportant t dans $x = \frac{1}{2} at^2 + V_0 t$ il vient $a = -V_0^2 / 2x$ x étant la distance parcourue égale à 16 m

AN : $a = -3,86 \text{ m.s}^{-2}$

Cette accélération, qui est celle d'un freinage d'urgence sur une voiture standard, est inférieure aux deux précédentes ce qui en dit bien plus long sur leur pouvoir d'accélération.

Remarquons qu'une puissance de 400kW ne se trouve guère que dans des véhicules à caractère sportif très affirmé .

2 Inutile de passer en revue les possesseurs de bolides qui auraient bien voulu vous le prêter ou encore lire la notice de votre Porsche.

Une simple marche ratée vous a fait subir l'accélération de pesanteur $9,8 \text{ m.s}^{-2}$ bien supérieure aux précédentes .

3 Si l'on se réfère à Hergé dans " On a marché sur la Lune " il semble que Tintin ait éprouvé une accélération stupéfiante. Certes les Porsches n'étaient pas aussi performantes à cette époque , mais les hommes rataient aussi bien les marches. Qu'en est-il en réalité ?

D'après la deuxième loi de Newton: $\Sigma \mathbf{F} = m\mathbf{a}_G$

soit $\mathbf{F} + m\mathbf{g} = m\mathbf{a}_G$

Par projection sur un axe vertical orienté vers le haut

$F - mg = ma_G$

$a_G = F/m - g$ AN: $a_G = (9 \cdot 10^6 / 750 \cdot 10^3) - 9,8$

$a_G = 2,2 \text{ m.s}^{-2}$

C1-a Son poids $\mathbf{P}=m\mathbf{g}$ et la réaction du sol normale \mathbf{R}

b D'après le principe de l'inertie $\mathbf{P} + \mathbf{R} = \mathbf{0}$ soit $\mathbf{R} = -\mathbf{P}$

\mathbf{R} est l'action sensiblement exercée sur ses pieds de valeur égale à celle de son poids

C2-a D'après le théorème de l'énergie cinétique, la seule force travaillant étant le poids car la réaction du sol est normale au déplacement (pas de frottements)

$1/2 mV_B^2 = W(\mathbf{P})_{A \rightarrow B} = mgL \cos \theta$...AN: $V_B = 7,5 \text{ m.s}^{-1}$.

b- TEC--> $1/2 mV_C^2 - 1/2 mV_B^2 = W(\mathbf{P})_{B \rightarrow C} = mg(r - r \cos \theta)$

$V_C^2 = 2gr(1 - \cos \theta) + V_B^2$

AN $V_C = 9,6 \text{ m.s}^{-1}$

c- Dans le repère de Frenet en C : $mV_C^2 / r = R - P$ soit $R = mV_C^2 / r + mg$

d- le poids apparent a donc pour valeur $R = m(V_C^2 / r + g)$; tout se passe comme si le champ de pesanteur avait pour intensité $g' = (V_C^2 / r + g)$

AN: $g' = 25 \text{ m.s}^{-2}$ soit $g' = 2,5 g$

Le skieur a l'impression d'être 2,5 fois plus lourd – Ses muscles devraient encaisser ce surcroît mais il n'est pas dit que, faute d'entraînement, son cerveau réagisse assez tôt avant le tassement de vertèbres.

C3 – a Toujours dans le repère de frénet en projetant sur le rayon de courbure:

$mV_M^2 / r = P \cos \alpha - R$

$R = mg \cos \alpha - (m/r)(V_0^2 + 2gr(1 - \cos \alpha))$ par suite $R < mg \cos \alpha < mg$

b $R = 3mg \cos \alpha - mV_0^2 / r - 2mg$

$R = 0$ si $\cos \alpha = (mV_0^2 / r + 2mg) / 3mg = V_0^2 / 3rg + 2/3$

AN : $\alpha = 39^\circ$

c La seule force alors appliquée au skieur est son poids : mouvement parabolique avec une vitesse initiale égale à celle acquise et un angle initial α par rapport à l'horizontale.

d Il quittera son siège dans un mouvement parabolique qui le conduira probablement dans la vitre du cockpit

e

