

BONNAILLIE Benoît
HARY Nicolas
LEJEUNE Joana
SOTTIEZ Elisabeth

LA PHYSIQUE DES MONTAGNES RUSSES



**Professeurs : J-S Thibaut
V Logié**

Olympiades de physique 2007-2008

Shuttle loop, inverted, train à 4ème dimension, Flying Coaster...tels sont les noms de types d'attraction qui fleurissent dans les parcs à travers le Monde. Les hommes cherchent le maximum de sensation, l'adrénaline, le risque...C'est pourquoi les parc d'attractions se sont largement développés depuis quelques années. Parmi les attractions plébiscitées par les personnes qui fréquentent les parcs d'attraction se trouvent les loops, plus communément appelés loopings. Cette boucle verticale permet aux passagers de l'attraction de se retrouver la tête à l'envers pendant quelques secondes et est fortement appréciée, en témoignent ces deux photos :



Ne remarquez-vous rien ? Et bien si, ces loopings ne semblent pas ronds comme on pourrait le penser, mais bien ovales, comme une goutte d'eau. Pourtant, en cherchant bien on peut trouver certains loopings ronds... Alors une question se pose :

Pourquoi les constructeurs de montagnes russes privilégient le looping dit ovale au looping rond ?

SOMMAIRE

I. Expériences.

A. Le circuit de voitures

Page 3

B. Le looping flexible

Page 5

II. Théorie.

Page 8

III. Relations avec la santé.

Page 10

IV. L'intérêt du looping ovale.

Page 12

Remerciements

Page 17

I. Expériences

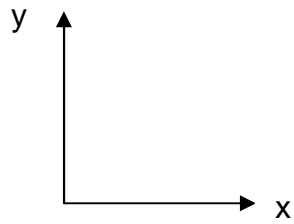
A. Le circuit de voitures.

Pour réaliser nos expériences, nous avons monté une maquette de looping de montagnes russes grâce à un circuit de voitures électriques.



Nous avons ici modélisé un looping rond afin de comprendre pourquoi les constructeurs ne privilégient pas cette forme.

Protocole : Nous propulsons la voiture avec une certaine vitesse dans le looping, et nous arrêtons d'accélérer avant l'inversion. En effet, dans les montagnes russes, le train franchit l'ensemble du parcours avec sa seule énergie potentielle acquise avant le looping. Aucune énergie n'est fournie pendant l'inversion, c'est pour cela que nous n'accélérons pas dans le looping. Puis nous filmons le passage de la voiture dans le loop. Grâce au logiciel Génériss®, nous avons pu acquérir cette vidéo puis calculer la vitesse et l'accélération.



On calcule d'abord la vitesse en fonction de x : $V_x = \frac{dx}{dt}$

Puis sa dérivée : V'_x , qui est l'accélération en fonction de l'axe horizontal.

$$V'_x = a_x$$

On calcule ensuite la vitesse en fonction de y ; $V_y = \frac{dy}{dt}$

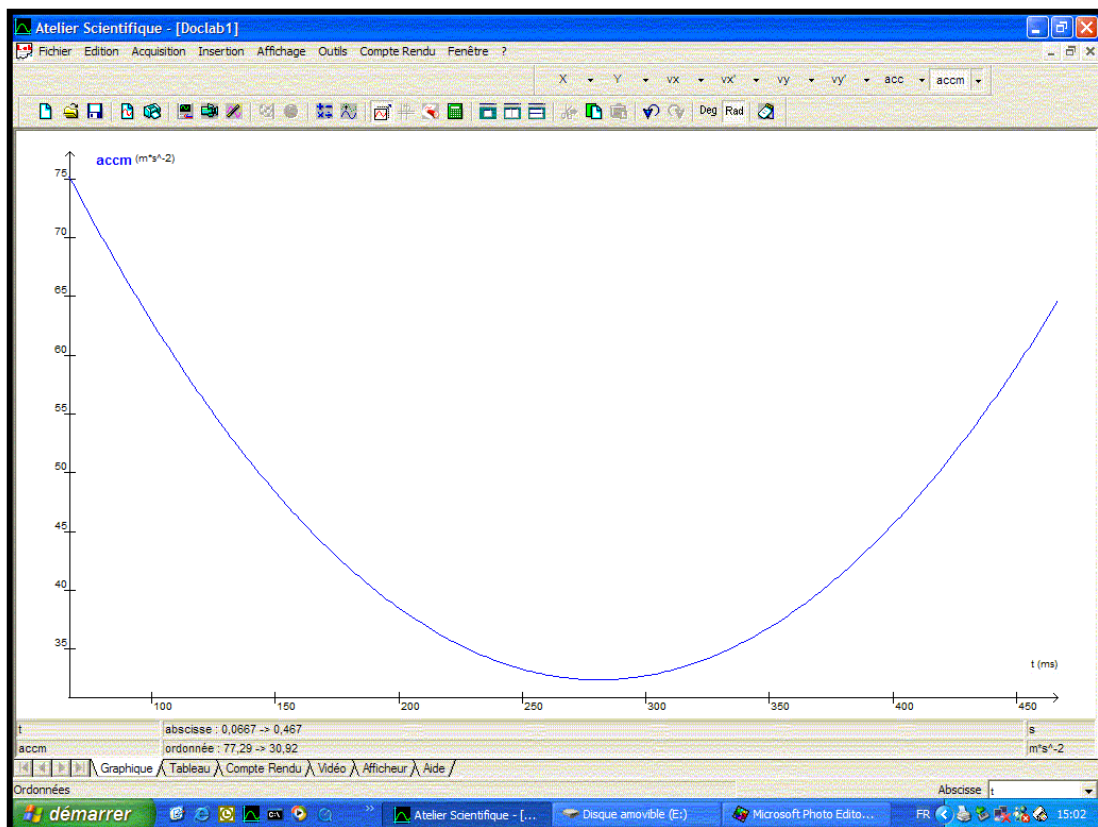
Puis sa dérivée afin de calculer l'accélération en fonction de y :

$$V'_y = a_y$$

Enfin, on peut calculer l'accélération en fonction du temps :

$$a = \sqrt{Acc_x^2 + Acc_y^2}$$

Nous obtenons le graphique suivant avec le looping de circuit de voiture :



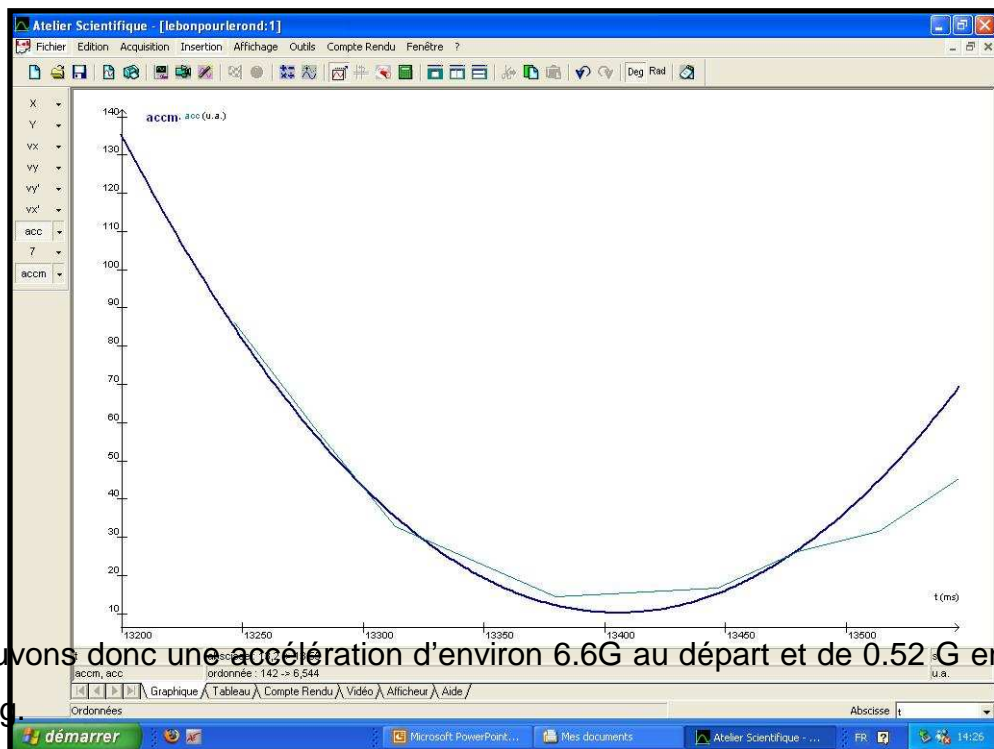
Nous avons donc une accélération au départ de 75 m.s^{-2} , ce qui correspond à une accélération de 8,64 g (nous verrons comment calculer cette accélération plus tard), ce qui est très grand. Les résultats ne sont donc pas bons. Nous nous sommes donc interrogés sur la raison de cette erreur. Tout d'abord, sur la vidéo, on peut voir que le looping bouge à cause du déplacement de la voiture, ce qui, en réalité ne peut arriver. Nous avons donc décidé de fixer le looping pour éviter les déplacements. De plus, afin de calculer la vitesse, nous ne disposions que de peu de points. Nous avons donc recommencé avec une caméra plus précise.

Nous réalisons une deuxième expérience en fixant le looping avec de l'adhésif et en utilisant une caméra 60 images/s.

Nous calculons de même la vitesse et l'accélération. Les résultats sont légèrement inférieurs. Or, nous nous sommes rendus compte que nous devons réaliser également un looping ovale, ce qui n'est pas possible avec le circuit de voitures. Nous avons donc recommencé ces mesures avec un autre type de looping que nous pouvons déformer pour réaliser un ovale.

B. Le looping flexible.

Nous commençons avec le looping rond. Nous filmons puis remesurons l'accélération. Voici le graphique obtenu avec le looping rond :



Nous trouvons donc une accélération d'environ 6.6G au départ et de 0.52 G en haut du looping.

Nous faisons de même avec le looping ovale que voici ci-dessous.



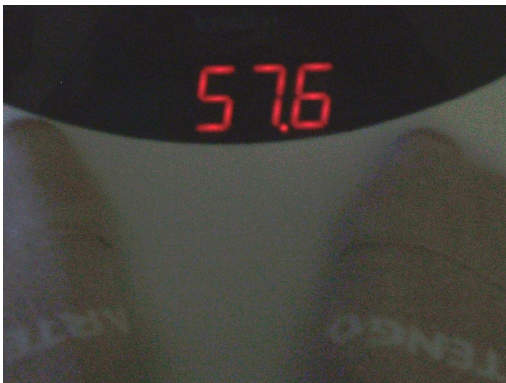
Nous trouvons une accélération de 5,4G au départ et de 1,2 G en haut du looping.

Type de looping	<i>Rond</i>	<i>Ovale</i>
<i>Accélération en bas</i>	6,6	5,4
<i>Accélération en haut</i>	0,5	1,2
<i>Différence</i>	6,1	4,2

La différence entre les 2 est donc moins importante avec le looping ovale.

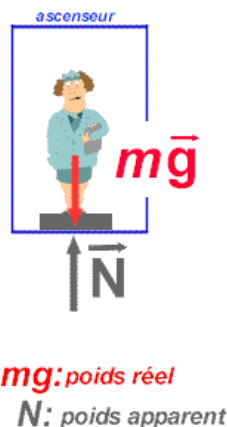
Afin de concrétiser nos expériences, nous avons voulu mesurer l'accélération dans un looping réel c'est-à-dire dans un parc d'attraction. Pour cela, nous avons contacté les parcs à proximité. Ceux-ci étant fermés l'hiver, notre requête n'a pas pu aboutir.

De plus, par le biais des Olympiades, nous avons contacté l'entreprise Jeulin afin d'obtenir le prêt d'un accéléromètre, requête qui n'a pas abouti non plus. Dès lors, nous avons décidé de voir les effets concrets de l'accélération dans un ascenseur avec un pèse personne. Une personne du groupe est montée sur le pèse personne. Lors de la montée de l'ascenseur, le pèse-personne indique environ 3kg de plus puis indique de nouveau un poids normal. Lors de la descente, on peut remarquer une perte de 3kg. Cette simple expérience a permis de montrer la variation du poids donc de l'accélération lors d'un changement de direction rapide, ce qui est le cas aussi bien dans un ascenseur que dans un looping de roller coaster.



poids au départ

poids lors de la montée



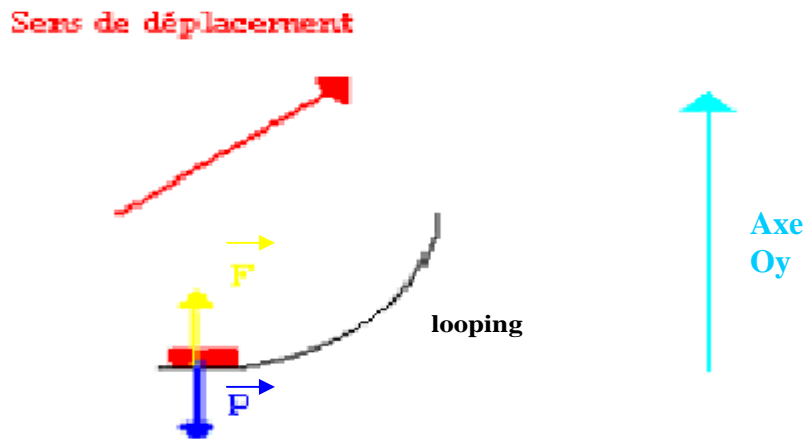
Nous allons maintenant pouvoir vérifier nos résultats grâce à la théorie.

II. Théorie.

Nous allons pouvoir retrouver ces résultats grâce à la théorie.

On distingue tout d'abord 2 cas : En bas puis en haut du looping.

En bas du looping.



Dans un référentiel Galiléen, la somme des forces extérieures appliquées à un solide est égale au produit de sa masse par l'accélération de son centre d'inertie. C'est la seconde loi de Newton.

On note : $m \times \vec{a} = \Sigma \vec{F}$

On considère le système **sans frottements** pour simplifier. Deux forces s'appliquent alors : le poids \vec{P} et la réaction du support \vec{F} .

On considère ici la direction Oy comme positive d'où $\vec{F} = F$ et $\vec{P} = -mg$

Donc $m \cdot a = F - mg$

$$F = m \cdot a + mg$$

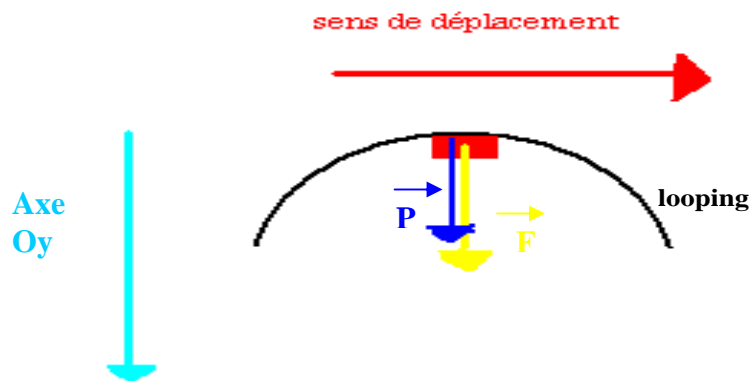
Or on mesure l'accélération ressentie par le passager en g. Il faut alors diviser toutes les valeurs par mg. Enfin, Afin de donner une valeur « parlante », on exprime souvent une accélération par rapport à l'accélération moyenne de la gravité sur Terre, en g: $1g \approx 9,8m.s^{-1}$

En haut du looping

On peut réaliser la même

$$\frac{F}{mg} = \frac{a}{g} + 1$$

interprétation en haut d'un looping, que l'on peut modéliser ainsi :



De même, d'après la loi de Newton, on a : $m \times \vec{a} = \Sigma \vec{F}$

Nous considérons également le système sans frottements. On considère la direction

Oy comme positive, d'où : $\vec{F} = F$ et $\vec{P} = mg$

On a donc : $m \cdot a = F - m \cdot g$

$F = m \cdot a + m \cdot g$

On divise donc également chaque membre par mg pour obtenir le résultat en g.

$$\frac{F}{mg} = \frac{a}{g} + 1$$

Grâce à ces calculs, on peut calculer l'accélération ressentie, qui peut être négative ou positive. Or l'accélération peut avoir des effets sur la santé.

III. Relations avec la santé.

Il est démontré que les « g » ont des conséquences sur la santé des passagers.

Prenons le cas d'une accélération verticale positive, lorsqu'un passager arrive en bas de la courbe, on a montré que l'accélération ressentie vaut $\frac{F}{mg} = \frac{a}{g} + 1$. C'est une accélération verticale positive (AVP). L'accélération se fait brusquement ressentir à son maximum, et s'applique donc sur lui et donc sur son organisme au complet. Concrètement le danger vient de la circulation sanguine. En effet, le sang irrigue tous nos organes. Dans le cas d'une accélération verticale positive (AVP) cela va se traduire par une force normale à la voie au point considéré, soit en bas de la courbe à une force dirigée vers le bas. Le sang aura donc *plus de mal à monter au cerveau*, bien que le cœur puisse compenser en modifiant notamment la pression sanguine et son rythme, il existe une accélération-limite au-delà de laquelle le cerveau ne peut plus être irrigué entraînant *une perte de conscience* voire même *des séquelles où la mort* si l'oxygénation neuronale n'est pas rétablie rapidement.

Une mise en situation : Une rame commence l'ascension d'une courbe à environ 100km/h, l' AVP se fait de plus en plus élevée, à partir de 7g le passager n'est plus capable de distinguer les couleurs et voit en noir et blanc, l'accélération grandissant encore, *son champ de vision rétrécit* en cône, pour ne plus voir que quelques points devant soi, puis une image noire, c'est le "*black out*", le cerveau ne recevant plus d'oxygène par l'intermédiaire du sang n'est plus capable physiologiquement de tenir son rôle, le passager *perd donc conscience* momentanément. Puis en haut de la courbe, lorsque l'AVP diminue, il revient à lui, son champ de vision et sa vue redeviennent normaux.

Dans le cas d'un roller coaster, ces paramètres sont pris en compte et si, sur les plus extrêmes d'entre eux, il est possible d'avoir un léger voile noir, le danger est quasi nul, mis à part des antécédents cardiaques (mais dans ce cas là, il vaut mieux suivre les indications de sécurité à l'entrée de toute attraction de ce type !).

L'accélération peut également être négative (en haut d'une courbe par exemple) où l'accélération vaut : $\frac{F}{mg} = \frac{a}{g} - 1$. Il s'agit d'une accélération verticale négative (AVN).

L' AVN peut se traduire par une accélération verticale qui nous pousse vers le haut, ce type d'accélération est très recherché par les amateurs de roller coasters, mais notre organisme est bien moins tolérant.

Concrètement, si l'accélération est dirigée vers le haut, le sang va monter beaucoup plus facilement au cerveau, donc la pression sanguine intra-encéphalique va devenir très élevée, ce qui peut causer la rupture de vaisseaux et donc la mort par hémorragie cérébrale.

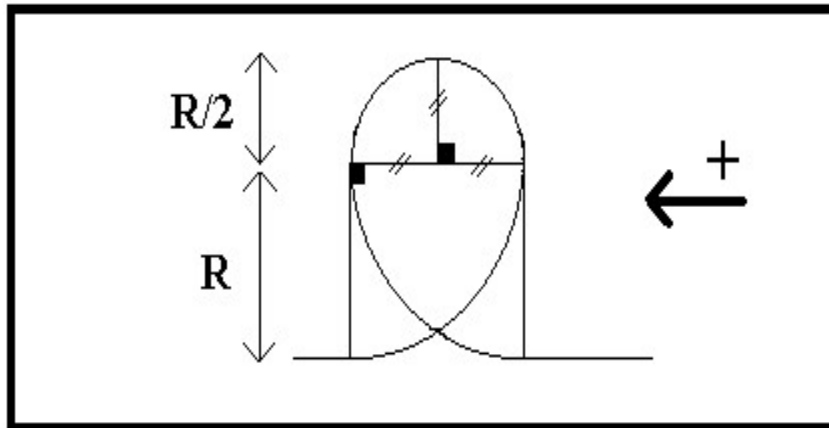
Contrairement à l'AVP, le cœur peu difficilement agir sur cet afflux de pression, notre organisme étant "construit" sur le fait de conserver et protéger les organes vitaux et donc de pouvoir les oxygéner en continu, la réaction neuro-hormonale sera donc beaucoup plus faible que pour l' AVP.

La limite supérieure (qui peut varier suivant les personnes) est de 3g. Mais dans la majorité des attractions (même celle qui sont très intenses), les AVN sont largement inférieures à 1g.

Or, sur le looping rond, nous avons vu que l'accélération au bas de la courbe vaut 6,6 g ce qui est déjà très important. De plus, le passager passe de cette accélération en bas de la courbe à une accélération en haut de 0,52 g . Cette variation rapide et importante n'est pas supportable pour le corps. Le looping ovale est donc utilisé dans les montagnes russes. Pourquoi ce looping est utilisé ?
Explications !

IV. Intérêt du looping ovale

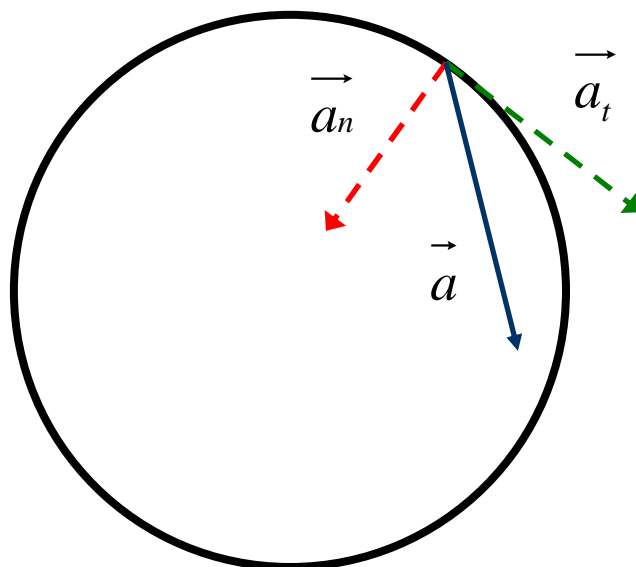
Un looping ovale (le plus simple possible) peut être modélisé ainsi : 2 quarts de cercle à la base ayant un rayon R connectés à un demi-cercle servant de sommet et de rayon R/2.



Les mêmes formules sont applicables sauf qu'il faut prendre pour valeur R si l'on est en bas du loop et R/2 si l'on est au sommet du loop.

Or on a vu qu'à l'entrée du looping, l'accélération ressentie vaut : $\frac{F}{mg} = \frac{a}{g} + 1$

Or l'accélération a présente dans cette formule peut être décomposé en deux accélérations : la normale (en rouge) et la tangentielle (en vert).



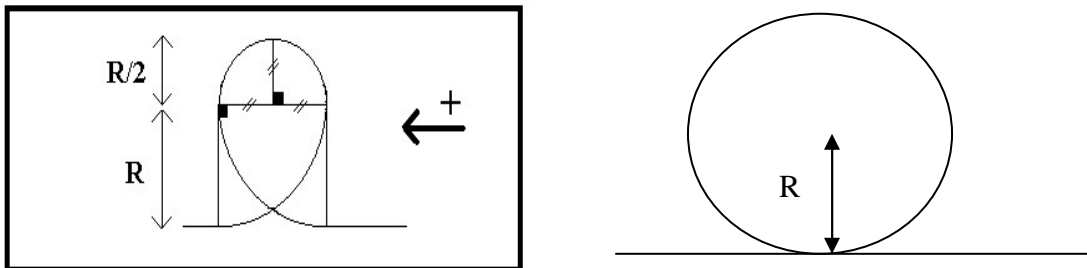
De plus, l'accélération tangentielle est égale à la dérivée de la valeur de la vitesse par rapport au temps. Si l'on considère que la vitesse diminue dans les mêmes

proportions dans les deux loopings, on peut dire que l'accélération tangentielle est la même.

L'accélération normale, quant à elle, est égale à $\frac{V^2}{R}$ car l'accélération est centripète (avec v la vitesse de la rame et R le rayon de la courbe).

$$a_t = \frac{dv}{dt} \qquad a_n = \frac{v^2}{R}$$

On considère ces 2 loopings :



Comme les rayons à la base sont égaux, l'accélération normale est la même, et vu que la vitesse est également identique, l'accélération tangentielle est également la même d'où les accélérations ressenties en bas du looping sont identiques.

De plus, en haut du looping, l'accélération ressentie se calcule par la relation :

$$\frac{F}{mg} = \frac{a}{g} - 1$$

Or ici, le rayon varie, l'accélération ressentie varie donc.

Nous avons : $\frac{1}{2}R < R$ (le rayon du looping ovale dans sa partie supérieure est inférieur de moitié à celui du looping rond , avec R rayon du looping rond.)

D'où : $\frac{1}{2}R < R$

Par $\frac{1}{\frac{1}{2}R} > \frac{1}{R}$ conséquent l'accélération normale ressentie en haut d'un looping ovale est supérieure à celle ressentie en haut d'un looping rond.
Car V^2 est positif

looping rond.

Or, on sait que l'accélération est égale à l'accélération normale plus tangentielle. On considère ici la vitesse sensiblement identique, d'où une même accélération tangentielle. Etant donné que l'accélération normale est supérieure dans le looping ovale, l'accélération générale est donc également plus importante dans le looping ovale.

Or, on a, en haut du looping : $\frac{F}{mg} = \frac{a}{g} - 1$ et $Acc_{ovale} > Acc_{rond}$

$$\frac{Acc_{ovale}}{g} - 1 > \frac{Acc_{rond}}{g} - 1 \text{ d'où } Acc_{ovale} > Acc_{rond}$$

Par conséquent l'accélération ressentie en haut du looping ovale est supérieure à celle ressentie dans le looping rond.

Or, on avait vu que, pour un looping rond, l'accélération en haut était très faible. Par conséquent, celle ressentie dans un looping ovale est plus élevée.

Type de looping	<i>Rond</i>	<i>Ovale</i>
<i>Accélération en bas</i>	identique	identique
<i>Accélération en haut</i>	inférieure	supérieure
<i>Différence d'accélération ressentie.</i>	Faible différence	Forte différence

Ainsi, la variation d'accélération est moins importante et donc plus acceptable pour le looping ovale que rond.

Voilà pourquoi le looping ovale est le seul utilisé au monde.

Les concepteurs doivent donc concevoir leur looping de façon à harmoniser l'accélération, afin de procurer le plus de plaisir aux passagers. De nos jours, le looping est la plus simple des inversions. De nombreuses autres inversions complexes ont vu le jour telles le Corkscrew



le Cobra Roll



Le butterfly

Conclusion

Nous avons donc vu que le looping rond présente des dangers pour la santé à cause de la trop forte accélération ressentie. Seul le looping ovale est donc utilisé de nos jours, mais s'il peut toujours présenter des dangers pour la santé (par exemple si la vitesse est trop importante). On comprend donc pourquoi les constructeurs de montagnes russes utilisent l'outil informatique afin de prévoir d'éventuels dangers sur leurs montagnes russes.

Remerciements

Nous tenions à remercier M. Thibaut, Melle Logié et M. Dutoit ainsi que Messieurs Rousseau et Woestelandt pour leur aide précieuse dans la réalisation de nos expériences. Nous tenions également à remercier les sociétés Reverchon , Soquet ainsi que les parcs Walibi Belgium et Bellewaerde pour leur disponibilité.