Etude du lancer de poids :optimisation de l'angle de lancement

Le lancer de poids serait-il une épreuve élitiste réservée aux futurs bacheliers corpulents ?
Si l'on se réfère aux mensurations des athlètes de haut niveau il est clair que le doute n'est pas permis.
Sans se substituer aux conseils d'un professeur d'EPS, au travers de connaissances de physique de terminale, l'étude qui suit va mettre en évidence quelques aspects techniques qui pourront suppléer les carences physiques et pourquoi pas permettre de gagner quelques points le jour du bac.

Le lanceur libère le poids en A à la hauteur z_0=2 m avec une vitesse de norme v_o faisant un angle α avec l'horizontale (Ox). Le repère d'étude, OxOz, orthonormé, est tel que A se trouve sur Oz.

Le poids a une masse m=7,257 kg, les frottements seront négligés et l'on prendra pour valeur de l'intensité du champ de pesanteur,g =9,8 $m.s^{-2}$.

On se propose de déterminer l'angle de lancement,α ,optimal pour une portée maximale.
Pour information, dans le cas où l'altitude de départ est nulle on sait que cet angle est égal à 45°

1-Définir la portée dans ce cas précis.

2-Ecrire les équations horaires du mouvement du poids dans le repère (Ox,Oz) .

3-Donner l'équation de la trajectoire,dans le même repère en fonction de T=tan α et v_o (on rappelle que
$\tan^2\alpha +1=1/\cos^2\alpha$)
Quelle est l'allure de la trajectoire ?

4- Soit C le point de chute sur le sol.
Exprimer x_c , abscisse de C, en fonction de T, z_o ,g et v_o .

5-Optimisation du lancer.
Il s'agit d'obtenir la portée la plus grande pour une vitesse donnée du lancement et par suite de déterminer l'angle α optimal.
On choisira pour vitesse initiale 14 $m.s^{-1}$
Rechercher l'extrémum de Xc(α) est une tache redoutable. La dérivée est vraiment trop complexe. Pour contourner la difficulté nous nous servons du fichier Xls " lancerdepoids " dans lequel la trajectoire est représentée pour des paramêtres variables.
On peut toujours faire varier V_o , alpha et z_o jusqu'à trouver la trajectoire la plus performante
(Il est à noter que la valeur initiale de 14 $m.s^{-1}$ est celle d'un champion olympique).
Une autre méthode consiste à représenter directement X_C en fonction de alpha comme on peut le voir dans le même fichier Xls.
Quelle est la valeur optimale de alpha pour V_o = 14 $m.s^{-1}$ et V_o = 8 $m.s^{-1}$?

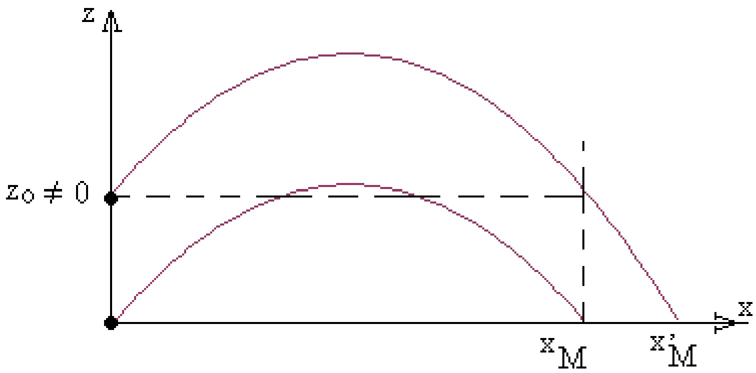
6-Mise en pratique
On s'assurera qu'une légère modification de l'angle peut se traduire par des centimêtres en moins et n'accorder ainsi qu'une médaille de bronze.
a-Comment respecter l'angle de lancement ?
b- Est-ce que la masse du poids à lancer intervient dans la portée?
c-Augmenter la vitesse initiale.
Déterminer (sens,direction et intensité) la force unique constante F qui amènerait l'objet à la vitesse V_o = 14 $m.s^{-1}$ après un déplacement de 90 cm (allonge du bras) à partir d'une vitesse nulleen négligeant le poids devant la force de propulsion
d-Comment augmenter la vitesse initiale avec une force moindre ?
e- Comment bénéficier d'une vitesse initiale avant la propulsion?

7-conclusion.
En ayant présent à l'esprit toutes les données de ce problème on peut améliorer sensiblement ses performances et gagner en EPS les points perdus en Physique le jour du bac(si du moins un

copain a trouvé les réponses).
Au delà de la valeur optimisée de α , un point essentiel me semble être le suivant :
Il importe d'exercer une force paroxysmique et surtout constante tout au long de la propulsion.
Sans cela on a trop facilement tendance à relacher son effort dès que l'on a conscience que le poids est lancé et F diminue alors lamentablement .

Réponses

La portée est la distance maximale séparant la verticale du lanceur du point de chute ,x_M sur le schéma suivant



On voit bien que, toutes choses égales par ailleurs, la portée augmente avec l'altitude de départ.

2-Equations horaires: $x = V_0 \cos\alpha\, t$

$z = -1/2\ gt^2 + V_o \sin\alpha\, t + z_o$

3-Equation de la trajectoire: $z=-0.5gx^2 /(V_o^2 \cos^2\alpha) + \tan\alpha\, x +z_0$

ou encore $z = -0.5gx^2(1+T^2) / V_o^2 +Tx + z_o$

Trajectoire parabolique

4- Si $z_o = 0$ le calcul de x_c est facile; c'est la solution de l'équation $0 = -0.5gx^2(1+T^2) / V_o^2 +Tx$ qui se ramène à une équation du 1er degré après avoir mis en facteur ; la solution x=0 étant sans intérêt.

Dans le cas ou z_o est non nul l'équation du second degré devient: $0 = -0.5gx^2(1+T^2) / V_o^2 +Tx + z_o$ et admet deux solutions

$x_c = (-T \pm \sqrt{[(T^2 + 4 z_o * 0.5g(1+T^2) / V_o^2]}) /2*(-0.5g(1+T^2) / V_o^2)$

$x_c = (T \pm \sqrt{[(T^2 + 2 z_o g(1+T^2) / V_o^2]}) /(g(1+T^2) / V_o^2)$

Le déterminant est toujours positif et plus grand que T de sorte qu'il existe une solution négative (intersection du prolongement en amont de la parabole avec l'axe des x) et une solution positive donnée par $x_c = (T + \sqrt{[(T^2 + 2 z_o g(1+T^2) / V_o^2]}) /(g(1+T^2) / V_o^2)$

5- pour 14 $m.s^{-1}$ X_c = 21,89 m et α = 42°

8 $m.s^{-1}$ X_c = 8,29 m et α =38,5°

Il est donc à noter que l'angle optimal dépend de la vitesse initiale.

6a- La proposition suivante que je laisse à l'appréciation du lecteur a l'avantage de ne nécessiter aucune infrastructure spécifique.

Tracer sur un mur une ligne droite d'inclinaison égale à α ; éclairer le lanceur avec un spot assez puissant (500W par exemple) à défaut d'utiliser les rayons du soleil.

Dans son mouvement de lancer le sportif aura à coeur de faire en sorte que l'ombre de son lancer épouse sur le mur la ligne de référence.

Après quelques coups d'essai le cerveau aura mémorisé l'angle et notre futur champion olympique pourra passer sur la piste.

6b- Si l'on se réfère aux équations du mouvement, non!

En fait la masse intervient d'une façon tacite dans la vitesse initiale par son inertie.

6c- D'après le théorème de l'énergie cinétique:

$½\ mV_o^2 – 0 = F*0,90$ F= 790 N à comparer au poids égal à 7,257*9,81= 71 N

Cette valeur est énorme et correspond au poids d'un objet d'environ 80kg .Certes, les biceps d'un tel athlète sont aussi énormes mais il faut tenir compte de la question suivante.

6d- Il suffit de disposer d'une vitesse initiale non nulle avant la phase de propulsion.

Ainsi si V_i est cette vitesse on écrira $\frac{1}{2} mV_o^2 - \frac{1}{2} mV_i^2 = F*0,90$ et donc

$\frac{1}{2} mV_o^2 = \frac{1}{2} mV_i^2 + F*0,90$ pour une même valeur de V_o F sera plus faible.

6e- Deux options.

- courir sur l'aire de lancement.
- Tourner sur la même aire à condition de s'incliner légèrement pour que le rayon de giration ne soit pas nul (en quel cas la vitesse tangentielle atteinte avant la propulsion sera nulle et sans intérêt. Ce dernier procédé nécessite une bonne dose d'équilibre et des vertèbres à toute épreuve.