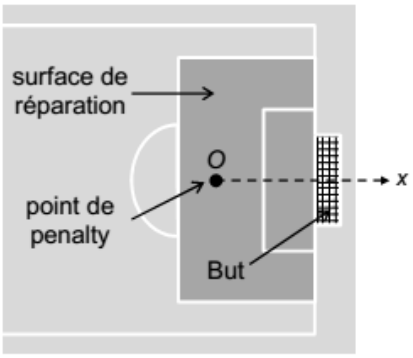
EXERCICE I. LES TIRS AU BUT (6 points)

Antonin PANENKA, footballeur international tchécoslovaque est connu pour avoir laissé son nom à une technique particulière pour tirer les penaltys ou « tirs au but ». Au lieu de frapper en force, il frappe doucement le ballon qui prend alors une trajectoire en « cloche ». Son geste est devenu célèbre au soir de la finale de la Coupe d'Europe des Nations de 1976, où la Tchécoslovaquie battait la République Fédérale d'Allemagne tenante du titre. Antonin PANENKA marquant le dernier pénalty par cette technique de balle « en cloche » venait d'inventer la « *Panenka* ».

Lors d'un match de football, un joueur doit tirer un pénalty et décide de tenter une « *Panenka* ». Le joueur dépose le ballon au point de pénalty O, pris comme origine du repère.



Le joueur tape le ballon en direction du centre du but et lui communique une vitesse initiale $\overrightarrow{v_0}$ de valeur 11,5 m.s^{-1} et dont la direction fait un angle $\alpha = 55°$ avec l'horizontale.

Données :

- intensité de la pesanteur : $g = 9{,}81$ N.kg^{-1} ;
- masse du ballon : $m = 620$ g ;
- termes utilisés dans la pratique du football :

Les buts
Les buts sont constitués de deux montants verticaux (poteaux) reliés en leur sommet par une barre transversale. Le bord inférieur de la barre transversale se situe à une hauteur de 2,44 m par rapport au sol.

Le pénalty
Le pénalty est une action consistant à frapper directement au but depuis un point nommé « point de pénalty » ou « point de réparation ». Un pénalty est réussi si le ballon franchit la ligne de buts en passant entre les montants et sous la barre transversale.

La surface de réparation
À l'intérieur de chaque surface de réparation, le point de pénalty est marqué à 11,0 m du milieu de la ligne de but et à égale distance des montants verticaux du but.

1. Schématisation du problème

1.1. Tracer un repère orthonormé (Ox, Oz) et représenter, dans ce repère, la situation du pénalty, sans souci d'échelle.

Les grandeurs suivantes devront apparaitre : le vecteur vitesse initiale $\overrightarrow{v_0}$, l'angle α ; la hauteur h des buts et la distance d du point de pénalty à la ligne de but.

1.2. On note A le point où se situe le ballon lorsqu'il franchit la ligne de but. Quelles conditions doivent vérifier les coordonnées (x_A ; z_A) de ce point pour que le pénalty soit réussi ?

2. Étude dynamique du mouvement du ballon

Dans cette partie, on étudie le mouvement du centre d'inertie G du ballon en négligeant les forces de frottement de l'air sur le ballon ainsi que la poussée d'Archimède.

2.1. Établir l'expression du vecteur accélération $\overrightarrow{a_G}$ du centre d'inertie du ballon.

2.2. Établir les équations horaires $x(t)$ et $z(t)$ du mouvement du centre d'inertie G et montrer que l'équation de la trajectoire du ballon, dans le plan (xOz), peut s'écrire :

$$z(x) = -\frac{g.x^2}{2.v_0^2.(\cos\alpha)^2} + \tan\alpha.x$$

2.3. En exploitant les données et les documents, déterminer si le pénalty décrit en début d'exercice est réussi. Expliciter votre raisonnement.

3. Étude énergétique du mouvement du ballon

On admet que le ballon passe au niveau de la ligne de but à une hauteur $z_A = h_A$.

3.1. Rappeler les expressions de l'énergie cinétique E_c, de l'énergie potentielle de pesanteur E_{pp} et de l'énergie mécanique E_m. On choisira un axe vertical ascendant et une énergie potentielle de pesanteur nulle à l'origine.
En explicitant votre raisonnement, associer à chaque courbe du document 1 la forme d'énergie correspondante.

3.2. À l'aide du document 1, déterminer les valeurs de la hauteur h_A et de la vitesse v_A lorsque le ballon franchit la ligne de but.

3.3. Que peut-on dire de l'énergie mécanique du ballon lors de son mouvement ? Utiliser cette caractéristique du mouvement pour retrouver la valeur v_A de la vitesse du ballon lorsqu'il franchit la ligne de but et comparer le résultat trouvé avec celui de la question 3.2. Conclure.

Document 1 : Évolution des énergies E_m, E_{pp} et E_c

