

Le futsal dans tous ses états (physiques)

Sébastien Bruneau

<http://sbeccompany.fr>

Stage Noël Acadomia/Spésup
Examen blanc Physique - durée 4h
22/12/2010

1 Présentation du problème

Ce problème a pour but d'étudier plusieurs aspects physiques autour d'un match de futsal. Les différentes parties sont indépendantes et peuvent être traitées séparément. Le barème tiendra compte de la rigueur dans la rédaction et de la clarté des schémas.

La barème n'est pas indiqué mais certaines questions demandent un raisonnement détaillé et seront plus importantes dans le barème, d'où l'utilité de ne négliger aucune question !

L'énoncé est volontairement assez court pour 4 heures, pour que vous preniez le temps de réfléchir et de répondre à chacune des questions.

Tous les résultats numériques doivent être donnés en unités du système international. Enfin, les données ci-dessous sont valables pour tout le problème :

- Certaines données relatives au loi du jeu futsal sont listées en Annexe 1
- Accélération de la pesanteur : $g = 10,0 \text{ m.s}^{-2}$
- Masse volumique de l'air : $\rho_{\text{air}} = 1,00 \text{ g.L}^{-1}$
- Un ballon de futsal peut-être assimilé à un point matériel

Question 1. *Discuter de l'affirmation « un ballon de futsal peut-être assimilé à un point matériel ».*

Question 2. *Déterminer la masse volumique, supposée constante, d'un ballon de futsal.*

2 Le but de l'année

2.1 Trajectoires du ballon

Une situation de jeu est présentée en annexe 2. A l'instant initial ($t_0 = t(0 \text{ s})$), les joueurs d'une équipe sont placés aux points A, B, C, D, et G. Les joueurs de l'autre équipe ne sont pas représentés.

A t_0 , le joueur A fait une passe au sol au gardien G qui transmet instantanément au sol le ballon au joueur B, qui le reçoit à $t = 3,0 \text{ s}$. Les mouvements de A à G et de G à B sont rectilignes et uniformes.

Le joueur B contrôle le ballon pendant 1,1 s, puis adresse une longue passe aérienne au joueur C, qui court avec une accélération constante depuis l'instant t_0 , selon l'axe Δ , vers la gauche.

Le joueur C reprend le ballon de volée, à $t = 8,0 \text{ s}$, précisément à un point C'(2;5,5;0,8). Le ballon est ainsi expédié vers la lucarne L du but à une vitesse constante de norme identique à celle des trajets A-G et G-B. Le gardien adverse tente d'arrêter le ballon qui entre tout de même dans le but en L à un temps $t = 8,5 \text{ s}$. Le gardien a seulement réussi à freiner le ballon.

Question 3. Déterminer la vitesse du ballon entre les points A et B.

On suppose dans un premier temps qu'entre les points B et C', le ballon n'est soumis qu'à son propre poids. La trajectoire est plane et le vecteur vitesse initial \vec{v}_B au pied du joueur B fait un angle $\alpha = \pi/4$ par rapport au sol.

Question 4. Préciser la nature du mouvement, puis à l'aide de l'équation de la trajectoire, justifier que le ballon ne peut pas arriver en C' à $t = 8,0$ s.

On suppose maintenant l'existence d'une force de frottement fluide \vec{F} de l'air sur le ballon, telle que $\vec{F} = k\vec{v}$ avec $k < 0$. La vitesse initiale \vec{v}_B est inchangée.

Question 5. Préciser la dimension et l'unité de k .

Question 6. Etablir le système d'équations différentielles que vérifie la trajectoire dans $(0, x, y, z)$.

Question 7. Déterminer les équations horaires du mouvement et l'équation de la trajectoire, ainsi que la nature du mouvement.

Question 8. Préciser les caractéristiques d'un autre système de coordonnées cartésiennes qui aurait été plus approprié pour l'étude de cette trajectoire.

Question 9. Justifier une nouvelle fois que cette nouvelle trajectoire n'est compatible avec une arrivée en C' à $t = 8,0$ s, que pour une seule valeur de k , que l'on précisera.

La véritable trajectoire est dite "brossée". Le joueur B a frappé la balle de façon à ce que \vec{v}_B soit dirigé selon $-\vec{i}$ au départ du ballon. Ce dernier est ensuite soumis à une force de rappel de l'air \vec{R} constante, en plus de la force \vec{F} . La nouvelle force \vec{R} est portée par un vecteur unitaire \vec{u} , colinéaire à $\vec{i} - \vec{j}$.

Question 10. Parmi toutes les forces mises en jeu, déterminer celles qui sont conservatives. On rappelle pour cela qu'une force \vec{f} est conservative, s'il existe une énergie potentielle E_p , telle que $\vec{f} = \text{grad}E_p$.

Question 11. Sans calculs, donner en justifiant le signe du travail de chaque force en début et fin de trajectoire.

Question 12. Déterminer enfin la norme que doit avoir le vecteur \vec{R} pour que la trajectoire du ballon soit enfin compatible avec la reprise de volée du joueur C' en C', en fonction de la valeur de k .

Question 13. Justifier par le calcul qu'une autre force a été omise ici.

Question 14. Énoncer et détailler alors le PFD et le théorème du moment cinétique par rapport à B le long de la trajectoire.

Entre C' et L, lorsque le gardien adverse freine le ballon, la vitesse est atténuée d'un facteur Q . On sait que le gardien est situé au milieu de la trajectoire C'L.

Question 15. Déterminer la valeur de Q .

Question 16. Sans la présence du gardien, déterminer le temps après lequel le ballon arrive en L.

Question 17. Tracer sur le schéma de l'annexe 2, l'allure des projections dans le plan (O, x, y) des trajectoires du ballon entre A et L.

2.2 Le but en vidéo

Une caméra de télévision est présente au cours du match. Elle est située en $V(20; -5; 2)$. La caméra ne peut que pivoter autour d'un axe (V, z') vertical. Durant l'action, l'objectif de la caméra est toujours pointé sur un axe vertical passant par le ballon.

On se place ici dans un repère (V, x', y', z') , issu de la translation de (O, x, y, z) . On pourra utiliser les coordonnées cylindriques (ρ, θ, z') définies par rapport au repère (V, x', y', z') .

Question 18. Déterminer les angles θ correspondants à l'angle de la caméra en coordonnées cylindriques, lorsque le ballon est en A, en G, en B, en C' puis en L.

Question 19. Tracer avec soin sur plusieurs graphes bilan les allures des différentes courbes $x = f(t)$, $v = f(t)$, $a = f(t)$, $\theta = f(t)$.

3 Une touche mal effectuée

Un joueur effectue une remise en jeu latérale (ou touche) en effectuant un mouvement de bras depuis l'arrière de sa nuque, avec un début de trajectoire circulaire uniformément accéléré. On note γ l'accélération pendant cette phase. Le joueur lâche ensuite le ballon qui doit effectuer une trajectoire parabolique (cf. annexe 1).

L'un des arbitres du match signale que le joueur n'a pas respecté la trajectoire parabolique.

Question 20. *Etablir un raisonnement complet montrant qu'il est impossible que le ballon effectue une trajectoire parabolique une fois lâché par le joueur, quel que soit la nature du mouvement circulaire effectué préalablement. Il est possible d'utiliser l'annexe 3 comme document-réponse si besoin.*

Question 21. *Donner l'expression du moment par rapport au centre de la trajectoire circulaire de la force \vec{F}_J donnée par le joueur au ballon, en fonction de γ .*

Le joueur en question n'étant pas d'accord avec la décision de l'arbitre, il conteste et se voit infligé un carton jaune. Le carton de l'arbitre est brandi aux coordonnées $K(30,15,2)$ dans le repère (O,x,y,z) et mesure 9 cm de haut.

Question 22. *Déterminer proprement l'angle vertical apparent du carton pour un spectateur dont les yeux sont situés à des coordonnées $M(x,y,2)$.*

4 Tableau d'affichage

Le gymnase dans lequel est joué le match est équipé d'un panneau électronique pour afficher le score et le chronomètre lors de la rencontre.

4.1 Chronomètre

En ce qui concerne le chronomètre, il est équipé d'une carte de réglage atomique, basée sur la loi de décroissance radioactive de l'atome de radon. Le nombre N de noyaux à un instant varie en fonction du temps tel que $dN = -\lambda \cdot N \cdot dt$.

Question 23. *Déterminer la loi de décroissance radioactive $N = f(t)$. Tracer son allure sur un graphe.*

Le temps de demi-vie $t_{1/2}$ est le temps après lequel la moitié des noyaux initiaux ont disparus.

Question 24. *Donner la relation liant $t_{1/2}$ et λ .*

Question 25. *Retrouver ces deux grandeurs sur la courbe $N = f(t)$.*

Le chronomètre affiche les minutes et les secondes pendant le match.

Question 26. *En déduire la période et la pulsation des impulsions nécessaires au fonctionnement du chronomètre.*

4.2 Affichage digital

L'affichage digital du score et du temps fait appel à plusieurs composants électroniques. Deux éléments de circuits présents dans un boîtier de contrôle sont rapportés en annexes 4 et 5.

Question 27. *Expliquer par le calcul le nom de « montage différentiel » donné au circuit en annexe 4 (comparer V_S à V_1 et V_2).*

Question 28. *Donner les valeurs de R_f et R_g telles que le montage soit dit « soustracteur ».*

Question 29. *Justifier maintenant pour le montage en annexe 5 qu'il s'agit d'un « intégrateur ».*

Question 30. *Question bonus 1 : Chaque digit est codé en binaire. Un caractère du panneau d'affichage est composé de 7 digits. Donner d'une part le nombre maximal de combinaisons possibles avec ces 7 digits (en plus des chiffres de 0 à 9), ainsi que le nombre décimal le plus grand que l'on peut coder en binaire avec 7 digits.*

5 Ballon errant

La fin du match est signalée par un buzzer électronique. Le ballon est alors en l'air et retombe sur le terrain.

Question 31. *Question bonus 2 : Rappeler la nature des ondes émises par le buzzer, ainsi que leur célérité.*

Question 32. *En complétant le schéma de l'annexe 6, conjecturer l'allure de la courbe $y = f(x)$ après le premier rebond.*

On modélise la réaction à l'impact par une force dont la norme est proportionnelle à la vitesse de retombée.

Question 33. *A l'aide du principe d'action-réaction (3ème loi de Newton) et des symétries de l'impact au sol, déterminer les composantes de la vitesse juste après le rebond.*

Question 34. *Etablir le même raisonnement pour les autres rebonds et donner ainsi l'équation de la trajectoire globale, en faisant appel au concept de valeur absolue.*

Question 35. *Donner des exemples d'autres systèmes physiques ayant un comportement similaire. Etablir une analogie entre les grandeurs physiques liées au ballon et les grandeurs de ces autres systèmes.*

Question 36. *Comme il faut toujours lire l'énoncé en entier avant de commencer, le premier qui lit cette question peut m'envoyer un SMS (06.13.53.26.73) et aura un point en plus, ou un carambar, enfin bref... ce qu'il veut, quoi!*