

## Devoir 2

Date de remise : 6 octobre 2009

### Coup de pied de coin au soccer

Un joueur de soccer doit tirer un coup de pied de coin de façon à ce que le ballon de rayon  $r = 11 \text{ cm}$  et de masse  $m = 0.45 \text{ kg}$  pénètre dans le but. Les dimensions du terrain de football et du but sont présentées à la Figure 1 et l'origine du système de coordonnées  $(0, 0, 0)$  est située au coin en bas à gauche à hauteur du sol. Ce point correspond aussi au point de départ du ballon (c'est un coup de pied de coin). On supposera que le joueur est dans un stade fermé (sans vent) et qui est maintenu à une température de  $20 \text{ C}$ . Ici vous devez écrire un programme qui lit les

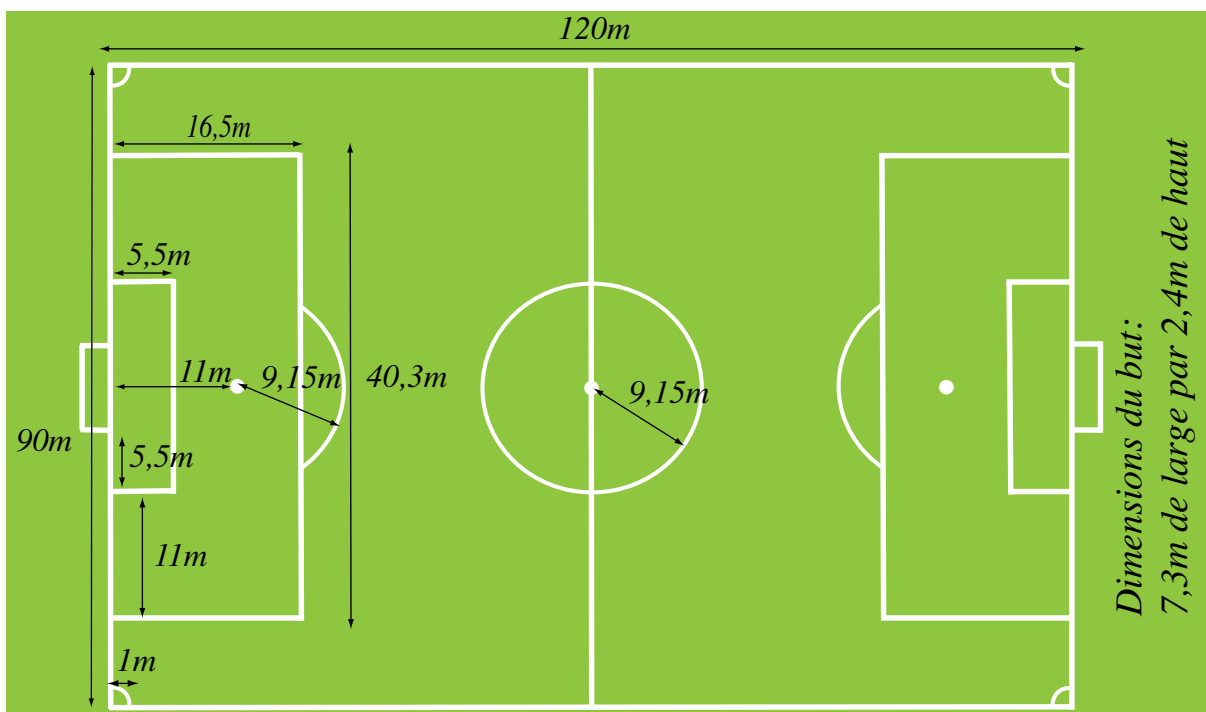


Figure 1: Dimensions d'un terrain de soccer.

vitesse initiale de translation (du centre de masse) et de rotation (vitesse angulaire) du ballon fournies par l'utilisateur, qui trace sa trajectoire et détermine si le ballon pénètre directement dans le but (sans toucher le sol). Prenez pour acquis que les ballons de soccer atteignent rarement des vitesses supérieures à  $130 \text{ km/h}$ .

Les options de simulation suivantes doivent être considérées.

1. La simulation se termine lorsque le ballon sort du terrain, touche le sol ou entre dans le but sans toucher le sol.
2. Le ballon est considéré comme une sphère creuse.
3. Le ballon subit une force de frottement visqueux donnée par

$$\vec{F}^{\text{vis}} = -\frac{\rho C^{\text{vis}} A}{2} |\vec{v}| \vec{v}$$

dans une directions directement opposée à sa vitesse  $\vec{v}$ . Ici  $A = \pi r^2$  est l'aire effective du ballon,  $\rho$  la densité de l'air (voir Tableau 1 pour la relation entre la densité de l'air et la température), et  $C^{\text{vis}} = 0.34$ .

Tableau 1: Densité (masse volumique) de l'air à différentes températures.

$T$ (C)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$T$ (C)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )
-10	1,341	40	1,127
0	1,293	50	1,092
10	1,247	60	1,060
20	1,204	70	1,029
30	1,164	80	1,000

4. Le ballon subit l'effet Magnus correspondant à une force

$$\vec{F}^M = \frac{\rho C^M A}{2} v^2 \frac{(\vec{\omega} \times \vec{v})}{|(\vec{\omega} \times \vec{v})|}$$

le coefficient de Magnus étant donné par la relation

$$C^M = 0.385 \left( \frac{\omega r}{|\vec{v}|} \right)^{0.25}$$

avec  $\omega$  la vitesse de rotation angulaire du ballon et  $\vec{v}$  la vitesse de son centre de masse.

5. On devra pouvoir visualiser le mouvement de rotation du ballon le long de sa trajectoire. Deux options vous sont proposées :
  - (a) Représenter le ballon par un cube;
  - (b) Colorer chacun des quartiers du ballon en utilisant une couleur différente (voir Figure 2 et fichier `Ballon.zip`).

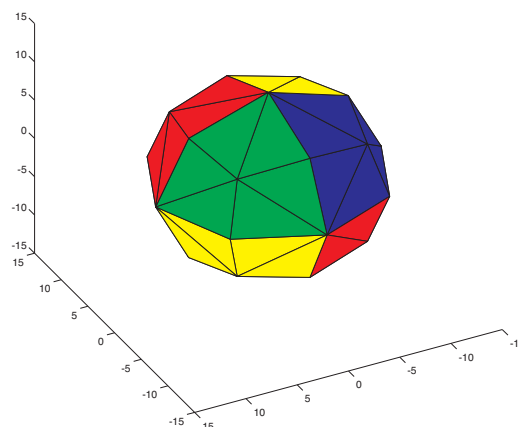


Figure 2: Ballon coloré par quartier.

### Instructions

Les attentes pour ce devoir sont

1. Vous devez générer un programme qui :
  - (a) lit  $\vec{v}(t_0)$  la vitesse linéaire initiale du centre de masse ballon en m/s (les composantes  $x$ ,  $y$  et  $z$  de la vitesse seront lues);
  - (b) lit  $\vec{\omega}(t_0)$  la vitesse angulaire initiale du ballon en rad/s (les composantes  $x$ ,  $y$  et  $z$  de la vitesse seront lues);
  - (c) trace la trajectoire du ballon et arrête la simulation lorsque celui-ci sort du jeu, entre dans le but ou touche le sol (pour simplifier la simulation on supposera que le ballon entre dans le but si son centre de masse entre dans le but);
  - (d) retourne à l'écran (ou dans un fichier de sortie) la position et la vitesse finale du ballon et le temps lorsque la simulation s'est terminée et commente sur la qualité du coup (un but est marqué ou non).
2. Vous devez rédiger un document où vous décrivez le problème, les différentes équations que vous avez considérées, leurs limites d'applications ainsi que les méthodes de résolution (numérique ou analytique) que vous avez programmées. Cette section sera suivie par une analyse des résultats de différentes simulations incluant une combinaison  $\vec{v}(t_0)$ ,  $\vec{\omega}(t_0)$  telle que

- (a) le ballon est entré dans le but;
- (b) le ballon est sorti par l'arrière du terrain ( $x = 0$ );
- (c) le ballon a touché le sol sans sortir du terrain.

La position, et le temps à l'arrêt de la simulation (but, sortie du terrain ou ballon touche le sol) doivent aussi être donnés pour chacune de ces situations. Finalement le document doit se terminer avec une conclusion.

3. L'étudiant est libre de choisir son langage de programmation et la méthode de résolution utilisés. Il doit aussi remettre les sources de ses programmes ainsi qu'un exécutable (si requis) et les instructions permettant d'utiliser son programme.