

Physique du Billard : La Mécanique du Solide

Au-delà du simple point matériel

Jusqu'ici, nous avons traité les objets comme des points flottants dans l'espace. Une boule de billard est plus complexe : c'est un Solide Rigide. Elle peut avancer, mais elle peut aussi tourner sur elle-même.

C'est cette rotation qui permet les effets (rétro, coulé, massé) et qui rend la physique du billard si riche.

1. Les nouvelles variables : Rotation et Inertie

Pour décrire une boule, nous avons besoin de doubler nos variables : une pour le linéaire (translation), une pour l'angulaire (rotation).

| Concept | Linéaire (Avancer) | Angulaire (Tourner) |
|-------------------------|--------------------------|---|
| Vitesse | \vec{v} (m/s) | $\vec{\omega}$ (rad/s) (Vecteur Vitesse Angulaire) |
| Cause du mouvement | Force \vec{F} (Newton) | Couple $\vec{\tau}$ (Newton-mètre) (Torque) |
| Résistance au mouvement | Masse m (kg) | Moment d'Inertie I ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$) |

Tableau 1. – Analogie Translation / Rotation

Le Moment d'Inertie (I)

C'est la « masse de rotation ». Plus I est grand, plus il est difficile de faire tourner l'objet (ou de l'arrêter de tourner). Pour une sphère pleine (comme au billard) de rayon R et de masse m :

$$I = \frac{2}{5}mR^2$$

La Mise en mouvement (Le coup de queue)

Quand la queue frappe la boule, elle transmet une impulsion \vec{J} .

- Si on frappe au centre : La boule avance sans tourner (au début).
- Si on frappe au-dessus du centre (distance h) : On crée un Couple ($\tau = h \cdot F$). La boule avance **et** se met à tourner vers l'avant (Coulé).

2. Le Cœur du problème : Le Point de Contact (P)

La boule touche le tapis en un point précis, tout en bas. Appelons ce point P . La physique de la friction dépend uniquement de la vitesse de ce point P par rapport au tapis.

La vitesse du point de contact est la somme de deux vitesses :

1. La vitesse du centre de la boule (v).
2. La vitesse due à la rotation ($\Omega \cdot R$).

Vitesse de Glissement (\vec{v}_g)

En simplifiant en 1D (vue de profil), la vitesse du point au sol est :

$$v_g = v - R\omega$$

Il y a alors deux cas possibles, qui dictent quel type de friction s'applique.

3. Phase 1 : Le Glissement (Friction Dynamique)

Exemple : Le coup fort, ou le « Rétro »

C'est ce qui se passe quand $v_g < 0$. Le point de contact « rape » le tapis.

- Si vous frappez fort au centre, la boule part vite (v grand), mais ne tourne pas encore ($\Omega = 0$). Donc v_g est grand. La boule « burn » sur le tapis comme une voiture au démarrage.

La Force de Friction Cinétique (f_k) : Le tapis n'aime pas ça. Il exerce une force constante opposée au glissement.

$$f_k = \mu_k mg$$

(Où M_k est le coefficient de friction dynamique, environ 0.2 pour du drap).

Le Double Effet Kiss-Cool : Cette force unique fait deux choses contradictoires mais nécessaires pour atteindre l'équilibre :

1. Elle s'oppose au mouvement : elle fait **diminuer** la vitesse linéaire v .
2. Elle crée un couple (au niveau du sol) : elle fait **augmenter** la vitesse de rotation Ω .

$$\vec{a} = -\frac{\vec{f}_k}{m}$$

(La boule ralentit)

$$\vec{\alpha} = \frac{R \times \vec{f}_k}{I}$$

(La boule se met à tourner)

Au fil du temps, v diminue et Ω augmente... jusqu'à ce qu'ils se rencontrent.

4. Phase 2 : Le Roulement (Friction Statique / Résistance)

L'état d'équilibre naturel

C'est ce qui se passe quand $v_g = 0$. Mathématiquement : $v = R\omega$.

À cet instant précis, le point de contact touche le tapis mais ne glisse pas (comme une chenille de tank ou un pneu de voiture sur l'autoroute). Le glissement s'arrête.

La Résistance au Roulement (μ_r) : Techniquement, s'il n'y avait aucune perte d'énergie, la boule roulerait à l'infini. En réalité, la boule s'écrase un tout petit peu dans le tapis. Cela crée une très faible force qui la ralentit doucement. C'est souvent modélisé comme une friction très faible (10 à 50 fois plus faible que le glissement).

5. Résumé de la vie d'une boule

Prenons l'exemple d'un coup « Rétro » (Backspin) :

1. **Impact** : On tape bas. La boule part vers l'avant ($v > 0$), mais tourne à l'envers ($\Omega < 0$).
2. **Glissement violent** : Au sol, la boule frotte vers l'avant (car elle tourne à l'envers).
3. **Action de la Friction** :
 - La friction du tapis pousse vers l'arrière (freine la boule).
 - La friction force la rotation à ralentir, s'arrêter, puis repartir dans le bon sens.
4. **Transition** : À un moment, la rotation « rattrape » la vitesse. $v = R\omega$.
5. **Roulement** : La friction de glissement disparaît. La boule roule « naturellement » jusqu'à l'arrêt complet dû à la résistance au roulement.