

Session 18 : Physique des Véhicules

💡 Le modèle Arcade (Raycast Vehicle)

Simuler une voiture réaliste est extrêmement difficile. Utiliser 4 cylindres physiques attachés par des joints (`HingeJoint`) provoque souvent des bugs (roues qui sautent, voiture qui vibre).

L'industrie (GTA, Mario Kart, Cyberpunk) utilise une approximation robuste : le **Raycast Vehicle**.

- La voiture est une **brique flottante**.
- Les roues sont des **ressorts invisibles** (Raycasts).
- On applique des forces manuelles pour simuler l'adhérence.

1. Anatomie du Véhicule

Le véhicule est composé d'un seul **RigidBody Dynamic** (le Châssis). Les roues ne sont pas des objets physiques, ce sont des **points de simulation**.

Pour chaque roue, on définit :

- Un **point d'ancrage** (coin du châssis).
- Une **direction de suspension** (vers le bas, localement $-y$).
- Une **longueur de rayon** (longueur de la suspension + rayon de la roue).

2. La Suspension (Le Ressort)

C'est la force qui maintient la voiture en l'air. Elle agit selon la Loi de Hooke, mais amortie.

Formule de la Suspension. *On lance un rayon vers le bas. S'il touche le sol à une distance d :*

1. **Compression (x)** : Différence entre la longueur au repos et la distance actuelle.

$$x = \text{LongueurMax} - d$$

2. **Vitesse de Compression (v_c)** : À quelle vitesse la roue s'enfonce-t-elle ? On projette la vitesse du châssis sur la direction de la suspension.

3. **Force Totale (F_s)** :

$$F_s = \underbrace{k \times x}_{\text{Ressort (Spring)}} - \underbrace{c \times v_c}_{\text{Amortisseur (Damper)}}$$

Cette force est appliquée vers le haut au point d'ancrage de la roue.

3. L'Adhérence (Le Pneu)

Une fois la voiture en lévitation, elle glisse comme sur de la glace. Il faut simuler le frottement du caoutchouc. Pour chaque roue, on calcule deux vecteurs au sol : **Forward** (Avancer) et **Right** (Côté).

- **Force Longitudinale (Accélération/Frein)** : On applique une force dans la direction **Forward**.
- **Force Latérale (Grip)** : C'est la plus importante. On calcule la vitesse latérale de la roue (dérapage) et on applique une force **opposée** pour l'annuler.
 - Si Grip = 1.0 : La voiture tourne sur des rails (F1).
 - Si Grip = 0.1 : La voiture dérape (Rally/Drift).

4. Travail Pratique : Off-Road Challenge

Objectif : Transformer un cube en véhicule tout-terrain pilotable, capable de franchir des obstacles sans se retourner.

Étape A : Configuration du Châssis

1. Créer un cube (RigidBody Dynamic) de dimensions (2, 0.5, 4).
2. Définir une masse réaliste (ex: 1500kg).
3. Définir 4 points d'ancrage (Vector3) aux coins du véhicule (ex: $pm1, -0.25, pm2$).

Étape B : Simulation de la Suspension (Boucle Physique)

À faire dans fixedUpdate ou step.

1. Pour chaque roue, lancer un **Raycast** vers le bas (longueur = 1.0m).
2. Si le rayon ne touche rien : ne rien faire (la roue est en l'air).
3. Si le rayon touche :
 - Calculer la compression x (entre 0.0 et 1.0).
 - Calculer la force $F = (k \cdot x) \cdot \vec{n}_{\text{up}}$.
 - Appliquer cette force au point d'ancrage avec `body.addForceAtPoint(F, anchor)`.
 - **Test :** La voiture doit rebondir indéfiniment comme un trampoline.

Étape C : Stabilisation (Damping)

1. Ajouter le terme d'amortissement.
2. Récupérer la vitesse du châssis au point d'ancrage : `v = body.getVelocityAtPoint(anchor)`.
3. Projeter cette vitesse sur l'axe vertical local (produit scalaire).
4. Soustraire `damping * vitesseVerticale` à la force de ressort.
5. **Test :** La voiture doit se stabiliser et arrêter de rebondir.

Étape D : Contrôle (Accélération)

1. Récupérer l'input $\frac{Z}{S}$ (ou W/S).
2. Calculer le vecteur **Forward** de la voiture (transformé par la rotation du châssis).
3. Appliquer une force `Input * Power` au point de contact des roues motrices.

Étape E : Direction et Friction Latérale

1. Pour les roues avant, faire pivoter le vecteur de calcul (Forward/Right) selon l'angle de braquage.
2. Calculer la vitesse latérale : $v_{\text{lat}} = \vec{v}_{\text{roue}} \cdot \vec{d}_{\text{right}}$.
3. Calculer la force de friction : $F_{\text{lat}} = -v_{\text{lat}} \cdot \text{masse} \cdot \text{coeff_adhérence}$.
4. Appliquer cette force pour empêcher le véhicule de glisser en crabe.