

Volume

1

MOTION SIMULATOR

Tutorial

Gilles DIETRICH

Prise en main

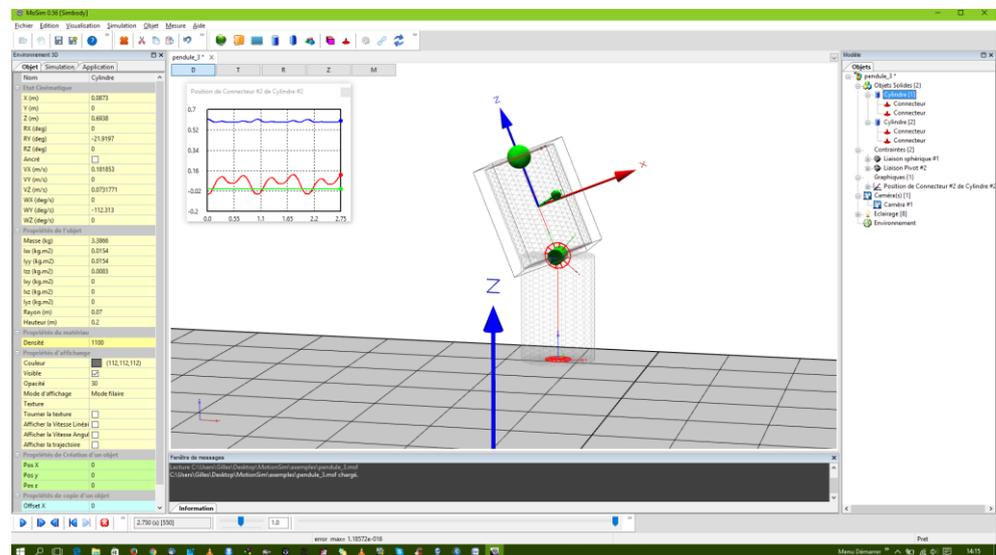
Ce chapitre décrit les principales fonctions du logiciel Motion Simulator MoSim 0.5, à partir d'un exemple déjà existant:

1. Notion d'espace de travail

2. Objets physiques simples et type de liaisons

3. Paramètres de simulation

Tous les fichiers de ce manuel se trouvent dans le répertoire « exemples » de l'application « MoSim».





Pour lancer le logiciel *MoSim*, il suffit de cliquer sur l'icône « **MoSim** ». Lors du premier démarrage, la fenêtre du programme occupe tout l'écran. Il est alors possible de charger un premier fichier

MoSim est un logiciel de modélisation et de simulation mécanique (mécanique du solide non déformable pour cette version 0.5). Il intègre plusieurs moteurs de calcul mécanique dans une même interface :

1. *The Open Dynamics Engine*¹
2. *Bullet Physics Library*²
3. *Newton Dynamics*³
4. *SimBody*⁴

Ouverture d'un fichier



Cette icône indique un bouton dans la barre d'outils.

Pour ouvrir un fichier de données, utiliser la commande **Fichier/Ouvrir**.

Ce premier exemple correspond au fichier « **pendule_1.msfx** » du répertoire « **Exemples** ».

Lors de l'ouverture quatre fenêtres s'affichent simultanément.

1. Une première fenêtre centrale, correspond à une vue en 3D de l'objet modélisé.
2. La fenêtre de droite donne une description hiérarchique des éléments du modèle
3. La fenêtre de gauche permet d'accéder aux paramètres des objets (solides, liaisons, etc.), de la simulation et de l'environnement 3D.
4. La fenêtre du bas affiche les différents messages.

¹ <http://www.ode.org/>

² bulletphysics.org

³ <http://newtondynamics.com/>

⁴ <https://simtk.org/home/simbody/>

D'autres fenêtres peuvent être présentes : graphiques, tables de données etc. Dans notre exemple, un graphique est aussi présent (position de la sphère).



Une fois le fichier ouvert et les différentes fenêtres affichées, lancez la simulation (icône en bas sur la barre de défilement ou menu « **Simulation/Lancer** ». Pour arrêter la simulation utilisez la commande du menu « **Simulation/Arrêter** » ou F9)

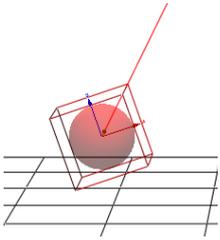


Lorsque la simulation est arrêtée il est possible de recommencer tous les calculs de simulation (Simulation/Reset). Cette commande efface tous les calculs effectués.



Cette commande est obligatoire lorsque l'on a modifié des paramètres de simulation.

Onglet Objet



Sélectionnez la sphère

Pour sélectionner un objet, le plus simple est de cliquer sur celui-ci dans la fenêtre 3D. En cliquant sur celui-ci, le contour ainsi que les axes de l'objet sont affichés. Si toutefois il devient difficile de sélectionner exactement l'objet, vous pouvez aussi le sélectionner en cliquant sur son nom dans la fenêtre de droite.

Afficher les paramètres de la sphère.

Lorsqu'un objet est sélectionné et que l'onglet de gauche est positionné sur « Objet », les caractéristiques mécaniques de l'objet sont affichées (ici la sphère).

Il devient alors possible de modifier la position (X, Y, Z) de l'objet. Dans la version actuelle, tous les paramètres numériques sont exprimés en unité internationale (MKS). Les positions sont donc en mètres. Toutefois les angles, pour des raisons de facilité, seront exprimés en degrés.

La modification des paramètres n'est pas possible pendant le calcul. Il est nécessaire de stopper la simulation pour pouvoir éditer les paramètres d'un objet.

Les paramètres cinématiques d'un objet solide sont :

- a. Position (du centre de masse)
- b. Orientation (angle d'Euler)
- c. Vitesse
- d. Vitesse angulaire

Des propriétés mécaniques sont aussi modifiables :

- a. Masse
- b. Densité (rapport entre Masse et Volume)
- c. Moments d'Inertie (I_{xx} , I_{yy} , et I_{zz}) et produits d'Inertie
- d. Taille (pour une sphère ceci correspond au rayon)
- e. Amortissement en vitesse. Ce paramètre (s'il est inférieur à 1) permet de simuler une friction avec le milieu (air ou eau par exemple).

Etat Cinématique	
X (m)	-0.312
Y (m)	0
Z (m)	0.365
RX (deg)	0
RY (deg)	-18.809
RZ (deg)	0
Ancré	<input type="checkbox"/>
VX (m/s)	-1.46741
VY (m/s)	0
VZ (m/s)	0.712507
WX (deg/s)	0
WY (deg/s)	132.124
WZ (deg/s)	0
Propriétés de l'objet	
Masse (kg)	0.576
I_{xx} (kg.m ²)	0.001
I_{yy} (kg.m ²)	0.001
I_{zz} (kg.m ²)	0.001
I_{xy} (kg.m ²)	0
I_{xz} (kg.m ²)	0
I_{yz} (kg.m ²)	0
Taille (m)	0.05
Amortissement	
Amortissement linéai	0
Amortissement angul.	0
Propriétés du matériau	
Densité	1100
Restitution	0.995
Friction statique	0.2
Friction dynamique	0.1
Friction visqueuse	0.01
Friction de rotation	0
Young coefficient	10000000
Poisson coefficient	0.5
Collide	<input checked="" type="checkbox"/>

- f. **Ancrage.** Permet de « fixer » l'objet : aucun déplacement de cet objet ne sera générer par la simulation.

Enfin les autres propriétés concernent de type de matériau de cet objet (nécessaire pour les collisions) ainsi que les propriétés d'affichage (couleur, transparence, etc.)



Modification de la visualisation 3D

Il est souvent utile de pouvoir modifier l'angle de vision, de se déplacer dans la scène 3D, de suivre le déplacement d'un objet etc.

La souris permet de naviguer et de ce déplacer dans cet environnement 3D.

- **Bouton gauche** : rotation de la caméra autour du centre de la scène 3D
- **Bouton droit** : Zoom avant et arrière en fonction du déplacement vertical de la souris.
- **Bouton central** (ou bouton droit + bouton gauche) : translation de la caméra.
- **Ctrl+Bouton Droit** : menu contextuel : Vue de face, profil etc....
- **Roulette** : avance ou recul de la caméra

Afin de maintenir la sélection des objets, il est nécessaire de maintenir la touche « **Ctrl** » appuyé pendant ces opérations de zoom, de translation ou de déplacement.

De plus, quatre boutons (en haut et à gauche de la fenêtre) permettent de changer les fonctions de la souris :

1. 'T' permet de gérer les déplacements en Translation
2. 'R' permet de gérer les déplacements en Rotation
3. 'Z' pour les déplacements de type « Zoom »
4. 'M' pour les Mouvements de la caméra par rapport au centre de vision.

Nom	Position de Sphère #1
Visible	<input checked="" type="checkbox"/>
Propriétés du Graphique	
Type de Graphique	Courbes
Display Time	5
Courbe[1]	<input checked="" type="checkbox"/>
Courbe[2]	<input type="checkbox"/>
Courbe[3]	<input checked="" type="checkbox"/>
Courbe[4]	<input type="checkbox"/>
Couleur de la courbe	 Red
Couleur de la courbe	 Green
Couleur de la courbe	 Blue
Couleur de la courbe	 Black
Couleur du fond	 White
Couleur de la grille	 Black
Graduation X	5
Graduation Y	5
Moving time axis	<input checked="" type="checkbox"/>

Sélectionnez la fenêtre du graphique

Pour sélectionner un graphique, il est nécessaire de sélectionner cet objet dans la fenêtre de droite. Dans l'onglet « Objet » les caractéristiques de celui-ci s'affiche.

Il est possible de modifier la couleur, le type de graphiques (valeurs ou courbes). Les données du graphique peuvent être copiées dans le presse papier (menu contextuel avec le bouton droit) ou même exportées sous forme de fichier texte.

Nom	Cube #1
Position	
X (m)	0
Y (m)	0
Z (m)	1
RX (deg)	0
RY (deg)	0
RZ (deg)	0
Propriétés de l'objet	
Taille X (m)	0.1
Taille Y (m)	0.1
Taille Z (m)	0.1
Type de forme	Cube
Propriétés d'affichage	
Couleur	 (15,238,89)
Visible	<input checked="" type="checkbox"/>
Transparence	<input checked="" type="checkbox"/>
Mode filaire	<input type="checkbox"/>
Afficher la trajectoire	<input type="checkbox"/>
Propriétés du matériau	
Restitution	0.995
Friction statique	0.2
Friction dynamique	0.1
Friction visqueuse	0.01
Friction de rotation	0
Young coefficient	10000000
Poisson coefficient	0.5
Collide	<input checked="" type="checkbox"/>

Sélectionnez le cube

Cet objet n'est pas en fait un solide comme les autres, mais plutôt un objet virtuel qui n'est pas modifié lors de la simulation.

Il existe donc deux types d'objets solides : les solides « dynamiques », qui seront affectés par la simulation (le moteur de simulation applique des efforts sur ces solides et peut donc calculer les positions et vitesses), et les solides « cinématiques » qui sont indépendants de la simulation. Ces derniers peuvent cependant interagir avec les solides dynamiques par l'intermédiaire de liaisons (c'est le cas dans cet exemple), de contraintes, de contacts et de collisions.

Il ne possède pas de masse, pas d'inertie. Cependant ce type d'objet est très utile car il permet de lier les objets solides à l'environnement (certains moteurs de calcul nécessitent ce type d'intermédiaires).

De façon générale ce type d'objet est fixe, mais il est possible de l'animer en donnant par exemple une expression littérale à sa position. Nous verrons plus tard comment animer plus finement ce type d'objet.

Dans notre modèle ce cube représente le point d'ancrage du pendule. Il aurait aussi été possible d'utiliser un solide ancré (fixe) pour réaliser cette même fonction. Cependant l'utilisation de solides ancrés augmente le temps de calcul de chaque pas de la simulation.

Paramètres de la simulation

Il existe plusieurs moteurs de calcul (cf. ci-dessus) et donc plusieurs façons d'envisager le mouvement d'un solide. Dans les cas les plus simples, le mouvement d'un solide est gouverné par sa masse (m) et son tenseur d'inertie (J_w). Pour d'autres moteurs de calcul (**SimBody** par exemple) la philosophie et donc les méthodes peuvent être très différentes.

Ainsi, le moteur de simulation évalue les forces (F) et les moments (M) appliqués sur ce solide :

$$F = m \cdot \dot{v}$$

$$M = J_w \dot{\omega} + \varpi J_w \omega$$

On peut déduire de ces équations de forces et de moments, les **équations de mouvement** d'un solide :

$$\dot{z} = v$$

$$\dot{v} = \frac{1}{m} F$$

$$\dot{q} = \omega * q$$

$$\dot{\omega} = J_w^{-1} (M - \varpi J_w \omega)$$

Par intégration, il est possible de calculer la position (z) et l'orientation (q) d'un solide.

Cette intégration numérique est dépendante de deux facteurs principaux :

- a. le pas d'intégration (h)
- b. le type d'intégrateur utilisé

La plupart des moteurs de simulation proposée ici vous donne le choix sur les méthodes d'intégration, la précision attendue etc...

Propriétés du moteur de simulation	
Moteur de Simulation	Bullet Physics
gx (m/s/s)	0
gy (m/s/s)	0
gz (m/s/s)	-9.81
Période (s)	0.005
Constraint Solver	Iterative Gauss-Seidel solve
Taille totale (m)	1000
Nombre de pas max	300
Nombre de pas max pour	100
Ne pas utiliser de veille	<input checked="" type="checkbox"/>
Utiliser une articulation	<input type="checkbox"/>
Collision & Contact	
Utiliser les Collisions	<input checked="" type="checkbox"/>
Collision dans les liaison	<input type="checkbox"/>
Type de détection de co	Dynamic AABB trees
Marge de Collision par	0.02
Utiliser une forme convexe	<input checked="" type="checkbox"/>
Contrôle	
Arrêter si messages	<input type="checkbox"/>
Arrêter si alertes	<input type="checkbox"/>
Condition d'arrêt	
Image non affichée	2
Vitesse de lecture temps	<input checked="" type="checkbox"/>

L'onglet « **Simulation** » donne accès à ces différentes caractéristiques. Dans le cas notre exemple, le moteur de calcul est « *Bullet Physics* » (il est très facile de modifier le moteur de calcul dans cet onglet simulation).

Le vecteur Gravité (Gx, Gy, Gz) peut être modifié

L'intégrateur (avec une période d'intégration constante dans cette version) est aussi modifiable.

Dans certains moteurs de calcul, il est même possible de choisir le type d'intégrateur, c'est-à-dire l'algorithme qui permet de calculer les vitesses et positions à partir des accélérations.

Par exemple:

1. **Euler**. C'est un intégrateur linéaire (et donc pas très précis), mais ce type de calcul ne requière qu'une seule évaluation numérique des équations de mouvements (ode) : $y_{t+h} = y_t + ode(y_t)h$

2. **Euler 2**. Cet intégrateur utilise l'algorithme d'Euler pour la première moitié de l'intervalle d'intégration. Le résultat ainsi obtenu correspond aux conditions initiales pour une nouvelle évaluation sur la seconde moitié de l'intervalle. Cet algorithme est plus précis que le premier (mais il est aussi linéaire) et demande deux évaluations des équations de mouvements.

$$k1 = ode(y_t) \text{ et } k2 = ode(y_t + k1 \frac{h}{2}) ; y_{t+h} = y_t + k1 \frac{h}{2} + k2 \frac{h}{2}$$

3. **Runge Kutta 2**. Cet intégrateur utilise deux évaluations des équations de mouvements, mais est beaucoup plus précis que l'intégrateur Euler 2.

$$k_1 = ode(y_t) \quad k_2 = ode(y_t + k_1 h) ; y_{t+h} = y_t + \frac{k_1 + k_2}{2} h$$

4. **Runge Kutta 4**. Cet intégrateur du quatrième ordre demande quatre évaluations des équations de mouvements. Cet intégrateur est le plus précis, mais demande plus de temps de calcul. $k_1 = ode(y_t)$,

$$k_2 = ode(y_t + k_1 h), \quad k_3 = ode(y_t + k_2 \frac{h}{2}), \quad k_4 = ode(y_t + k_3 h) ;$$

$$y_{t+h} = y_t + \frac{k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4}{6} h$$

En fonction de vos exigences de vitesse ou de précision, vous pouvez changer les caractéristiques de l'intégrateur.



Par exemple, choisissez un pas d'intégration élevé, par exemple 0.1 seconde et l'algorithme d'Euler.

La vitesse de calcul est grandement modifiée. Cependant, les performances, en termes de vitesse de calcul, peuvent être très différentes en fonction du moteur de calcul choisi. Il est à noter que cette version n'est absolument pas optimisée et ne favorise donc pas la vitesse d'exécution.

Les paramètres de l'intégrateur n'affectent que l'évaluation des équations de mouvements des solides. Si ces solides sont réunis par des contraintes (comme ici un ressort), l'évaluation des forces et moments produits affectera aussi le résultat final.

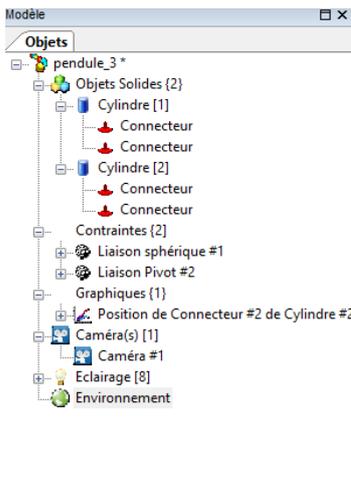
Ainsi, une deuxième section de cet onglet (Paramètres des contraintes) vous permet de modifier le type de calcul appliqué aux contraintes :

Plusieurs champs vont affecter les calculs :

1. **Précision.** Ce champ détermine l'erreur maximale de positionnement (en mètre) pour l'ensemble des contraintes d'un modèle. Si le calcul donne une erreur supérieure, la simulation sera stoppée. Cette erreur est visualisable dans un indicateur dans la barre d'information au bas de l'application.
2. **Nombre de Pas.** Lors de l'évaluation de l'effet d'une contrainte, la réduction de l'erreur est un processus itératif. Ce champ donne le nombre maximal d'itération nécessaire pour atteindre la précision demandée par la valeur du champ précédent.
3. **Optimiser la vitesse.** Les types d'optimisations (vitesse ou précision) correspondent à deux types d'algorithmes d'évaluation de l'ensemble des contraintes. En choisissant « Vitesse », les erreurs seront plus importantes et la simulation peut devenir instable pour des modèles complexes.

Vous pouvez essayer de faire varier les différents paramètres de simulations, changer le moteur de calcul et ainsi évaluer qualitativement et même quantitativement les différences de résultats en fonction de vos choix.

Ainsi, au cours du prochain chapitre, vous élaborez un modèle simple de pendule comportant un ou plusieurs solides.



Fenêtre Modèle

La fenêtre de droite donne la liste de l'ensemble des objets composants votre modèle. Celle-ci comporte plusieurs groupes d'éléments :

1. Liste des objets physiques (et virtuels)
2. Liste des contraintes (articulations et contraintes)
3. Liste des graphiques
4. Liste des caméras (au moins une par défaut)
5. Environnement physique (scène 3D)

La sélection des objets physiques a déjà été abordée ci-dessus.

Contrainte

Si vous sélectionnez la liaison sphérique du pendule, vous obtenez une fenêtre de propriétés comparable à celle-ci.

Nom	Liaison sphérique #1
Active	<input checked="" type="checkbox"/>
Condition	
Valeur	16.7083
Erreur	0.0024
Fx	1.9785
Fy	0
Fz	16.5907
Tx	0
Ty	0
Tz	0
Paramètres de la contrainte	
Mode de liaison	Auto
Raideur	1
Force Max (N)	0
Moment Max (N.m)	0
Propriétés d'affichage	
Taille	0.045
Couleur	Green
Visible	<input checked="" type="checkbox"/>
Opacité	100
Afficher les forces	<input type="checkbox"/>

Il est alors possible de modifier les paramètres de cette articulation/contrainte (type de liaison, raideur) ainsi que les paramètres d'affichage de celle-ci.

Camera

En sélectionnant la **caméra** vous devez obtenir ce type fenêtre de propriétés.

Propriétés de la caméra	
Nom	
Position x	0
Position y	-4
Position z	1
Vue X	0
Vue y	0
Vue z	0.5
Angle	15.3832
Perspective	<input checked="" type="checkbox"/>
Cible	None
Suivre la cible	<input checked="" type="checkbox"/>
Propriétés générales	
Incrément de Zoom	0.05
Facteur de Zomm	250
Facteur de déplacem	200

La position correspond aux coordonnées de la caméra par rapport au repère général. Le champ « Vue » correspond aux coordonnées (fixes) que « regarde » cette caméra.

L'angle correspond à l'ouverture (zoom).

Le champ cible vous permet de sélectionner une « cible » que va suivre la caméra. Cette cible est forcément un connecteur que l'on peut placer sur un objet solide ou virtuel. Si « Suivre la cible » est validé, alors la caméra se déplace aussi en translation de manière à maintenir la distance entre caméra et cible constante.

Pour ajouter une caméra, il suffit de sélectionner le menu « Visualisation/Ajouter une caméra ».

Pour enregistrer les paramètres initiaux de chaque caméra, commencer par faire un « reset ». Désélectionner tous les objets, puis sélectionner la caméra.

Maintenant positionner la vue (avec la souris et éventuellement les boutons de zoom, de déplacement etc.). Tous ces paramètres correspondant à la position initiale seront enregistrés en tant que paramètres de la caméra.

Eclairage

Eclairage	
Active	<input checked="" type="checkbox"/>
Couleur	<input type="color" value="#808080"/> (178,178,229)
Type d'éclairage	Diffuse
Position X	-10
Position Y	-50
Position Z	50
Direction X	0
Direction Y	0
Direction Z	-1
Exposant	0
Coupure	180
Afficher	<input type="checkbox"/>

Par défaut, il existe 8 « lampes » que l'on peut activer ou désactiver pour modifier les conditions d'éclairage de la scène 3D.

Pour chaque lampe, il est possible de définir si celle-ci est active ou pas, sa couleur, sa position, l'orientation du faisceau lumineux (vecteur direction) ainsi que la largeur du cône d'éclairage, son type (lumière ambiante, diffuse, spéculaire).

Environnement physique

Environnement 3D	
Couleur du fond	<input type="color" value="#808080"/> (112,112,112)
Lisse	<input type="checkbox"/>
Plan	
Afficher le plan	<input checked="" type="checkbox"/>
Couleur du plan	Black
Taille du plan	4
Nombre de graduati	20
Type de plan	Horizontal
Position	
Axe	
Afficher le repère glc	<input checked="" type="checkbox"/>
Taille des axes	0.5
Afficher les boutons	<input checked="" type="checkbox"/>
Echelles pour les Vecteurs	
Vitesse Linéaire	10
Vitesse angulaire	100
Force	100
Moment	100

Ce panneau de propriétés permet de modifier la couleur du fond, le type d'affichage (anti aliasing), s'afficher ou de masquer le plan horizontal (ainsi que sa couleur, sa taille, le nombre de graduations).

Le repère globale peut aussi est modifié.

Enfin les facteurs d'échelle d'affichage des différents vecteurs peuvent être modifiés : (vitesses linéaire et angulaire, force et moment).

Tous ces paramètres sont enregistrés avec le fichier modèle.