



**POLYTECHNIQUE  
MONTRÉAL**

# **PHS 4700**

## **Physique pour les applications multimédia**

### **Chapitre 1 — Introduction**

G. Marleau

Automne 2016

# Table des matières

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

Exemple en optique

Exemple en acoustique

Modèles utilisés pour les simulations

Modélisation physique et applications multimédias

Conclusions

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

Exemple en optique

Exemple en acoustique

Modèles utilisés pour les simulations

Modélisation physique et applications multimédias

Conclusions

# Quelle physique, et dans quel but?

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

Exemple en optique

Exemple en acoustique

Modèles utilisés pour les simulations

Modélisation physique et applications multimédias

Conclusions

Une question que les concepteurs d'applications multimédias se posent souvent est :

Comment puis-je faire pour que les jeux que je programme et les scènes d'animation que je crée semblent réalistes pour l'utilisateur (joueur ou cinéphile)?

Le physicien ou l'ingénieur devrait répondre à cette question ainsi :

Il faut s'assurer que le comportement des objets et les environnements visuels et sonores dans lesquels ces objets évoluent représentent le plus fidèlement possible la réalité.

# Quelle physique et dans quel but?

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

Exemple en optique

Exemple en acoustique

Modèles utilisés pour les simulations

Modélisation

physique et applications

multimédias

Conclusions

Le physicien justifiera sa réponse de la façon suivante.

- Notre cerveau, sans être un ordinateur qui résout les équations du mouvement associées à chaque objet et prévoit les trajectoires de ceux-ci, perçoit souvent les incohérences physiques programmées dans les jeux et les films.
- Il peut détecter certaines aberrations optiques ou acoustiques.

# Quelle physique et dans quel but?

## Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

Exemple en optique

Exemple en acoustique

Modèles utilisés pour les simulations

Modélisation

physique et applications

multimédias

Conclusions

Donc concevoir des applications multimédias demande :

- de l'imagination afin de réaliser des environnements visuels et sonores de haute qualité ;
- une expertise en programmation pour optimiser la simulation (minimiser le temps de calcul et la mémoire en augmentant la précision) ;
- une connaissance de la physique afin de conférer à ces applications le réalisme requis pour satisfaire notre cerveau.

# Quelle physique et dans quel but?

## Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

Exemple en optique

Exemple en acoustique

Modèles utilisés pour les simulations

Modélisation

physique et applications

multimédias

Conclusions

Exemples d'applications multimédias où la physique joue un rôle très important :

- jeux de balle (billard, tennis, golf, etc.) ;
- jeux d'action et simulateurs (avions, autos, bateaux, etc.) ;
- films (environnements visuels incluant déplacement des nuages, mouvement des vagues, oscillation des arbres et environnements sonores tels les sirènes d'auto-patrouille, le vent).

La trajectoire de solides (balles, bolides, etc.) est dictée par la physique mécanique. Le comportement des nuages et des vagues est en partie contrôlé par la mécanique des fluides. Les effets sonores et visuels dérivent de l'acoustique et de l'optique (physique des ondes).

# Quelle physique et dans quel but?

## Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

Exemple en optique

Exemple en acoustique

Modèles utilisés pour les simulations

Modélisation

physique et applications

multimédias

Conclusions

Les moteurs de simulation physique utilisés par les applications multimédias font face à trois contraintes majeures :

- la précision requise pour les simulations ;
- les besoins élevés en stockage d'information (mémoire vive ou stockage permanent) ;
- la vitesse de réponse du modèle.

Ces trois contraintes entrent généralement en conflit et chaque application multimédia doit vivre avec ses choix de compromis.

# Quelle physique et dans quel but?

## Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

Exemple en optique

Exemple en acoustique

Modèles utilisés pour les simulations

Modélisation

physique et applications

multimédias

Conclusions

Quelles étapes doit-on suivre pour être à même de faire ces compromis?

- Il faut premièrement choisir les processus physiques importants pour le réalisme de la simulation.
- Il faut ensuite apprendre les méthodes numériques (et leurs limites de validité) qui permettent de résoudre numériquement les équations de la physique associées à ces processus.
- Il faut finalement programmer ces méthodes et déterminer leurs précisions pour un temps de simulation donné.

Ce sont exactement les mêmes étapes que suivent les chercheurs lorsqu'ils tentent de résoudre des problèmes de physique ou d'ingénierie.



# Quelle physique et dans quel but?

Quelle physique, et  
dans quel but?

Exemple en  
mécanique et  
dynamique des  
solides

Exemple en optique

Exemple en  
acoustique

Modèles utilisés pour  
les simulations

Modélisation

physique et  
applications

multimédias

Conclusions

Les buts de ce cours sont donc de :

- revisiter les lois de la physique qu'il est important de connaître pour améliorer le réalisme d'applications multimédia ;
- proposer des algorithmes numériques qui permettront de résoudre efficacement les problèmes de physique que vous pourriez retrouver dans des applications multimédia.

# Quelle physique et dans quel but?

Quelle physique, et  
dans quel but?

Exemple en  
mécanique et  
dynamique des  
solides

Exemple en optique

Exemple en  
acoustique

Modèles utilisés pour  
les simulations

Modélisation

physique et  
applications

multimédias

Conclusions

En général :

- on se limitera à des méthodes de résolution relativement simples, mais très robustes ;
- cependant, lorsque requis, on discutera aussi des méthodes numériques utilisées pour résoudre des problèmes plus complexes.

# Exemple en mécanique et dynamique des solides

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

Exemple en optique

Exemple en acoustique

Modèles utilisés pour les simulations

Modélisation

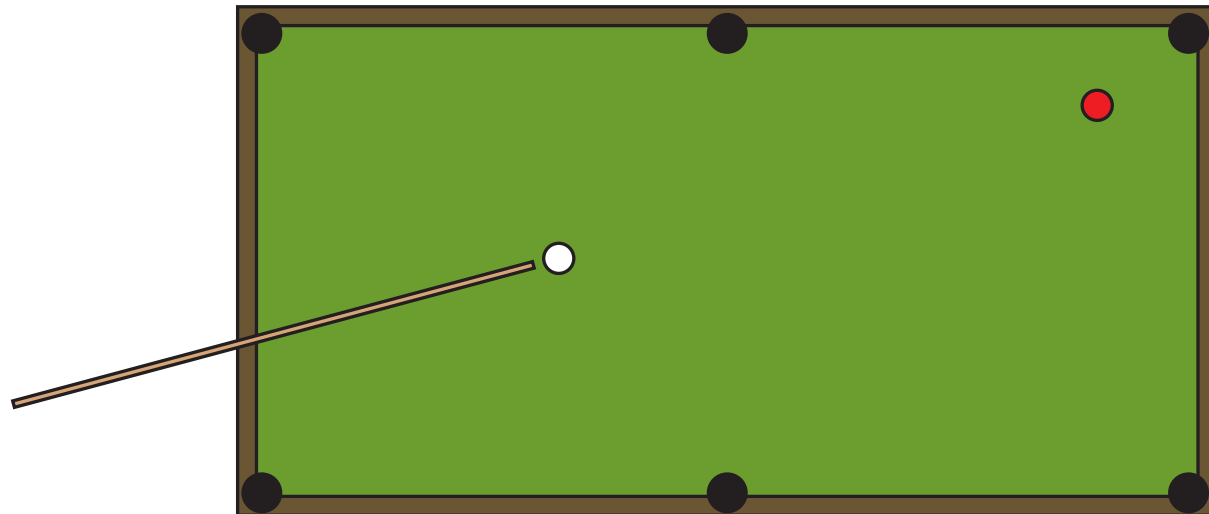
physique et applications

multimédias

Conclusions

Un des jeux qui semble, de prime abord, simple à réaliser est le jeu de billard américain.

*Billard vu du haut*



Ici, la première étape est d'analyser le jeu et de proposer un algorithme de simulation.

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

Exemple en optique

Exemple en acoustique

Modèles utilisés pour les simulations

Modélisation

physique et applications

multimédias

Conclusions

## Exemple d'algorithme de simulation.

1. Simuler la queue qui frappe la boule blanche en direction d'un des côtés du jeu ou d'une autre boule.
2. Déterminer les vitesses initiales linéaires et angulaires de la blanche après la collision.
3. Tracer la trajectoire de la blanche jusqu'à ce qu'elle subisse une collision avec un des côtés du jeu (aller à 4) ou une autre boule (aller à 5), qu'elle entre dans une des poches (arrêt de la simulation) ou qu'elle s'arrête sans collision (on retourne à l'étape 2).
4. Déterminer les nouvelles vitesses initiales linéaires et angulaires de la blanche après la collision et on retourne à 3.
5. Déterminer les nouvelles vitesses initiales linéaires et angulaires de la blanche et de la boule touchée.

## Exemple en mécanique et dynamique des solides

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

Exemple en optique

Exemple en acoustique

Modèles utilisés pour les simulations

Modélisation physique et applications multimédias

Conclusions

6. Tracer la trajectoire de toutes les boules en mouvement jusqu'à ce qu'une d'entre elles subisse une collision avec un côté (aller à 7) ou une autre boule (aller à 8), entre dans une des poches (arrêt de la simulation pour cette boule et retour à 6) ou s'arrête (arrêt de la simulation pour cette boule et retour à 6). Si toutes les boules sont au repos, on retourne à 1.
7. Déterminer les nouvelles vitesses initiales linéaires et angulaires de la boule ayant subi la collision et on retourne à 6.
8. Déterminer les nouvelles vitesses initiales linéaires et angulaires des boules impliquées dans la collision et on retourne à 6.

# Exemple en mécanique et dynamique des solides

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

Exemple en optique

Exemple en acoustique

Modèles utilisés pour les simulations

Modélisation

physique et applications

multimédias

Conclusions

Ensuite, les différentes étapes à suivre et qui mèneront à la programmation du jeu sont :

- acquérir les données pour ce jeu ;
- écrire les équations à résoudre et les contraintes appliquées à ces équations ;
- choisir les méthodes de résolution et les programmer ;
- valider les solutions et corriger les équations ou améliorer les méthodes de solution si requis ;
- finaliser la mise en place du jeu et le commercialiser.

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en  
mécanique et  
dynamique des  
solides

Exemple en optique

Exemple en  
acoustique

Modèles utilisés pour  
les simulations

Modélisation

physique et  
applications

multimédias

Conclusions

Acquisition des données (principales caractéristiques du billard américain) :

- les boules ont un rayon de 2.85 cm et une masse de 180 g ;
- la queue a une longueur 1.3 m et une masse de 0.6 kg ;
- la surface du billard de  $2.54 \times 1.27 \text{ m}^2$  est recouverte d'un feutre vert et entourée de bandes de caoutchouc réfléchissantes ;
- les poches d'entrée situées aux quatre coins de la surface de jeu ont une ouverture de 14 cm (ouverture diagonale à 45 degrés par rapport aux bandes) et celles situées sur les côtés (au centre) ont une ouverture de 15 cm (parallèle aux bandes).

# Exemple en mécanique et dynamique des solides

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

Exemple en optique

Exemple en acoustique

Modèles utilisés pour les simulations

Modélisation

physique et applications

multimédias

Conclusions

Acquisition des données (autres caractéristiques moins évidentes) :

- coefficients de réflexion lors de collisions queue-boule, boule-boule et boule-côté ;
- coefficients de frottement queue-boule, boule-tapis et boule-côté ;
- position du joueur et intensité et direction de la force appliquée sur la queue ;
- éclairage de la scène, position de l'observateur, bruit ambiant, sons reliés aux collisions ;
- ...



# Exemple en mécanique et dynamique des solides

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

Exemple en optique

Exemple en acoustique

Modèles utilisés pour les simulations

Modélisation

physique et applications

multimédias

Conclusions

Équations à résoudre et contraintes :

- équations permettant de décrire le mouvement des différentes boules et de la queue sur le billard ;
- choix des contraintes de simulation (entrée d'une boule dans un panier, possibilité pour une boule de s'élever au-dessus du tapis, etc.) ;
- ombres, atténuation du son d'une collision en fonction de la vitesse des boules ;
- ...

# Exemple en mécanique et dynamique des solides

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

Exemple en optique

Exemple en acoustique

Modèles utilisés pour les simulations

Modélisation

physique et

applications

multimédias

Conclusions

Le choix des méthodes de résolution dépend de :

- complexité des équations à résoudre ;
- précision désirée ;
- rapidité requise pour la simulation.

La programmation s'avère en général la partie la plus simple de processus. La validation et la qualification du logiciel sont souvent les étapes les plus ardues (on connaît rarement la solution exacte et on doit se fier à la logique et à notre expérience).

# Exemple en mécanique et dynamique des solides

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

Exemple en optique

Exemple en acoustique

Modèles utilisés pour les simulations

Modélisation

physique et applications

multimédias

Conclusions

Par exemple, pour une simulation simplifiée sans effet optique ou acoustique, on peut utiliser les approximations suivantes.

- Les boules ne possèdent pas de mouvement de rotation (vitesse angulaire nulle).
- Lors de collision entre la queue et la blanche, une boule et un coté et entre deux boules, une partie de l'énergie cinétique est perdue (transformée en chaleur). Cette perte d'énergie est représentée par un coefficient de restitution différent pour chaque type de collision.
- Les boules glissent sans rotation sur la table avec un coefficient de frottement constant.
- Les boules s'arrêtent dès qu'elles ont atteint une vitesse inférieure à une valeur prédéterminée.

# Exemple en mécanique et dynamique des solides

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

Exemple en optique

Exemple en acoustique

Modèles utilisés pour les simulations

Modélisation

physique et applications

multimédias

Conclusions

## Améliorations possibles.

- En plus de glisser sur la table, la boule peut aussi rouler. Ainsi, même si sa vitesse angulaire initiale est nulle, après avoir parcouru une certaine distance, elle ne glissera plus, mais ne fera que rouler. Il faut alors introduire un second coefficient de frottement pour le roulement. Les trajectoires demeureront cependant linéaires.
- La queue peut donner un mouvement de rotation initiale à la boule, de même que les collisions avec les côtés et entre les boules. Les boules peuvent alors se déplacer selon des trajectoires curvilignes.
- La queue soulève la boule et lui transmet une vitesse verticale. Il faut alors ajouter une composante verticale à l'analyse des collisions et prendre en compte les collisions entre la surface du billard et les boules.

# Exemple en mécanique et dynamique des solides

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

Exemple en optique

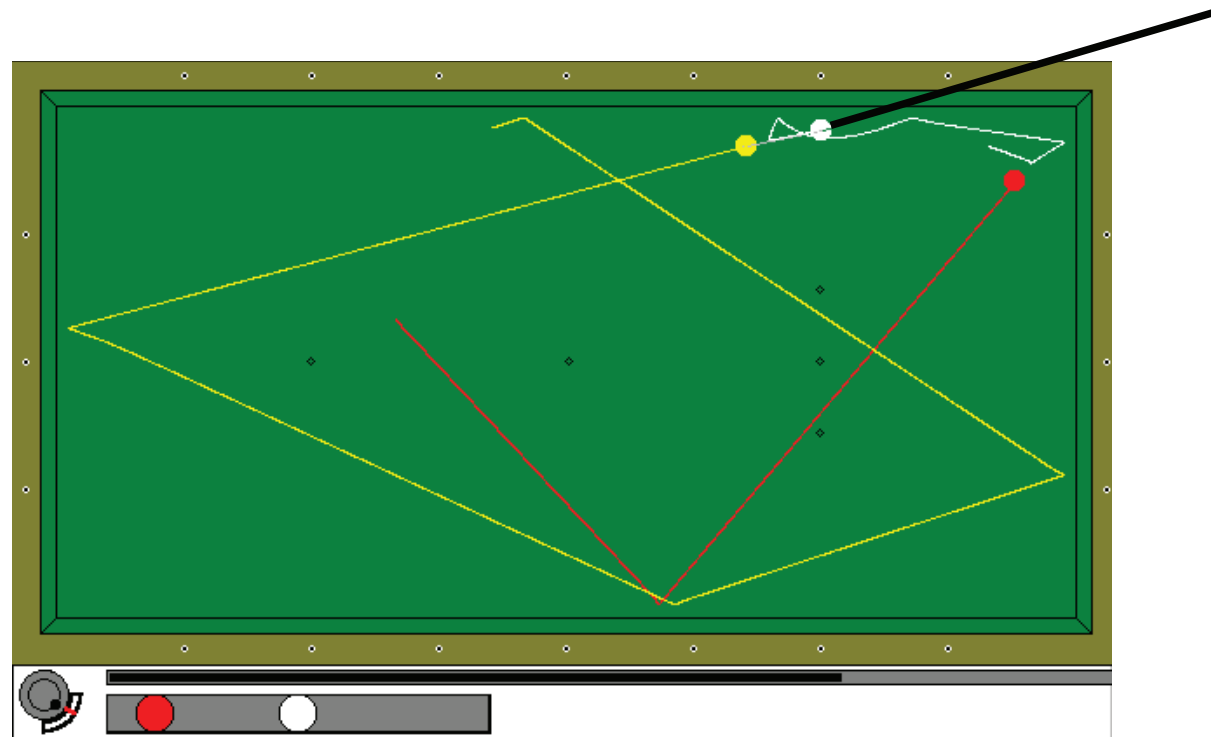
Exemple en acoustique

Modèles utilisés pour les simulations

Modélisation physique et applications multimédias

Conclusions

Exemple de trajectoire curviligne d'une boule sur un billard.



## Exemple en optique

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

Exemple en optique

Exemple en acoustique

Modèles utilisés pour les simulations

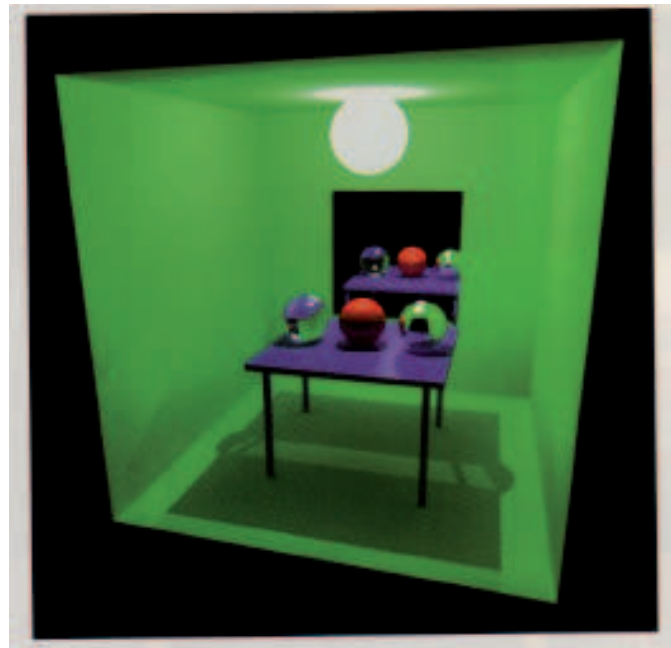
Modélisation

physique et applications

multimédias

Conclusions

Considérons une pièce carrée éclairée par une ampoule électrique située au plafond directement au-dessus d'une table et vue par un observateur adossé à un des murs de la pièce.



Générer numériquement cette image de synthèse peut sembler trivial, cependant c'est loin d'être le cas.

## Exemple en optique

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

**Exemple en optique**

Exemple en acoustique

Modèles utilisés pour les simulations

Modélisation

physique et applications

multimédias

Conclusions

On peut d'ailleurs se demander à quoi peut servir une telle reconstruction lorsqu'on peut prendre une photo numérique de beaucoup plus haute résolution en utilisant un simple téléphone intelligent. En réponse à ces questions on peut penser que :

- la photo haute résolution requiert un espace de stockage beaucoup plus important que le programme ayant servi à générer l'image de synthèse ;
- le programme de génération d'image de synthèse devrait fonctionner que les murs soient verts ou rouges alors que pour la photo, on devra repeindre les murs et générer un autre fichier numérique ;
- le programme de génération d'images de synthèse peut aussi faire évoluer dans le temps la scène observée en générant une série d'images numériques alors que les photographies sont statiques.



## Exemple en optique

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

**Exemple en optique**

Exemple en acoustique

Modèles utilisés pour les simulations

Modélisation

physique et applications

multimédias

Conclusions

La génération d'images est toutefois très complexe, car elle doit tenir compte de multiples effets incluant :

- l'atténuation de l'intensité lumineuse en fonction de la distance entre la source et l'observateur ;
- les réflexions de la lumière sur la table, les murs, le plancher et autres objets présents dans la scène à simuler (ombres, éblouissements, réflexions diffuses et partielles) ;
- la réfraction et l'atténuation à travers les objets transparents et semi-transparentes.



## Exemple en optique

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

**Exemple en optique**

Exemple en acoustique

Modèles utilisés pour les simulations

Modélisation

physique et applications

multimédias

Conclusions

Pour construire une image de synthèse simplifiée, on peut utiliser une série d'approximations qu'il sera ensuite possible de raffiner. Ainsi on peut supposer en première approximation que :

- la source de lumière est ponctuelle (ici, située directement au plafond) ;
- tous les objets dans la pièce sont opaques (la lumière ne traverse pas les objets) et réfléchissent comme un miroir la lumière les atteignant ;
- seulement la lumière transmise directement ou réfléchie une fois est perçue par l'observateur.

Nous ne verrons alors que des points lumineux ou des lignes lumineuses sur les différentes surfaces réfléchissantes, le reste de la scène se retrouvant dans l'obscurité.



## Exemple en optique

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

**Exemple en optique**

Exemple en acoustique

Modèles utilisés pour les simulations

Modélisation

physique et applications

multimédias

Conclusions

Quelques améliorations possibles.

- Utiliser des coefficients de réflexion qui contiennent une composante de réflexion directe (miroir) et une composante diffuse (on voit des surfaces au lieu de lignes ou points lumineux, même si certaines régions d'ombre restent dans le noir absolu).
- Considérer les réflexions multiples (les régions d'ombre et de pénombre apparaissent).

# Exemple en optique

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

**Exemple en optique**

Exemple en acoustique

Modèles utilisés pour les simulations

Modélisation

physique et

applications

multimédias

Conclusions



# Exemple en optique

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

**Exemple en optique**

Exemple en acoustique

Modèles utilisés pour les simulations

Modélisation

physique et applications

multimédias

Conclusions

On peut aussi :

- simuler le mouvement des cheveux sous l'effet du vent ou d'un mouvement de la tête (dynamique des cheveux sous l'effet d'une force) ;
- tenir compte le spectre de la lumière pour l'ampoule électrique (intensité des couleurs émises dépend de la fréquence) et de la sensibilité de l'oeil en fonction des fréquences ;
- simuler la réflexion de la lumière sur les particules en suspension dans l'air (poussière, neige, bruine, brouillard).

# Exemple en optique

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

**Exemple en optique**

Exemple en acoustique

Modèles utilisés pour les simulations

Modélisation

physique et

applications

multimédias

Conclusions



# Exemple en optique

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

**Exemple en optique**

Exemple en acoustique

Modèles utilisés pour les simulations

Modélisation physique et applications multimédias

Conclusions





## Exemple en optique

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

Exemple en optique

Exemple en acoustique

Modèles utilisés pour les simulations

Modélisation

physique et applications

multimédias

Conclusions

Si des objets transparents sont présents dans la scène, les effets optiques dus à la diffraction doivent aussi être considérés.



## Exemple en acoustique

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

Exemple en optique

Exemple en acoustique

Modèles utilisés pour les simulations

Modélisation physique et applications multimédias

Conclusions

Traiter le son à mesure qu'il se propage dans l'air peut aussi sembler simple. Une source sonore immobile et ponctuelle ayant une seule fréquence dans un milieu sans obstacle se propage en ligne droite et son intensité est atténuée en fonction de la distance. Les complications apparaissent dès que l'on insère des obstacles, que nos sources ont des fréquences multiples ou que la source est en mouvement.



# Exemple en acoustique

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

Exemple en optique

Exemple en acoustique

Modèles utilisés pour les simulations

Modélisation physique et applications multimédias

Conclusions

## Simulation simple.

Pour simuler la perception par un chauffard de la sirène d'une auto-patrouille le poursuivant sur une autoroute droite pavée en plein désert. il faudra tenir compte principalement de :

- la distance de l'auto-patrouille pour déterminer l'intensité du son transmis directement ;
- la réflexion du son sur la chaussée (ici supposée rigide avec réflexion presque sans atténuation) ;
- la vitesse relative entre l'ambulance et votre auto (fréquence sonore et effet Doppler) ;
- l'atténuation du son par la cabine de l'auto.

## Exemple en acoustique

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

Exemple en optique

Exemple en acoustique

Modèles utilisés pour les simulations

Modélisation

physique et applications multimédias

Conclusions

Quelques améliorations possibles lorsque la poursuite se déroule au Québec sur une chaussée enneigée pleine de virages et en forêt.

- tenir compte de l'atténuation du son à travers la forêt en plus de considérer les réflexions sur les arbres entourant la route et sur la chaussée enneigée.

La prise en compte de l'effet Doppler sera d'autant plus compliquée qu'elle dépend de la vitesse relative des voitures et le son transmis directement n'aura pas la même fréquence que le son réfléchi.

# Modèles utilisés pour les simulations

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

Exemple en optique

Exemple en acoustique

Modèles utilisés pour les simulations

Modélisation physique et applications multimédias  
Conclusions

De la **physique classique** de base aux modèles utilisés pour la simulation. Au niveau microscopique :

- Toute la matière est composée de particules élémentaires qui interagissent entre elles.
- Ces particules élémentaires (électrons, noyaux, photons, atomes, molécules) sont considérées comme étant ponctuelles, c'est-à-dire qu'elles ont des dimensions très faibles par rapport au monde macroscopique.
- Elles sont caractérisées par leur position dans l'espace  $\vec{r}(t)$ , leur quantité de mouvement  $\vec{p}(t)$ , leur masse  $m$ , leur charge  $q$ , leur moment angulaire  $\vec{L}(t)$ , etc.
- En optique (photons et lumière), c'est généralement une interprétation ondulatoire qu'il faut utiliser et les particules n'occupent plus de positions déterminées, mais sont représentées par un champ distribué dans l'espace.

# Modèles utilisés pour les simulations

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

Exemple en optique

Exemple en acoustique

**Modèles utilisés pour les simulations**

Modélisation

physique et applications

multimédias

Conclusions

Au niveau macroscopique :

- nous ne considérerons plus des particules isolées, mais des particules liées les unes aux autres par les forces atomiques ou nucléaires (les objets étendus) ;
- dans la majorité des cas, nous utiliserons toujours une interprétation classique de la physique (sauf pour l'optique où la physique des ondes sera aussi utilisée) ;
- suivant l'intensité des forces atomiques, nous serons en présence de solides non déformables (ou difficilement déformables), de solides déformables, de liquides ou de gaz.

# Modèles utilisés pour les simulations

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

Exemple en optique

Exemple en acoustique

**Modèles utilisés pour les simulations**

Modélisation physique et applications multimédias  
Conclusions

Traiter le comportement de chacune des particules composant ces états de la matière de façon déterministe étant impossible (à cause du nombre de particules et de la complexité des forces agissant entre ces particules) nous devons plutôt utiliser des méthodes approximatives qui décrivent le comportement global des solides, liquides et gaz sous l'effet de forces externes.

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

Exemple en optique

Exemple en acoustique

**Modèles utilisés pour les simulations**

Modélisation physique et applications multimédias  
Conclusions

## Modélisation des solides

Dans le cas des solides, les interactions entre les constituants de la matière sont tellement fortes que l'on doit considérer l'ensemble des constituants comme faisant partie d'un tout. On est alors en présence d'un solide étendu qui est caractérisé par une forme donnée de dimensions et de masse finies.

# Modèles utilisés pour les simulations

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

Exemple en optique

Exemple en acoustique

**Modèles utilisés pour les simulations**

Modélisation physique et applications multimédias  
Conclusions

En général, on caractérisera ces objets par la variable  $\rho(\vec{r})$  qui représente la distribution de masse volumique ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) dans l'espace pour ce solide et  $\mathcal{V}$  son extension spatiale. La notation que nous adopterons est la suivante

$$V = \int_{\mathcal{V}} d^3 r$$

où  $V$  est le volume de l'objet ( $\text{m}^3$ ). La masse de l'objet ( $\text{kg}$ ) est donnée par la relation

$$m = \int_{\mathcal{V}} \rho(\vec{r}) d^3 r$$

# Modèles utilisés pour les simulations

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

Exemple en optique

Exemple en acoustique

**Modèles utilisés pour les simulations**

Modélisation

physique et applications multimédias

Conclusions

Cette masse est reliée à l'inertie de notre objet sous l'action d'une force (qu'elle soit gravitationnelle ou externe).

- Pour les solides, on supposera que l'application d'une force externe sur l'objet ne le déforme pas (ou très peu), l'effet de la force se répercutant uniformément sur chacun de ses composants.

Ici pour étudier ces problèmes nous utiliserons la mécanique des milieux non déformables qui s'apparente à la mécanique des particules ponctuelles avec en plus le traitement du mouvement de rotation de l'objet résultant de son extension spatiale.



# Modèles utilisés pour les simulations

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

Exemple en optique

Exemple en acoustique

**Modèles utilisés pour les simulations**

Modélisation physique et applications multimédias  
Conclusions

## Un exemple de solide : la boule de billard.

Une boule de billard (masse volumique uniforme délimitée dans l'espace par une région sphérique dont la position peut varier en fonction du temps) qui tombe sur un plancher est très peu déformée par la collision. Les forces appliquées par le plancher sur le point de contact de la boule se répercutent presque immédiatement à toutes les particules de la boule. Ainsi, la collision boule/plancher pourra être assimilée à une collision instantanée entre un objet ponctuel et une surface.

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

Exemple en optique

Exemple en acoustique

**Modèles utilisés pour les simulations**

Modélisation physique et applications multimédias

Conclusions

## Modélisation des fluides

Dans le cas des liquides (fluides), les interactions entre les constituants de la matière sont beaucoup plus faibles que pour les solides. En absence de forces externes suffisamment faibles, ces liquides maintiendront leurs formes et pourront être considérés comme occupant eux aussi une région de forme constante  $\mathcal{V}$  dans l'espace contenant une distribution de masse  $\rho$  uniforme. Cependant, en présence de forces externes plus fortes les liquides peuvent se déformer. La masse totale ne changeant pas, ce qui changera c'est la distribution de cette masse dans l'espace.

# Modèles utilisés pour les simulations

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

Exemple en optique

Exemple en acoustique

**Modèles utilisés pour les simulations**

Modélisation physique et applications multimédias  
Conclusions

La simulation du comportement des liquides en présence de forces externes très importantes est le domaine de la physique des fluides.

- Ici, on ne considère plus le liquide comme étant une entité isolée et statique.
- On utilise plutôt la notion de champ qui représente une distribution dans l'espace et dans le temps de matière  $\rho(\vec{r}, t)$  sans frontière fixe.

# Modèles utilisés pour les simulations

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

Exemple en optique

Exemple en acoustique

**Modèles utilisés pour les simulations**

Modélisation physique et applications multimédias

Conclusions

- Les équations de transport (Navier-Stokes) qui contrôlent la dynamique de ce fluide sont dérivées de la physique statistique en utilisant une théorie du champ moyen qui permet de simuler de façon approximative les interactions entre différentes composantes du fluide et entre le fluide et le milieu extérieur.
- On replace donc la description ponctuelle du milieu par une description continue de la matière.

# Modèles utilisés pour les simulations

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

Exemple en optique

Exemple en acoustique

**Modèles utilisés pour les simulations**

Modélisation physique et applications multimédias  
Conclusions

Un exemple de fluide : la goutte d'eau.

- Une goutte de liquide sphérique tombant vers le plancher conservera sa forme tout au long de sa chute (en absence de frottement pouvant la déformer), car la gravité exerce une force uniforme sur chaque atome d'eau constituant cette goutte (cette forme est une sphère, car c'est la géométrie qui minimise l'énergie de la goutte résultant des tensions de surface).
- En réalité, la goutte d'eau sera partiellement déformée par le frottement que l'air exerce sur sa surface (sphère allongée).

# Modèles utilisés pour les simulations

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

Exemple en optique

Exemple en acoustique

**Modèles utilisés pour les simulations**

Modélisation physique et applications multimédias  
Conclusions

- À son arrivée au sol, la force qu'exerce le plancher sur chacune des molécules de la goutte intervient à un moment différent.
- Comme cette force est très supérieure à la force qui maintenait la cohésion de la goutte en chute libre, cette dernière va se déformer, le niveau de déformation étant proportionnel à la vitesse initiale de la goutte et inversement proportionnelle à la force de cohésion.

# Modèles utilisés pour les simulations

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

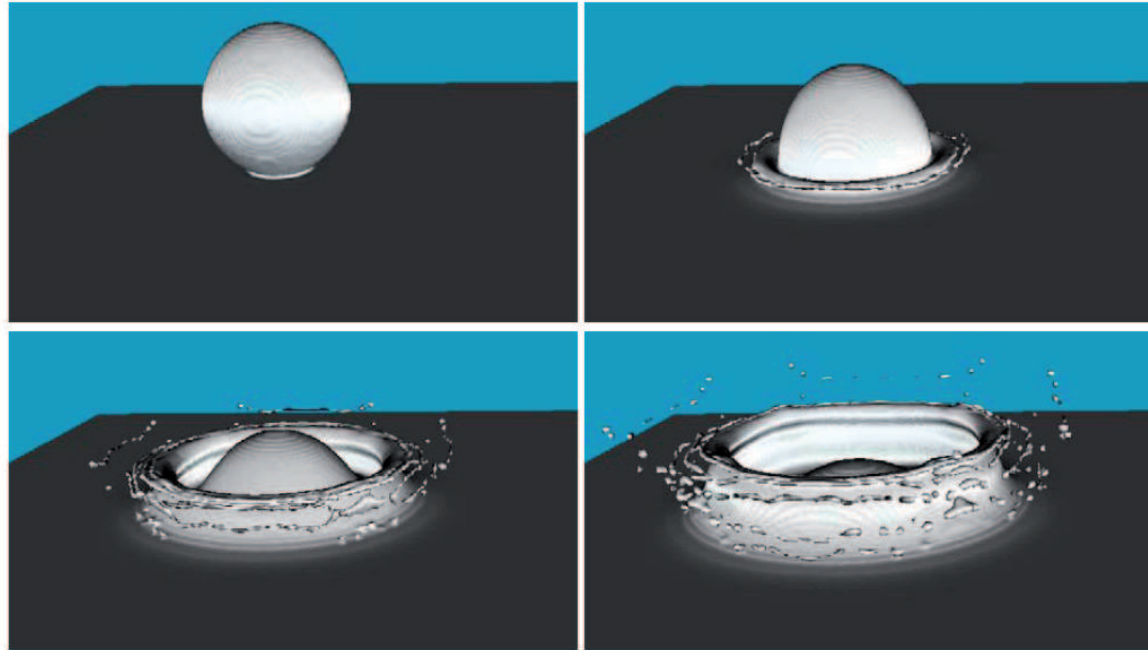
Exemple en optique

Exemple en acoustique

**Modèles utilisés pour les simulations**

Modélisation physique et applications multimédias  
Conclusions

## Chute d'une goutte d'eau



Référence : <http://www.lmm.jussieu.fr/~zaleski/gouttes2.html>

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

Exemple en optique

Exemple en acoustique

**Modèles utilisés pour les simulations**

Modélisation physique et applications multimédias  
Conclusions

## Ondes à la surface d'un fluide

- Si une force s'exerce à la surface d'un fluide, des déformations périodiques de la surface du fluide peuvent apparaître donnant naissance à des vagues.
- Ces vagues correspondent à des ondes transverses, c'est-à-dire que la déformation de la surface du liquide est perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde.

Dans ces cas, on se limitera souvent au traitement de la surface du liquide et au lieu d'utiliser la physique des fluides pour décrire l'ensemble du milieu on utilisera plutôt la physique des ondes pour décrire le comportement de la surface limitant le milieu.



# Modèles utilisés pour les simulations

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

Exemple en optique

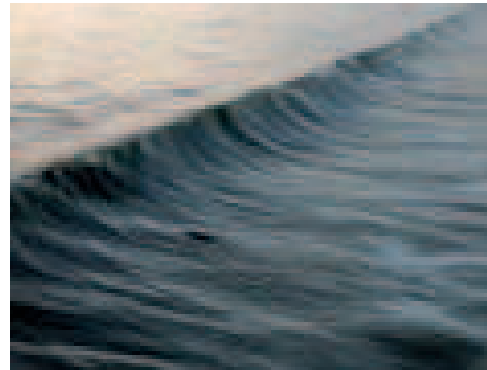
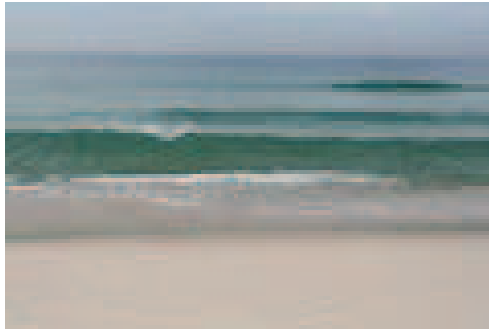
Exemple en acoustique

**Modèles utilisés pour les simulations**

Modélisation physique et applications multimédias

Conclusions

## Exemples de vagues



## Voir aussi :

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Onde>

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Tsunami>

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

Exemple en optique

Exemple en acoustique

**Modèles utilisés pour les simulations**

Modélisation physique et applications multimédias  
Conclusions

## Modélisation des gaz

Les gaz sont des milieux dans lesquels les interactions entre les particules sont encore plus faibles que dans les fluides. Deux options sont alors envisageables pour effectuer de telles simulations. La première est déterministe et la seconde stochastique.

# Modèles utilisés pour les simulations

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

Exemple en optique

Exemple en acoustique

**Modèles utilisés pour les simulations**

Modélisation physique et applications multimédias  
Conclusions

- On peut décider d'utiliser la mécanique des fluides cependant, elle doit maintenant être couplée fortement à la thermodynamique. C'est ce qui est souvent fait en météorologie pour modéliser les nuages.
- La seconde méthode est statistique et consiste à résoudre l'équation de transport des particules en utilisant des modèles Monte-Carlo.

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

Exemple en optique

Exemple en acoustique

**Modèles utilisés pour les simulations**

Modélisation physique et applications multimédias  
Conclusions

## Ondes de pression dans un gaz

- Les gaz étant compressibles, ils permettent aussi facilement le transport d'ondes de compression (en fait, ceci est aussi vrai pour les solides et les liquides).
- Dans ce cas, on se simplifie la vie en utilisant la physique acoustique qui décrit la propagation d'onde de pression dans différents milieux.

On évite ainsi de traiter individuellement les différentes particules mises en mouvement par l'onde de pression en n'examinant que leur mouvement collectif.

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

Exemple en optique

Exemple en acoustique

**Modèles utilisés pour les simulations**

Modélisation physique et applications multimédias  
Conclusions

## Modélisation de la lumière

La lumière est constituée de particules de masse nulle appelées photons. Ces particules interagissent peu entre elles par collisions directes. Les photons véhiculent aussi une combinaison de champs électriques et magnétiques qui sont couplés sous la forme d'une onde électromagnétique.

# Modèles utilisés pour les simulations

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

Exemple en optique

Exemple en acoustique

**Modèles utilisés pour les simulations**

Modélisation physique et applications multimédias

Conclusions

- Dans le vide (ou dans un matériel transparent), on peut supposer que les photons se comportent comme des particules libres qui voyagent en ligne droite sans interaction. Cependant, leur nature ondulatoire apparaît à l'interface de deux milieux ou lorsque des obstacles (de dimensions comparables ou plus faibles que la longueur d'onde des photons) s'interposent.
- Ce comportement ondulatoire se détecte indirectement lors de la diffraction et directement par les effets d'interférence. Notez que lorsque l'on parle de photons, on ne se limite pas exclusivement à la lumière, mais on peut généraliser notre interprétation à toutes les ondes électromagnétiques incluant les micro-ondes et les ondes radio.

# Modèles utilisés pour les simulations

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

Exemple en optique

Exemple en acoustique

Modèles utilisés pour les simulations

Modélisation physique et applications multimédias  
Conclusions



Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

Exemple en optique

Exemple en acoustique

Modèles utilisés pour les simulations

Modélisation physique et applications multimédias

Conclusions

Quels modèles physiques doit-on ou peut-on choisir pour produire des applications multimédias réalistes ?

Comme on peut le constater, le choix du modèle de simulation à utiliser pour différentes applications multimédias n'est pas toujours évident. De plus, une même simulation peut impliquer une combinaison de traitements différents.



Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

Exemple en optique

Exemple en acoustique

Modèles utilisés pour les simulations

Modélisation physique et applications multimédias

Conclusions

En fait, la contrainte principale associée à ces applications est l'utilisation de l'ordinateur et les conséquences qui en découlent :

- temps de calcul ;
- précision de la résolution numérique sur ordinateur ;
- résolution de la solution requise (principalement la résolution spatiale associée aux effets visuels, mais aussi la résolution temporelle pour les objets en mouvement).

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

Exemple en optique

Exemple en acoustique

Modèles utilisés pour les simulations

Modélisation physique et applications multimédias

Conclusions

Chaque application nécessitera donc une série d'approximations qui seront choisies afin de minimiser le temps de calcul tout en optimisant la précision et la résolution de la solution. Par exemple :

- nous traiterons la majorité des cas impliquant la lumière en utilisant l'optique géométrique qui combine ses propriétés d'ondes et de particules ;
- la trajectoire des solides dans l'espace est généralement simplifiée en utilisant des trajectoires ponctuelles, les effets de rotations étant traités de façon indépendante.

# Conclusions

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

Exemple en optique

Exemple en acoustique

Modèles utilisés pour les simulations

Modélisation physique et applications multimédias

Conclusions

Pour créer des applications multimédia réalistes du point de vue physique, il faut donc :

- connaître les équations mathématiques qui régissent le comportement physique des objets ou des phénomènes que nous désirons simuler ;
- programmer des méthodes de simulation précises, rapides et faiblement consommatrices de mémoire, qui permettent de résoudre numériquement ces équations et de les intégrer dans des moteurs de simulation physique ;
- intégrer ces moteurs à un environnement multimédia permettant de suivre une scène en temps réel (jeux) ou image par image (film).

# Conclusions

Quelle physique, et dans quel but?

Exemple en mécanique et dynamique des solides

Exemple en optique

Exemple en acoustique

Modèles utilisés pour les simulations

Modélisation

physique et applications

multimédias

Conclusions

Dans le prochain chapitre, nous nous intéresserons aux propriétés dynamiques des solides, incluant :

- Objets ponctuels et étendus
- Matrices de rotation
- Équations de la dynamique
- Centre de masse
- Moment d'inertie