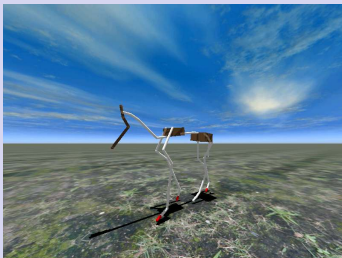


# Animation 3D en Temps-Réel de Quadrupèdes par Simulation Physique



Stage Master 2 Imagerie, Vision, Robotique

Étudiant : **Grégori Clauzel** — Encadrant : **Lionel Reveret**

- 1 Introduction
- 2 État de l'art en contrôle de simulation physique
- 3 Modèle physique de quadrupèdes
- 4 Méthodes de contrôle
- 5 Contrôleurs expérimentés
- 6 Résultats
- 7 Conclusion

# Introduction

## Cadre

- Animation 3D de Quadrupèdes
- Temps-Réel
- Dynamique -> Réactif

## Objectif

- Pas de motion capture ou de positions clés  
-> Physique uniquement
- Contrôleur minimal intuitif

- 1 Introduction
- 2 État de l'art en contrôle de simulation physique
  - Capture de mouvement
  - Positions clés
  - Entièrement physique
- 3 Modèle physique de quadrupèdes
- 4 Méthodes de contrôle
- 5 Contrôleurs expérimentés
- 6 Résultats
- 7 Conclusion

# Capture de mouvement

Zordan et al., "Dynamic Response for Motion Capture Animation,"  
*ACM SIGGRAPH*, 2005.

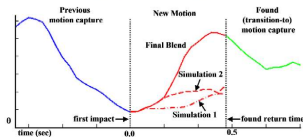
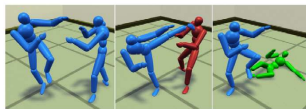


FIG.: Valeur en y du joint de la taille, avant, pendant, et après l'interaction

- 1 Capture de mouvement
- 2 Interaction
- 3 Simulation physique
- 4 Capture de mouvement

- Pic de calcul lors de la simulation physique
- Pas temps-réel
- Nombre d'animations limité
- Capture de mouvements difficile pour les animaux

# Positions clés

Popoviç et al., "Synthesis of Complex Dynamic Character Motion from Simple Animations," *ACM SIGGRAPH*, 2002.

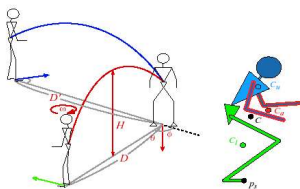


FIG.: Paramètres d'entrée.

- 1 Animations de base paramétrables
- 2 Positions clés
- 3 Optimisation des paramètres par simulation physique

- Très bons résultats
- Très lourds calculs (plusieurs heures)

# Entièrement physique

Van de Panne et al., "Interactive Control For Physically-Based Animation," *ACM SIGGRAPH*, 2000.

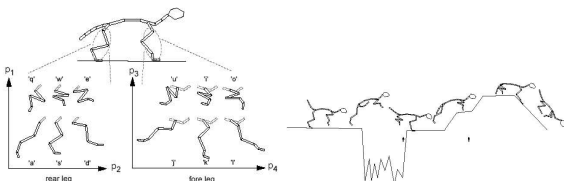


FIG.: Paramétrisation des mouvements du chat et exemple de bonds

- 1 Chaque position affectée à une touche
- 2 Choix par l'utilisateur d'une position à atteindre
- 3 Forces appliquées sur les articulations pour atteindre la position choisie

- Difficile à manipuler (Pire en 3D)

# Ma contribution

## Technologique

Modèle physique en 3D de quadrupèdes

## Recherche

Méthodes et stratégies de contrôle de l'animation



- 1 Introduction
- 2 État de l'art en contrôle de simulation physique
- 3 Modèle physique de quadrupèdes**
  - Le squelette
  - Les articulations
- 4 Méthodes de contrôle
- 5 Contrôleurs expérimentés
- 6 Résultats
- 7 Conclusion

# Modèle physique de quadrupèdes

Revéret et al., "Morphable model of quadrupeds skeletons for animating 3D animals," *ACM SIGGRAPH/Eurographics*, 2005

- Hiérarchie d'os reliés par des articulations
- Même hiérarchie
- Longueur d'os et angles des articulations différents

Moteur physique NovodeX

- Solides articulés

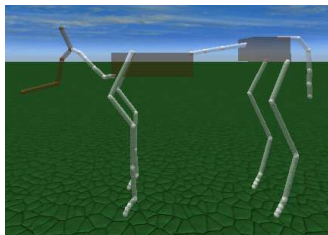
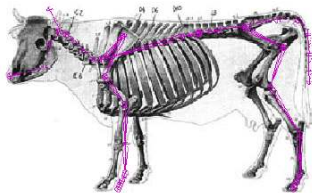


FIG.: D'après Revéret et al., puis implémentation dans le simulateur

# Le squelette

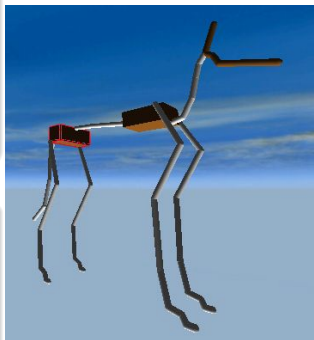
## Les os

- Capsules
- Rayon unique par animaux  
(Hauteur du pelvis) /  $75 + 0,1$
- Densité de 10

Renous, *Locomotion*, Dunod, 1994

-> 3 masses principales

- 20\*HP pour le pelvis (pavé)
- 10\*HP pour le thorax (pavé)
- 6\*HP pour la tête (5 capsules)



# Les articulations

- Beaucoup de liaisons pivots  
-> Axe principal horizontal et perpendiculaire à la colonne
- Plus de degrés de liberté sur la colonne
- Très peu d'informations sur les limites  
-> Dessins d'artistes

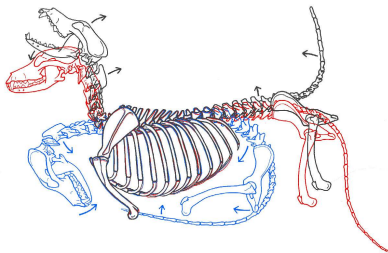


FIG.: Amplitude des articulations de la colonne vertébrale du chien.

# Les 10 animaux

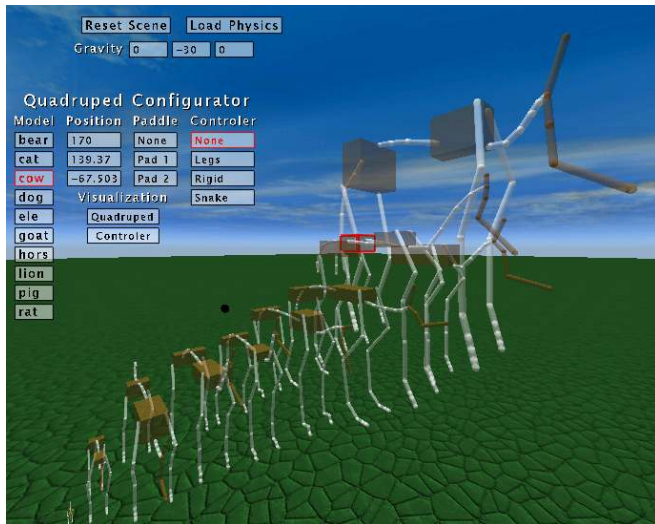


FIG.: Squelettes, du rat à l'éléphant

- 1 Introduction
- 2 État de l'art en contrôle de simulation physique
- 3 Modèle physique de quadrupèdes
- 4 Méthodes de contrôle**
  - Commande angulaire des articulations
  - Les couples de forces, ou segments de contrôle
  - Vecteur d'équilibre
- 5 Contrôleurs expérimentés
- 6 Résultats
- 7 Conclusion

# Commande angulaire des articulations

- Similaire au fonctionnement musculaire
- Utilisée en biomécanique

Mouvements générés par commande angulaire  
-> Cinématique inverse - Optimisation

## Notre utilisation

- Force de rappel
- Ramène en position initiale (au repos)

# Les couples de forces, ou segments de contrôle

- Tirer sur les fils d'un pantin
- Grande liberté de contrôle
- Règle simple à respecter :

$$\sum \text{forces exterieures} = 0$$

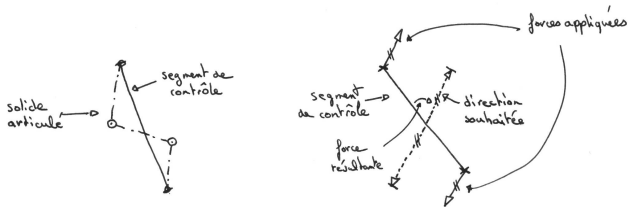


FIG.: Exemple d'application de forces pour tendre la jambe avant.



# Les couples de forces, ou segments de contrôle

Formalisation de cette idée :



**FIG.:** points d'applications d'un segment de contrôle, forces mises en jeu pour le changement d'orientation.

- Autre paramètre : longueur du segment  
-> gestion des postures

# Vecteur d'équilibre

$$\vec{\text{equilibre}} = \vec{\text{gravite}} + \vec{\text{vitesse lineaire}}$$

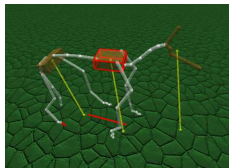


FIG.: Vecteur d'équilibre tracé en jaune pour les 3 masses principales.

Inspiré du ZMP

(Vukobratoviæ et al., "Contribution to the Integrated Control of Artificial Human Gait," *SISY*, 2004)

- 1 Introduction
- 2 État de l'art en contrôle de simulation physique
- 3 Modèle physique de quadrupèdes
- 4 Méthodes de contrôle
- 5 Contrôleurs expérimentés**
  - Rigide
  - Pointe la cible
  - Les postures
  - La laisse
  - Jambe par jambe
  - Par la colonne
- 6 Résultats
- 7 Conclusion

# Rigide

Segment	Direction	force
Queue	$(0,-1,-1)$	1490
Colonne	$(0,0,1)$	2132
Cou	$(0,1,1)$	335
Jambe Arrière	$(0,-1,0)$	2922
Jambe Avant	$(0,-1,0)$	3804

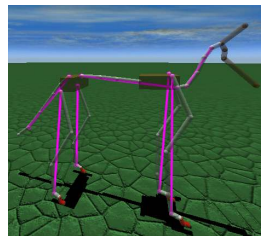
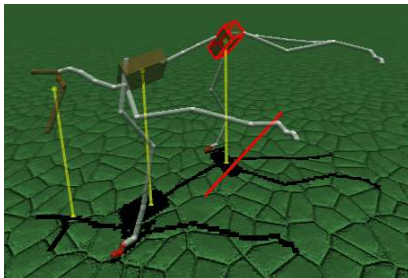


FIG.: Direction et force imposées aux segments de contrôle (tracés en violet).

# Pointe la cible

$$direction = \frac{\overrightarrow{position\ du\ segment - position\ de\ la\ cible}}{\|position\ du\ segment - position\ de\ la\ cible\|}$$



**FIG.:** Le quadrupède se positionne en équilibre sur 2 jambes, et pointe sa cible

# Les postures

Attitude	Jambe Arrière	Jambe Avant
Debout	1,3	1,3
Assis	0,5	1,3
Couché	0,5	0,5

FIG.: Valeurs des longueurs de jambes selon l'attitude.

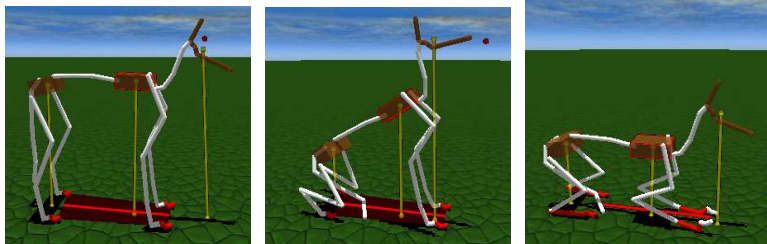


FIG.: Debout, assis et couché.

# La laisse

## Première étape vers la locomotion

- Créer un déséquilibre
  - Accompagner le mouvement
- 
- Rappel angulaire sur la colonne, le cou et les phalanges
  - Deux états pour les jambes :
    - Recherche d'équilibre
    - Pied porteur
- 
- Nécessite un critère pour choisir l'état
  - Difficile à identifier

# Jambe par jambe

- Même contrôleur que la laisse
  - Sauf : état pied porteur remplacé par état de poussée
- 
- Même problème pour définir le critère de changement d'état
  - Effet patinage
  - Marche incontrôlée



# Par la colonne

## Idée : locomotion dirigée par la colonne

- Mouvement de pédalier pour les hanches
  - Pareil pour les épaules, mais en décalage de phase
  - Cycle de marche : 38/30ème de seconde
  - Direction des segments des pattes : vecteur d'équilibre
  - queue, colonne et cou en rappel angulaire
- 
- Segment des pattes avants attaché au genou

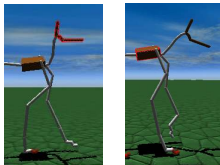
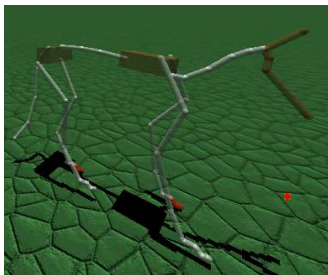


FIG.: Attache à la cheville, attache au genou.

# Par la colonne

## Dans le simulateur

- Perte du déphasage : colonne peu flexible ?
- Bonne allure de marche à l'amble



- 1 Introduction
- 2 État de l'art en contrôle de simulation physique
- 3 Modèle physique de quadrupèdes
- 4 Méthodes de contrôle
- 5 Contrôleurs expérimentés
- 6 Résultats**
- 7 Conclusion

# Tests de réactivité en environnement dynamique



FIG.: Descente, poussée d'un ballon, et résistance face à un bloc projeté sur le quadrupède.

## Pour les montées/descentes

- Capture de l'inclinaison de la surface de contact sous les pieds
- Ajout de forces en conséquence sur thorax et pelvis

- 1 Introduction
- 2 État de l'art en contrôle de simulation physique
- 3 Modèle physique de quadrupèdes
- 4 Méthodes de contrôle
- 5 Contrôleurs expérimentés
- 6 Résultats
- 7 Conclusion**

# Conclusion

- Contrôleur assez réaliste malgré l'approche pantin
  - Colonne, appareil locomoteur : plus convaincant que les jambes
  - Animation temps-réel par la physique possible sur PCs actuels
- 
- Besoin de données réelles pour quête de réalisme
  - Approfondir l'aspect colonne, élément moteur
  - Mieux définir les segments de force
- 
- Présenté au Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris  
-> Utilisation future du logiciel pour le projet ANR KAMELEON