

M1if37 – Animation en synthèse d'image

Contrôle de mouvement

*Nicolas Pronost
Université Lyon 1, LIRIS - SAARA*

Plan du cours

- Partie I : Fondamentaux de l'animation interactive basée physique
- Partie II : Contrôleur de mouvement
- Partie III : Présentation du TP

Partie I : Fondamentaux de l'animation interactive basée physique

Rappels, prérequis

- Vous connaissez ce qu'est
 - Un corps rigide
 - Une articulation et des degrés de liberté
 - Une masse et un centre de masse
 - Un moment d'inertie
 - Une force et un moment

Introduction

- Vous pouvez donc facilement avoir une simulation avec des corps rigides qui se déplacent en fonction des forces et moments appliqués et sont contraints par des articulations
- Les laisser s'animer seuls fonctionnera correctement pour des objets 'passifs'
- Mais pas pour les êtres vivants qui tomberont juste au sol au début de la simulation

Introduction

- Actuellement l'animation basée physique est très utilisée pour la simulation de ces phénomènes passifs
 - Fluide, vêtement, ragdoll (personnage articulé passif), projectile, meuble/décor etc.
 - Dans beaucoup de jeux vidéo par exemple
- Les avancées récentes permettent le contrôle actif de systèmes complexes tels qu'un humain virtuel
 - Amélioration de la robustesse, de la qualité visuelle et de l'utilisabilité

Introduction

- Dans les jeux actuels, les objets sont animés en utilisant un mixe de cinématique et de physique
- La cinématique rejoue et adapte légèrement des mouvements existants
- La physique anime passivement les objets réagissant à une force externe
- Un système fait passer d'un mode à l'autre en fonction d'évènements, de forces, de poses etc.



Introduction

- Dans cette partie du cours, on se place dans le cas où on veut **animer activement** des corps rigides articulés
 - c'est-à-dire que l'on veut appliquer des forces et moments permettant de contrôler aussi précisément que possible le mouvement de ces corps
 - pas encore présent dans les jeux (vous ferez l'expérience vous-même du pourquoi en TP), mais ça y vient

Introduction

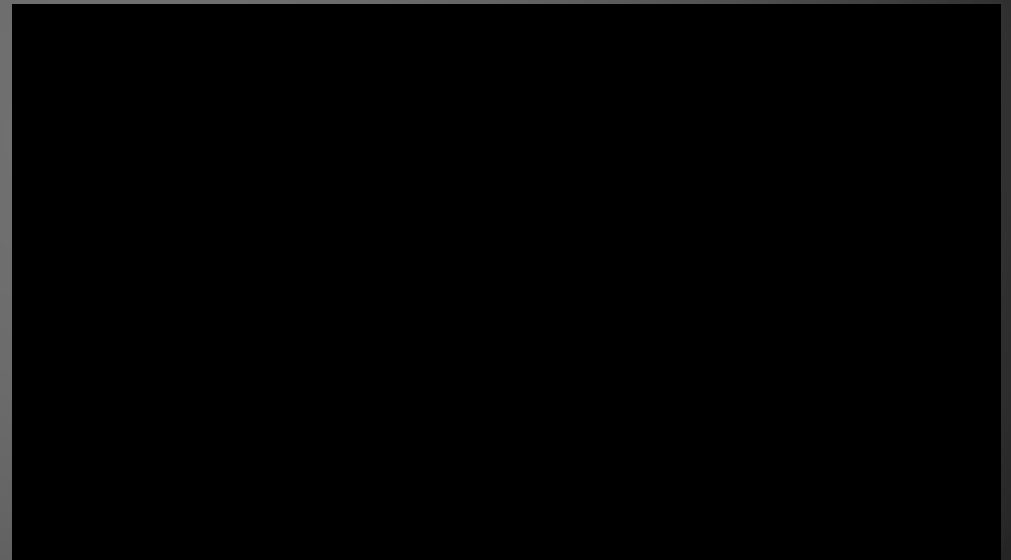
- L'aspect interactif est donné par la prise en compte, en temps-réel, de commandes sur la simulation
 - de l'utilisateur ou du système
 - ex. interface type joystick pour contrôler un personnage

Evolution en 20 ans

- Là où en 1996 on faisait ça en précalculé ...
- ... on a maintenant ça en temps réel



Hodgins et al. 1996



Liu et al. 2016

Animation interactive basée physique

- Le mouvement est le résultat d'un processus de simulation physique
- Bénéfices
 - Possibilité de générer des mouvements réalistes et non répétitifs sans base de données
 - Les personnages et objets interagissent **automatiquement** de manière physiquement réaliste
- Limitation principale: plus difficile à contrôler que la cinématique
 - Bonnes forces et moments aux articulations?
 - Pas de contrôle direct global
 - Nécessité de gérer l'équilibre, les contacts au sol, etc.

Animation interactive basée physique

- Les 3 composants fondamentaux
 - La simulation physique temps-réel
 - Le personnage à animer
 - Le contrôleur de mouvement

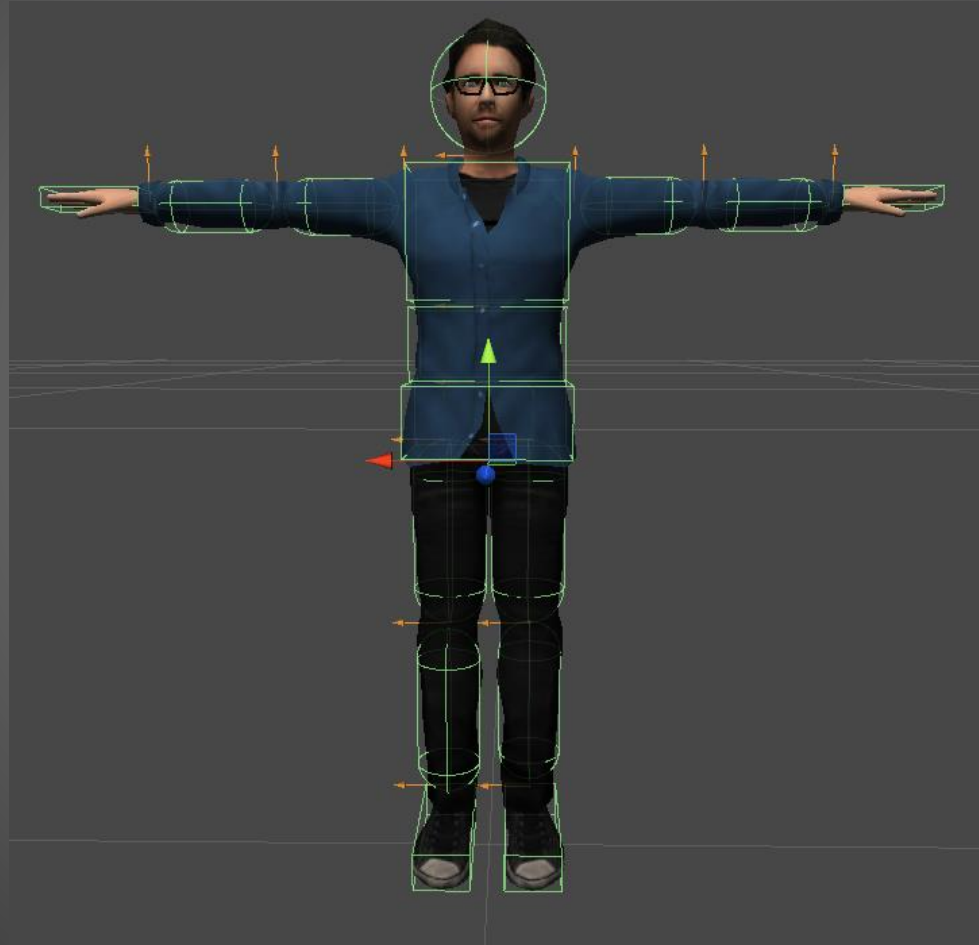
Simulation physique temps-réel

- Calcule itérativement l'état de l'environnement virtuel
 - Par l'application de forces et moments
 - Basé sur les lois de Newton
- Exécute les étapes suivantes
 - Détection et résolution des collisions
 - Calcul du nouvel état par dynamique directe
 - application des forces et moments
 - gestion des contraintes articulaires
 - Intégration numérique

Personnage physique à animer

- En plus des propriétés cinématiques
 - Géométries de collisions
 - Souvent des primitives (cylindre, capsule, boîte)
 - Parfois combinaisons (boîte + cylindre pour pied)
 - Détection/résolution des collisions plus rapide
 - Peut être différentes des géométries visualisées
 - Masses et inerties des corps rigides
 - Souvent automatiquement calculées depuis la géométrie de collision et la densité

Personnage physique à animer



Personnage physique à animer

- Afin d'animer le personnage, on a besoin, en plus des propriétés cinématiques, de décider d'où viennent les forces et moments qui seront appliqués sur le personnage pour le faire bouger
- Ce sont les **actionneurs** (traduction de *actuator* en anglais)

Personnage physique à animer

- Moments aux articulations



Personnage physique à animer

- Forces externes



Personnage physique à animer

- Forces virtuelles



Personnage physique à animer

- Forces musculaires



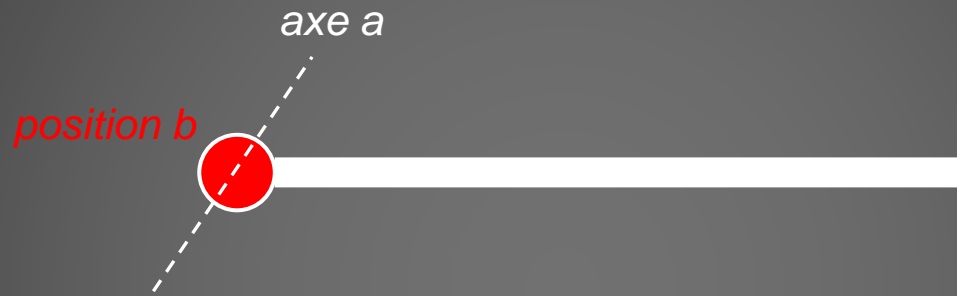
Personnage physique à animer

- Actionneurs
 - Moments aux articulations (servo-moteurs)
 - Forces externes (façon marionnette)
 - Forces virtuelles (émulation de forces externes par des moments aux articulations)
 - Forces musculaires (forces produites par contraction des muscles)
 - *Les éléments contractiles des muscles activés par le cerveau... Où s'arrête-t-on dans la précision de la modélisation du phénomène responsable du mouvement?*

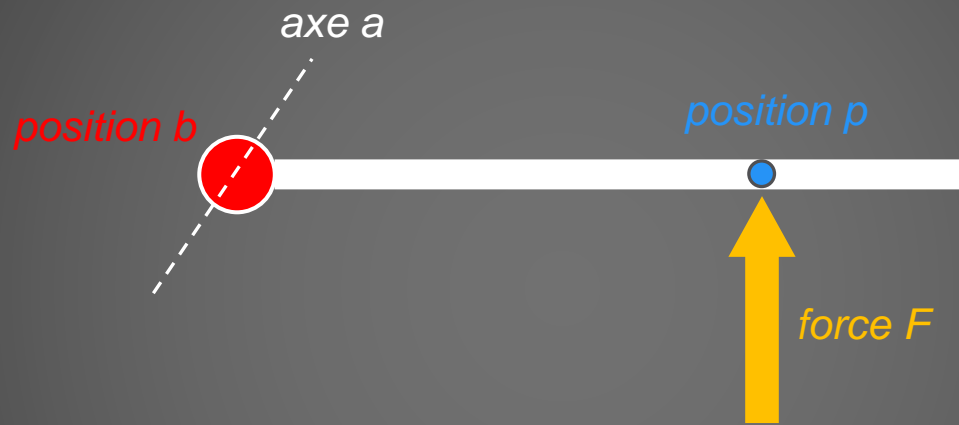
Retour sur les forces virtuelles

- Comment ça marche?
- Il faut convertir une force externe en un ensemble de moments articulaires produisant, après application, le même mouvement que la force aurait produit
- Principe : le moment articulaire est linéairement dépendant de la force et de la variation de la position du point d'application par rapport à l'angle de rotation
- On a donc besoin de la force, de son point d'application et de l'axe de rotation

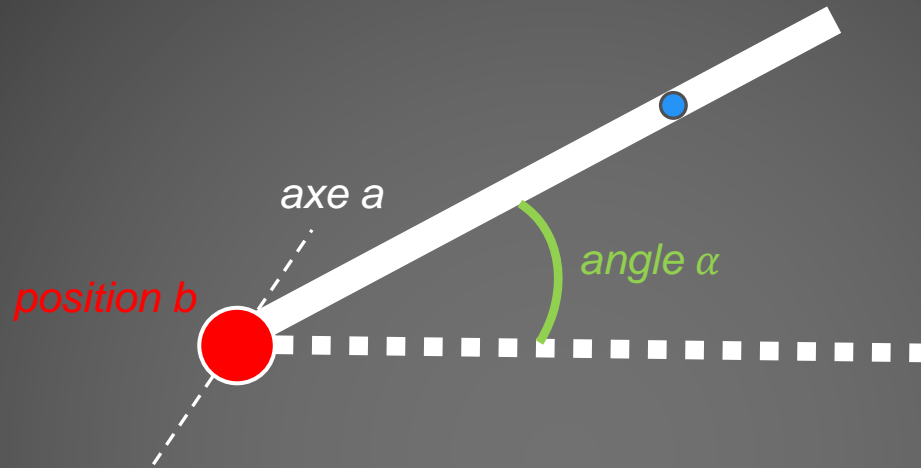
Forces virtuelles



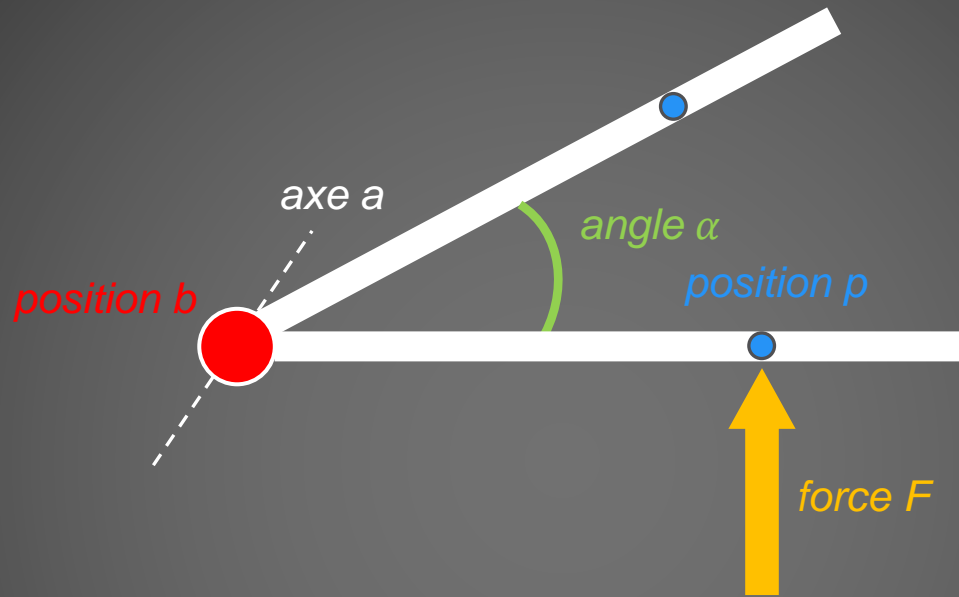
Forces virtuelles



Forces virtuelles



Forces virtuelles



$$\tau_{\vec{F},b} = \left(\frac{\vec{a}}{\|\vec{a}\|} \times \overrightarrow{bp} \right) \cdot \vec{F}$$

dans la direction \vec{a}

Transposé de Jacobienne

- Le terme $\left(\frac{\vec{a}}{\|\vec{a}\|} \times \overrightarrow{bp}\right)$ décrit la variation de la position p par une rotation autour de \vec{a} en b
- Dans le cas de plusieurs articulations reliées par des corps rigides, on construit une matrice de ces variations
- Chaque ligne de la matrice représente un degré de liberté et est évaluée indépendamment

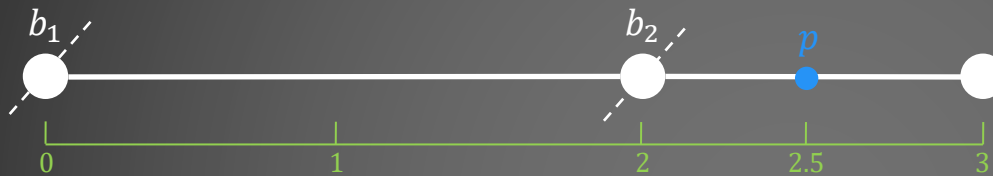
$$\overrightarrow{\tau}_F = J(p)^T \vec{F}$$

$$\text{avec } J(p)^T = \begin{bmatrix} \frac{\partial p_x}{\partial \alpha_1} & \frac{\partial p_y}{\partial \alpha_1} & \frac{\partial p_z}{\partial \alpha_1} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial p_x}{\partial \alpha_k} & \frac{\partial p_y}{\partial \alpha_k} & \frac{\partial p_z}{\partial \alpha_k} \end{bmatrix} \text{ et } J(p)_i^T = (\vec{a}_i \times (p - b_i))^T$$

- $J(p)^T$ est appelé la transposé de Jacobienne (J étant la Jacobienne)

Transposé de Jacobienne

- Vous aurez à utiliser ce principe en TP
- Exemple 1 (\vec{a}_i perpendiculaires au mur z)



$$\begin{cases} \tau_{F,1} = (\vec{a}_1 \times (p - b_1))^T \vec{F} \\ \tau_{F,2} = (\vec{a}_2 \times (p - b_2))^T \vec{F} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \tau_{F,1} = ([0 \ 0 \ 1]^T \times [2.5 \ 0 \ 0]^T)^T \vec{F} = 2.5F_y \\ \tau_{F,2} = ([0 \ 0 \ 1]^T \times [0.5 \ 0 \ 0]^T)^T \vec{F} = 0.5F_y \end{cases}$$

- Vérifié intuitivement
 - L'application d'une force horizontale $F_x > 0$ ne change pas les angles
 - Une force verticale $F_y > 0$ fait croître les deux angles (plus rapidement α_1 car un bras de levier plus grand)

Transposé de Jacobienne

- Exemple 2 (\vec{a}_i perpendiculaires au mur z)



$$\begin{cases} \tau_{F,1} = ([0 \ 0 \ 1]^T \times [2 \ -0.5 \ 0]^T)^T \vec{F} = 0.5F_x + 2F_y \\ \tau_{F,2} = ([0 \ 0 \ 1]^T \times [0 \ -0.5 \ 0]^T)^T \vec{F} = 0.5F_x \end{cases}$$

- Vérifié intuitivement
 - L'application d'une force horizontale $F_x > 0$ fait croître les deux angles
 - Une force verticale $F_y > 0$ fait croître α_1 mais ne change pas α_2 car alignée avec le centre de rotation

Forces virtuelles

- Il est utile de pouvoir contrôler une chaîne de corps rigides articulés avec des forces virtuelles
- Certains composants d'un contrôleur sont plus faciles à définir avec des forces à appliquer
 - ex: forces qui maintiennent l'équilibre appliquées au centre de masse
- On veut souvent tout faire passer par des moments articulaires
 - permet par exemple de limiter les capacités (moment articulaire maximum, modélisation de la fatigue etc.)
- On utilise donc la transposé de Jacobienne
 - attention, il faut la recalculer à chaque pas de temps (changement de pose pour être exact)

Partie II : Contrôleur de mouvement

*Interactive character animation using simulated physics: a state-of-the-art review.
Geijtenbeek and Pronost, Computer Graphics Forum (31-8), 2012.*

Contrôleur de mouvement

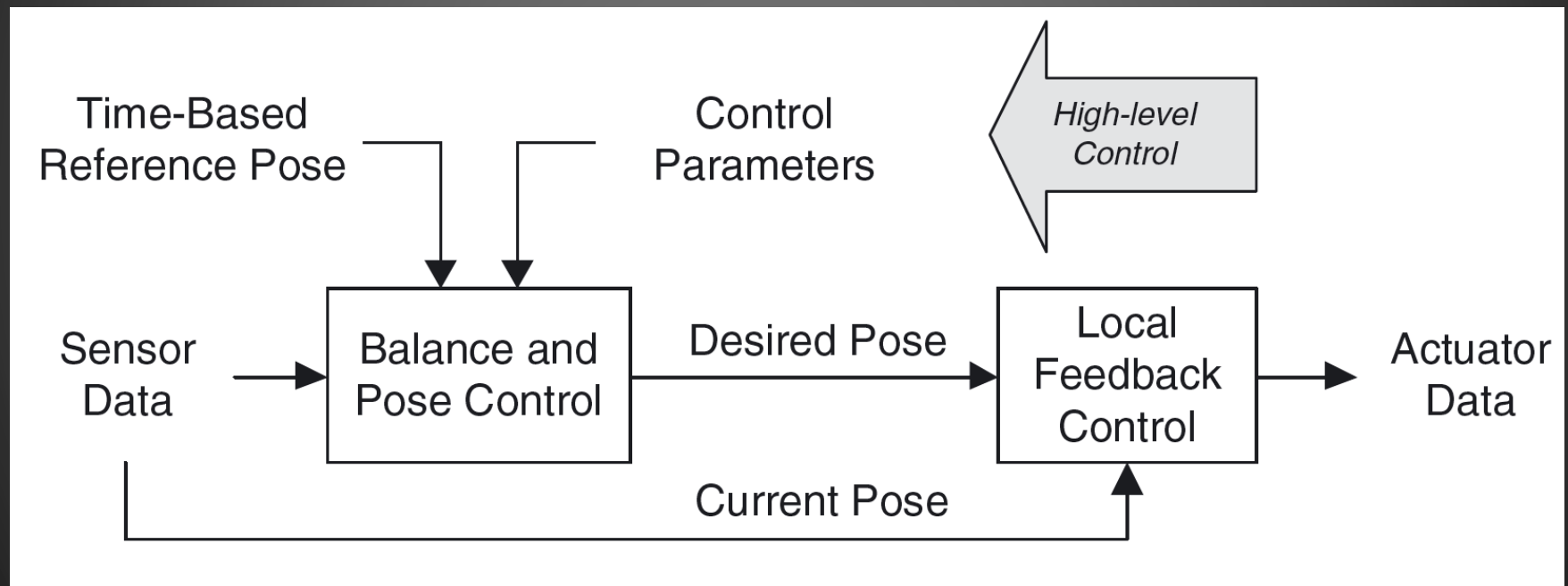
- Génère les valeurs des actionneurs exécutant une tâche donnée (ex. marcher, courir, sauter etc.)
- Fonctionne en boucle fermée, i.e. basé sur des capteurs de l'état de la simulation
 - Personnage: posture, COM, moment angulaire
 - Contacts: nombre d'appuis, polygone de support
 - Tâche: position relative à une cible

Contrôleur de mouvement

- Assure l'équilibre (si souhaité) et gère les perturbations externes
- Permet l'interaction avec le personnage par des paramètres de haut niveau
 - Vitesse et direction de déplacement, tâche à effectuer
- Potentiellement connecté avec des contrôleurs d'autres tâches et/ou à un moteur d'animation cinématique

Conception classique du contrôleur

- Contrôle dans l'espace des articulations : suivi de poses par feedback local



Feedback local

- Le but du feedback local est de calculer les moments articulaires minimisant la différence entre la pose courante et la pose désirée
- Naturellement, cela veut dire qu'il faut produire des moments lorsque les poses sont différentes
- Et que plus l'erreur entre les poses est grande, plus il faut « corriger » cette erreur et donc produire de plus grands moments articulaires
- LE mécanisme permettant ceci est appelé

Régulateur PD

Régulateur PD

- Régulateur Proportionnel et Dérivateur
 - *PD controller* en anglais, procédé d'asservissement en boucle fermée très utilisé dans beaucoup de domaines, en particulier en industrie

- Pour l'animation basée physique

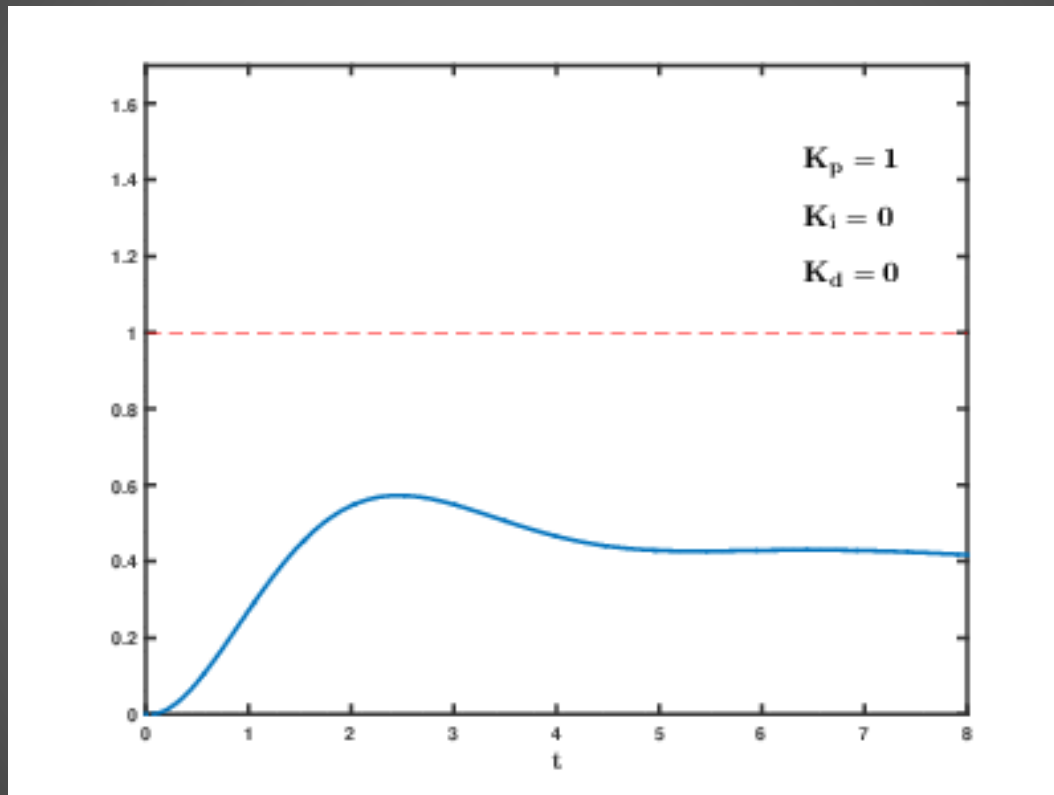
$$\tau = k_p(\theta_d - \theta) + k_v(\dot{\theta}_d - \dot{\theta})$$

- $\theta, \dot{\theta}, \theta_d, \dot{\theta}_d$ sont les angles et vitesses angulaires de la pose courante et de la pose désirée
- On remarque que le moment articulaire τ est la somme de deux termes: un proportionnel à l'erreur des angles (P) et un proportionnel à l'erreur des dérivés/vitesses (D)
- k_p et k_v sont appelés les gains, et régulent la réactivité à la différence d'état

Régulateur PD

- Une tâche difficile et qui prend du temps est de trouver les bonnes valeurs des gains
 - Un k_p trop grand produit les mouvements 'secs' oscillatoires
 - Un k_p trop petit ne suivra pas assez la pose désirée
 - Un k_v trop grand convergera trop lentement
 - Un k_v trop petit produira des oscillations
- Comme vous utiliserez des régulateurs dans votre TP, attendez vous à passer un peu de temps sur cette tâche!
- Souvent on pose $\dot{\theta}_d = 0$ pour l'équilibre et $k_v = 2\sqrt{k_p}$ (amortisseur critique)
- Parfois gains mis à l'échelle par l'inertie des corps rigides
- Toujours difficiles à trouver manuellement, d'où l'intérêt des approches utilisant des optimisations

Régulateur PID



Contrôle de la pose

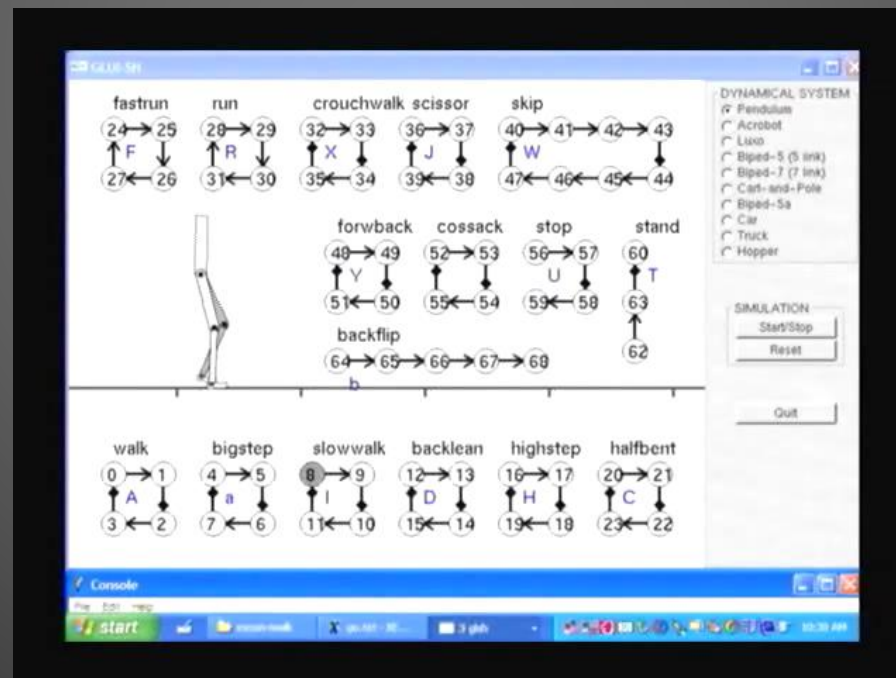
- Génération procédurale de mouvement
 - L'approche historique (la vidéo de 1996)
 - Animation de créatures aquatiques



Tan et al. 2011

Contrôle de la pose

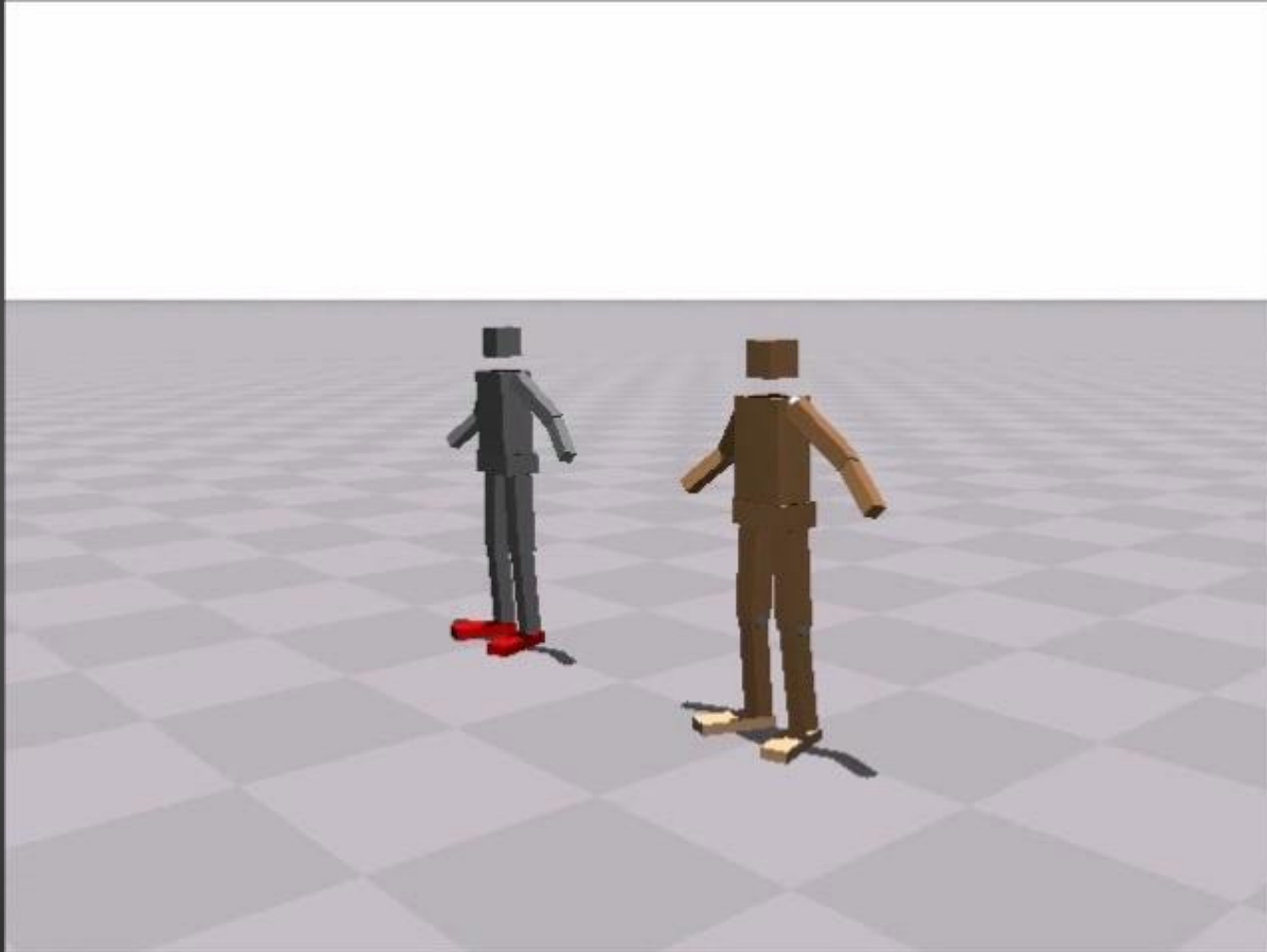
- Graphes de poses
 - Création et ajustement du contrôleur par édition des nœuds qui sont des poses
 - SIMple Biped CONtroller



Contrôle de la pose

- Utilisation de mouvements capturés : exemple
 - Suivi individuel des DDL par régulateurs PD
 - Jacobian Transpose Control pour l'équilibre
 - Gestion du COM (position et vitesse), orientation du torse et moment angulaire total
 - Applique des forces et moments virtuels
 - Optimisation hors ligne par mouvement et personnage
 - Sur les gains PD et les poids des critères d'équilibre
 - Optimise les erreurs de posture et d'appui, le glissement des pieds et l'effort
 - Utilise la Covariance Matrix Adaptation

Contrôle de la pose



Geijtenbeek et al. 2012

Contrôle des articulations

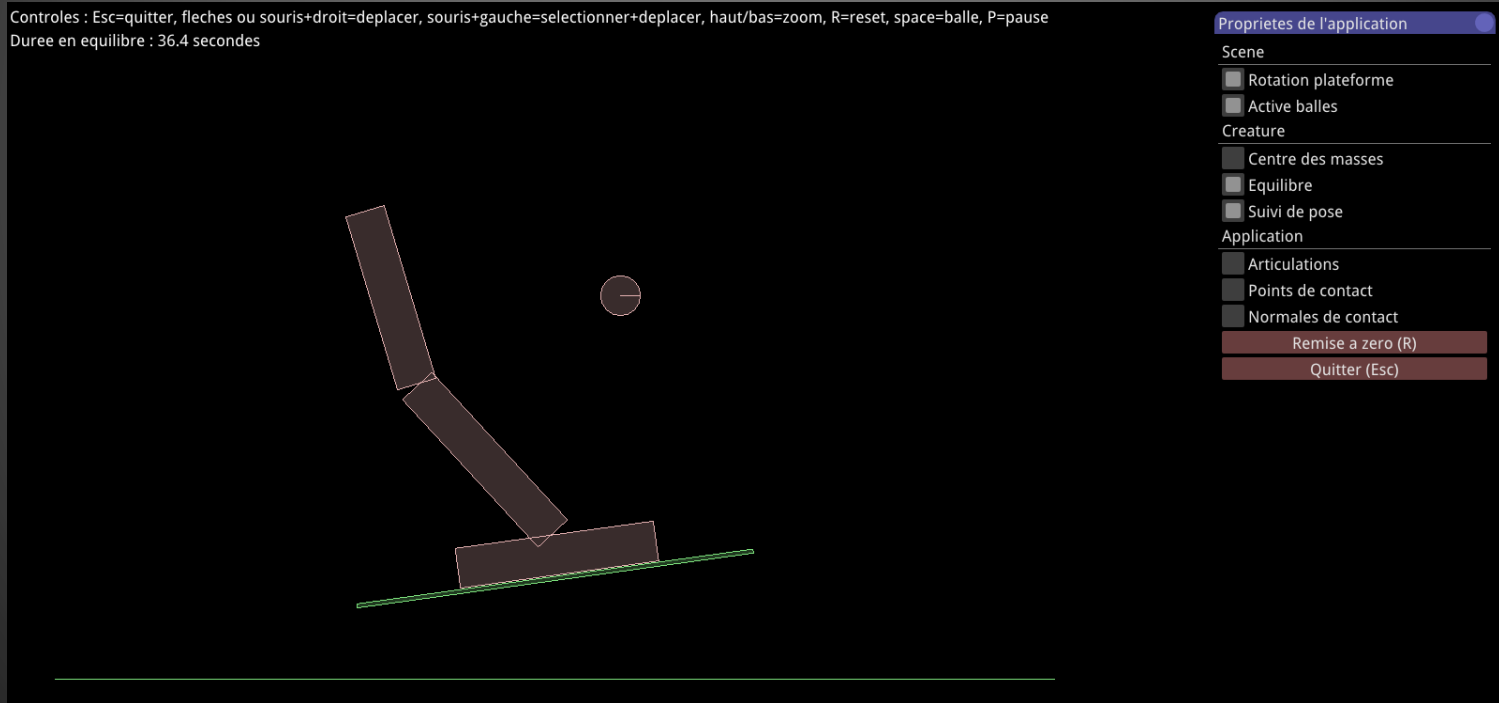
- Résumé
 - Intuitif et facile à implémenter / utiliser
 - Agit en relation directe avec la cinématique
 - Bonne robustesse aux perturbations
- Feedback uniquement local aux DDL nécessite de formaliser la coordination dans les paramètres de contrôle
- Beaucoup d'ajustements manuels pour des résultats pas toujours très naturels

Partie III : Présentation du TP

Objectif du TP

- Contrôler le mouvement d'une créature simple
 - 3 corps rigides: pied, jambe, tronc
 - 2 articulations: cheville, hanche

Contrôles : Esc=quitter, fleches ou souris+droit=deplacer, souris+gauche=selectionner+deplacer, haut/bas=zoom, R=reset, space=balle, P=pause
Duree en equilibre : 36.4 secondes



La simulation

- La créature est sur une plateforme qui peut tourner (de plus en plus vite)
- On peut lancer des balles sur la créature
- TP en 2 parties
 - « Prise en main »
 - Maintenir l'équilibre de la créature
 - Suivre un mouvement (lu depuis un fichier)
 - « Développement »
 - 3 types d'extension à faire
 - A vous de choisir

Maintien de l'équilibre

- L'équilibre est maintenu par la correction de la projection au sol de la position du CdM
 - Le CdM et le CPS (centre du polygone de support de la créature) doivent se projeter à la même position
 - Une erreur dans la position projetée détermine une force à appliquer sur le CdM
 - La force est convertie en moments articulaires par la transposé de Jacobienne
 - Les moments articulaires sont appliqués à chaque pas de simulation

Suivi de mouvement

- La créature doit en même temps suivre un mouvement décrit dans un fichier
 - Un fichier est fourni, le contenu donne les angles à suivre dans le temps
 - Un chargeur de fichier mouvement est fourni
 - Pour chaque degré de liberté, il faut
 - récupérer l'angle désiré en fonction du temps
 - calculer le moment articulaire pour réduire l'erreur entre l'angle désiré et l'angle courant à l'aide d'un régulateur PD
 - appliquer le moment articulaire à chaque pas de simulation

Développement

- Vous avez 3 extensions à faire
 - Créature plus complexe
 - Nouveau mouvement
 - Interactivité du contrôleur
- Vous aurez des propositions mais vous n'y êtes pas du tout tenu
 - soyez créatif mais réaliste

Réalisation du TP

- Travail individuel
- Rendre le code et un document explicatif
- Présentation orale après l'examen final