

Génération de créature virtuel dans un environnement de simulation de marche

Luca Palmisano

Résumé—Grâce à l'utilisation de l'algorithme génétique, nous avons réussi à enseigner à une créature la marche de manière entièrement autonome. Cette simulation se déroule dans un environnement virtuel, ce qui nécessite la génération de créatures virtuelles. Dans cet article, nous explorerons les différentes approches disponibles pour générer ces créatures et analyserons les résultats obtenus pour chaque créature en fonction de ses propriétés physiques.

I. INTRODUCTION

DANS cet article, notre attention sera portée sur un aspect important de la simulation de la marche : la création de créatures virtuelles [1]. Afin d'accomplir cela, il est essentiel de comprendre le processus de génération de ces créatures ainsi que les différentes approches qui peuvent être adoptées.

Nous constaterons que la morphologie des créatures virtuelles peut commencer par un modèle extrêmement simple, mais évolue rapidement vers des modèles complexes, englobant la modélisation des os, des muscles, des tendons et des articulations entre chaque os. Dans le cadre de notre projet de troisième année en informatique, nous avons choisi une approche de modélisation plutôt simpliste, qui nous permet de nous concentrer davantage sur la simulation de la marche que sur les aspects spécifiques des créatures elles-mêmes.

La simulation d'objets, notamment des créatures virtuelles, dans un environnement virtuel, offre la possibilité de tester ces objets. Par exemple, lorsqu'il s'agit d'un robot, il peut être bénéfique de le représenter numériquement dans un environnement virtuel afin d'effectuer divers tests (comme la marche, par exemple) sans risquer de l'endommager physiquement.

L'objectif des créatures virtuelles, et plus spécifiquement de la simulation dans un environnement virtuel, est de permettre la visualisation de comportements qui seraient complexes ou coûteux à observer dans le monde réel. Par exemple, la construction de robots est à la fois complexe et coûteuse, mais il est tout à fait possible de les modéliser virtuellement et de les tester sans risquer d'endommager du matériel. Un autre exemple intéressant concerne les dinosaures : bien que nous puissions reconstruire leur morphologie aujourd'hui, il est difficile de se représenter leur comportement. En créant un modèle virtuel d'un dinosaure, il devient possible de simuler sa marche, par

exemple.

Le reste de l'article est structuré comme suit :

- *Etat de l'art* : Cette section aborde les différentes méthodes plus avancées et également des créatures évolutives.
- *Méthodologie* : Cette section est subdivisée en plusieurs sous-sections :
 - Composition d'une créature : Qu'est-ce qu'un Rigidbody ? Qu'est-ce qu'un Joint ?
 - Représentation abstraite d'une créature
 - Mouvement de la créature dans un monde virtuel : Quels algorithmes sont utilisés ?
 - Fonctionnement de la simulation de marche.
- *Résultats* : Cette section examine différentes créatures et évalue leurs performances lors de la marche.

II. ETAT DE L'ART

Le concept de créature virtuelle n'est pas tout nouveau. C'est un sujet qui est énormément exploré et pour lequel il existe une multitude de méthodes et de techniques pour approcher ce problème. Comme mentionné précédemment, nous avons opté pour une approche relativement simple, mais dans cette section, nous discuterons d'autres options plus complexes.

Une des approches les plus connues dans ce domaine est celle des créatures évolutives. Le concept est assez simple : il s'agit de générer la morphologie d'une créature en utilisant des algorithmes évolutifs. En juillet 1994, Karl Sims [2] a adopté une approche particulière en utilisant l'algorithme génétique pour générer des graphes dirigés qui représentent de manière abstraite une créature. Ces graphes étaient ensuite transformés en créatures virtuelles. Cette approche est fascinante car la morphologie de la créature s'adapte en fonction de ses performances dans l'accomplissement d'une tâche spécifique, comme la marche, par exemple. Cependant, il est important de noter que les créatures générées en suivant cette approche ne ressemblent pas nécessairement aux créatures conventionnelles que l'on trouve dans le monde réel.

Il existe également des approches qui, contrairement à celles des créatures évolutives, se concentrent sur la modélisation réaliste des créatures. Ces créatures sont complexes, comprenant la modélisation détaillée des os, des muscles, des tendons et des articulations entre chaque os [3]. Ces modèles sont hautement intéressants et les

résultats obtenus sont bien plus convaincants, mettant ainsi en évidence l'importance cruciale de la modélisation précise de la créature [4].

III. MÉTHODOLOGIE

A. Composition d'une créature

Un *rigidbody*, en français modèle du solide indéformable, est une idéalisation de la notion usuelle de corps (à l'état) solide, considéré comme absolument rigide, et négligeant toute déformation[5]. Un *Rigidbody* possède différentes propriétés essentielles[6], notamment sa position et son orientation dans l'espace, sa vitesse lorsqu'il est en mouvement, sa masse et son centre de gravité. De plus, il est possible d'appliquer des forces sur un *Rigidbody*.

Les joints, également appelés liens, jouent un rôle essentiel en reliant les *rigidbodies* entre eux. Ils appliquent des forces sur les *rigidbodies*, ce qui leur permet de se déplacer, et ils possèdent des limites qui permettent de contraindre leurs mouvements. Il existe différents types de joints, certains sont utilisés pour imposer des contraintes entre deux objets, tandis que d'autres sont capables d'appliquer des forces qui permettent de déplacer les objets.

B. Représentation abstraite d'une créature

Comme mentionné précédemment, il existe plusieurs approches pour représenter des créatures de manière abstraite. Dans le cas des créatures évolutives, un graphe dirigé était utilisé[7], ce qui rend les choses plus complexes. Non seulement le graphe doit contenir toutes les informations nécessaires pour générer la créature, mais il est également nécessaire d'avoir un algorithme génétique capable de traiter des graphes dirigés.

Dans notre cas, nous avons adopté une méthode simpliste en évitant l'utilisation des créatures évolutives et en optant pour un système plus simple que les graphes dirigés, tout en maintenant une logique similaire.

Chaque créature est composée d'un corps racine, appelé "root body". À partir de cette racine, nous pouvons créer des branches, qui sont essentiellement d'autres rigidbodies, et les positionner de manière relative par rapport à la racine. Ensuite, il est possible d'ajouter des propriétés aux liens entre chaque branche et la racine, tels que des contraintes ou des liens moteurs. Chaque branche peut elle-même comporter des sous-branches qui suivent la même logique que la racine et ses sous-branches.

C. Mouvement de la créature dans un monde virtuel

Une fois la créature modélisée, il est nécessaire de lui donner la capacité de se déplacer. Cela peut être réalisé en appliquant des forces aux joints moteurs de la créature. Toutefois, afin de simplifier ce processus et d'éviter de devoir appliquer manuellement les forces, nous pouvons utiliser des algorithmes qui génèrent automatiquement

des forces, initialement de manière aléatoire.

Il existe une multitude de solutions disponibles, allant des algorithmes simples aux réseaux neuronaux. Dans notre cas, nous avons retenu deux options : la première est l'algorithme génétique, tandis que la deuxième est une méthode d'apprentissage par renforcement appelée PPO[8] (Proximal Policy Optimization).

D. Fonctionnement de la simulation de marche

Afin de mettre à l'épreuve les différentes créatures, nous avons choisi de tester leur capacité à apprendre à marcher[9]. La simulation de la marche est conceptuellement simple, mais sa complexité réside dans la modélisation avancée des créatures et dans les algorithmes utilisés pour l'apprentissage.

Pour chaque créature, nous allouons un temps défini pour qu'elle apprenne à marcher. À la fin de chaque simulation, nous calculons ce que l'on appelle le "fitness", qui correspond à une récompense accordée à la créature. Cette récompense est calculée différemment en fonction de l'objectif à atteindre. L'algorithme réagit en conséquence et s'adapte pour la prochaine itération en fonction de cette récompense.

IV. RÉSULTATS

Dans le cadre de nos tests, nous allons comparer trois types de créatures : le Quadrupède, le Bipède et l'Humain (voir fig. 1). Chacune de ces créatures possède des propriétés physiques distinctes, et nous observerons l'impact de ces différences sur leurs performances. Nous effectuerons également les mêmes tests avec deux algorithmes : l'algorithme génétique et le PPO (Proximal Policy Optimization).

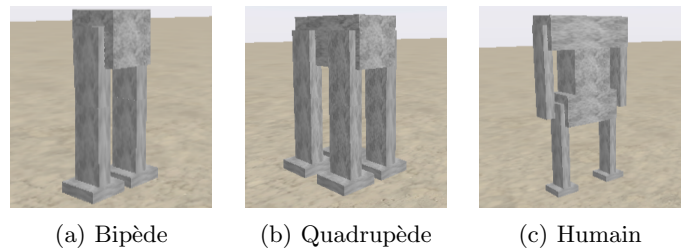


FIGURE 1 – Créatures

Les paramètres spécifiques utilisés pour l'algorithme génétique sont répertoriés dans le tableau I. En ce qui concerne l'algorithme PPO, il n'y a pas vraiment de paramètres à configurer, à l'exception du nombre de timesteps que nous souhaitons effectuer. Dans notre cas, nous avons choisi d'utiliser 300 000 timesteps.

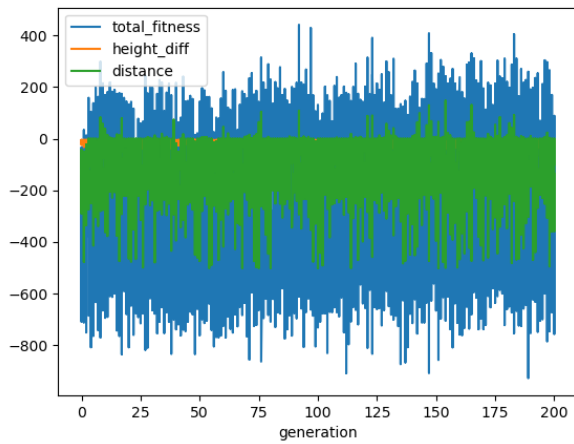


FIGURE 2 – Bipède – Algorithme Génétique

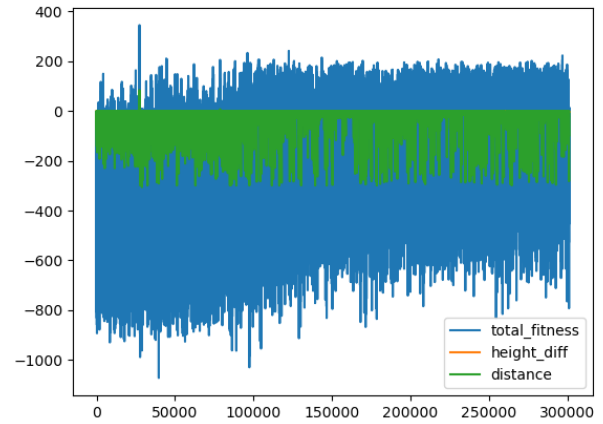


FIGURE 5 – Bipède – PPO

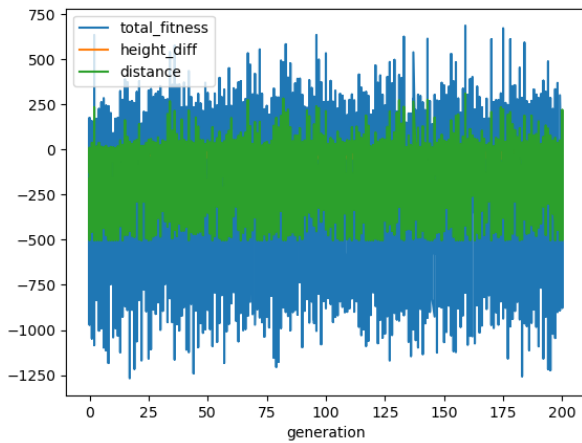


FIGURE 3 – Quadrupède – Algorithme Génétique

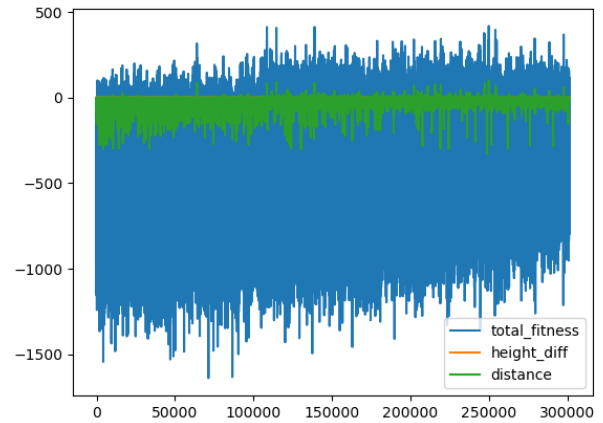


FIGURE 6 – Quadrupède – PPO

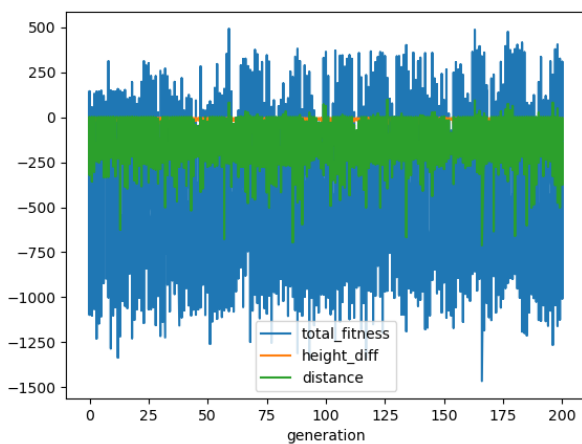


FIGURE 4 – Humain – Algorithme Génétique

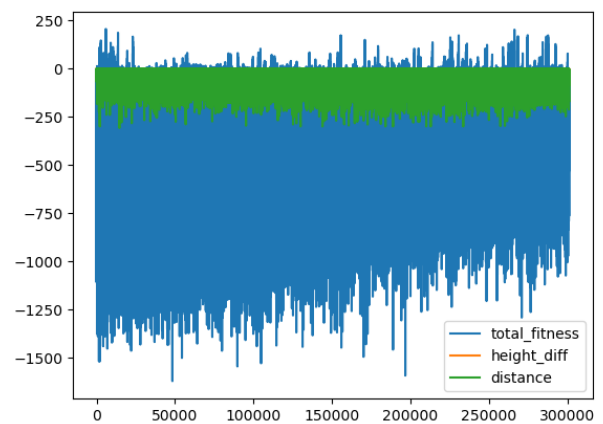


FIGURE 7 – Humain – PPO

Nombre de generations	200
Population	100
Type de mutation	Adaptative
Pourcentage de mutation pour faible créature	60%
Pourcentage de mutation pour forte créature	10%
Type de crossover	Uniforme

TABLE I – Paramètres Algorithme Génétique

L’analyse des résultats est difficile car notre objectif principal est de se concentrer sur la morphologie des créatures et leur impact sur les performances. Toutes les créatures ne sont pas très performantes, et cela peut être dû à plusieurs facteurs, tels que le nombre de générations dans le cas de l’algorithme génétique ou le nombre de timesteps dans le cas de PPO. La manière dont le fitness est calculé a également un impact significatif sur les performances.

Néanmoins, une légère différence est observée entre les bipèdes/humains et les quadrupèdes. Cette différence se manifeste dans la distance parcourue (représentée par la couleur verte sur le graphique) où l’on constate que, contrairement aux quadrupèdes, les bipèdes et les humains ne semblent pas avancer. Cela est principalement dû à des problèmes d’équilibre et à leur tendance à basculer rapidement vers l’arrière.

V. CONCLUSION

Comme mentionné précédemment, notre approche reste très simpliste et ne produit pas des résultats convaincants. Cependant, il est intéressant de souligner l’importance de la modélisation et des concepts physiques tels que l’équilibre. Il est crucial que la créature puisse se balancer sans tomber.

Il est évident que notre approche ne couvre qu’une partie limitée des aspects liés au sujet : nos créatures ne s’adaptent pas en fonction de leurs performances (contrairement à l’utilisation des créatures évolutives) et leur morphologie est simple, sans muscles, tendons, etc. Toutes ces lacunes peuvent avoir un impact négatif sur les performances.

Nous avons également constaté que les simulations peuvent prendre plusieurs jours. La puissance de calcul nécessaire pour effectuer ces simulations est importante, ce qui peut ralentir le processus. Cela se reflète dans nos tests, où nous avons effectué un nombre limité d’itérations, ce qui laisse peu de temps aux créatures pour s’améliorer et se perfectionner.

RÉFÉRENCES

- [1] Sam Kriegman. Why virtual creatures matter. *Nature Machine Intelligence*, 1(10) :492–492, Oct 2019.
- [2] Karl Sims. Evolving virtual creatures. In *Proceedings of the 21st Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, SIGGRAPH ’94, page 15–22, New York, NY, USA, 1994. Association for Computing Machinery.
- [3] *Soft-Body Muscles for Evolved Virtual Creatures : The Next Step on a Bio-Mimetic Path to Meaningful Morphological Complexity*, volume ECAL 2015 : the 13th European Conference on Artificial Life of *ALIFE 2022 : The 2022 Conference on Artificial Life*, 07 2015.
- [4] Two Minute Papers. Digital creatures learn to walk, Sept. 2015.
- [5] Wikipédia. Modèle du solide indéformable — wikipédia, l’encyclopédie libre, 2023. [En ligne ; Page disponible le 30-avril-2023].
- [6] David Baraff. An introduction to physically based modeling : Rigid body simulation i—unconstrained rigid body dynamics. 1997.
- [7] Marcin Pilat and Christian Jacob. Creature academy : A system for virtual creature evolution. pages 3289 – 3297, 07 2008.
- [8] John Schulman, Filip Wolski, Prafulla Dhariwal, Alec Radford, and Oleg Klimov. Proximal policy optimization algorithms. *CoRR*, abs/1707.06347, 2017.
- [9] MATLAB. Solving the walking robot problem with reinforcement learning, May 2019.