

# Modélisation des jambes

Les chats sont des coureurs rapides. Considérant que la hauteur des hanches d'un chat domestique en position médiane est de 25,4 cm, le chat a une vitesse normalisée de 52 longueurs de pattes/s à une fréquence de pas supérieure à 3 Hz [5]. Pour concevoir un mécanisme de course rapide, nous nous concentrons sur l'analyse du chat. Bien que de nombreux facteurs affectent la rapidité des mouvements, les pattes postérieures d'un chat jouent le rôle dominant dans l'atteinte d'une vitesse élevée. Comme le montre la figure 1a, la structure du membre postérieur est constituée de trois os principaux : le fémur, le tibia et le métatarsien. Les muscles quadriceps et biceps produisent l'extension et la flexion de l'articulation du genou. Par conséquent, les muscles du genou ont été simplifiés et modélisés comme un lien biceps. De même, le mouvement d'une articulation de la cheville a été reproduit à l'aide d'un lien gastrocnémien. Le tendon d'Achille joue un rôle important dans un cycle de course à pied. Le tendon d'Achille souple fonctionne comme un ressort qui stocke et restitue l'énergie élastique pendant la locomotion. Pour entraîner la jambe robotique avec un seul actionneur pour un poids léger et un petit moment d'inertie, une liaison à neuf barres a été introduite sur la base de l'analyse des muscles des membres postérieurs, comme le montre la figure 1b. Les maillons de haut en bas sont les suivants : la manivelle (A), le coupleur (B), le fémur (C), le biceps (D), le gastrocnémien supérieur (E), le gastrocnémien inférieur (F), le tibia (G) et le métatarsien (H). Les articulations révolutionnaires sont la hanche (J), le genou (K) et la cheville (L). Les deux maillons du gastrocnémien supérieur et inférieur sont reliés par un ressort (I).

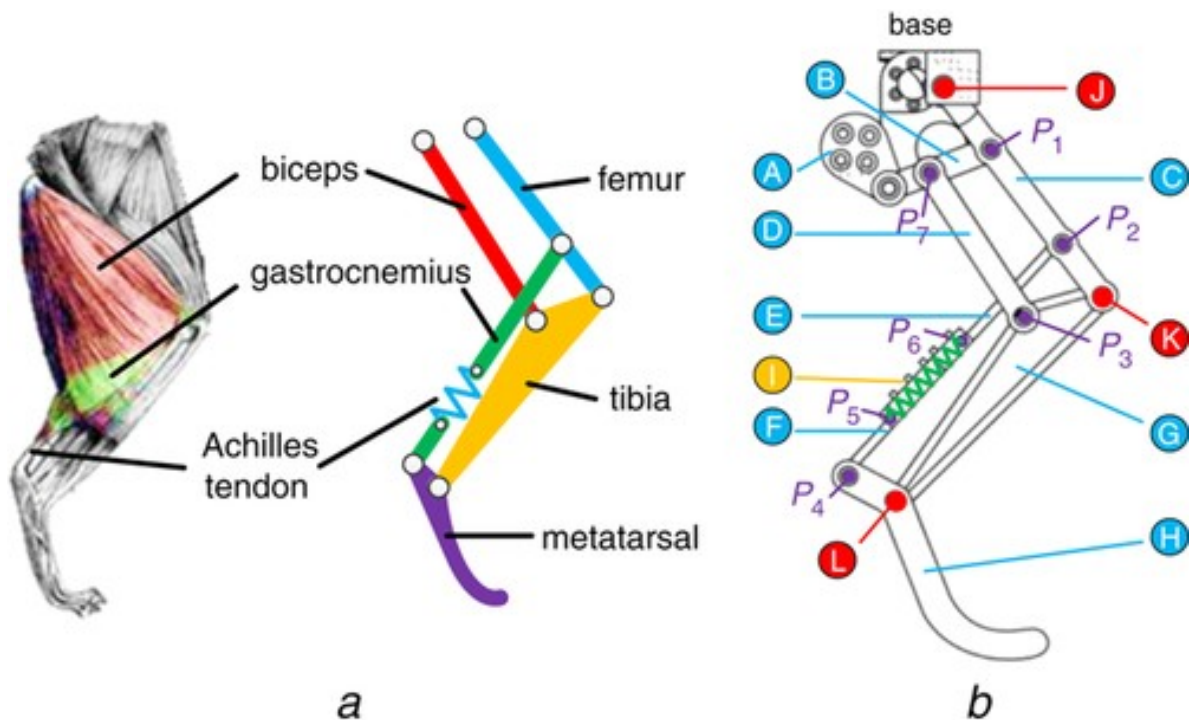


Figure 1

**a)** Système squelettique et musculaire du chat et modélisation associée

**b)** Schéma de la patte : le mécanisme se compose de neuf liens, articulations et ressort du tendon d'Achille

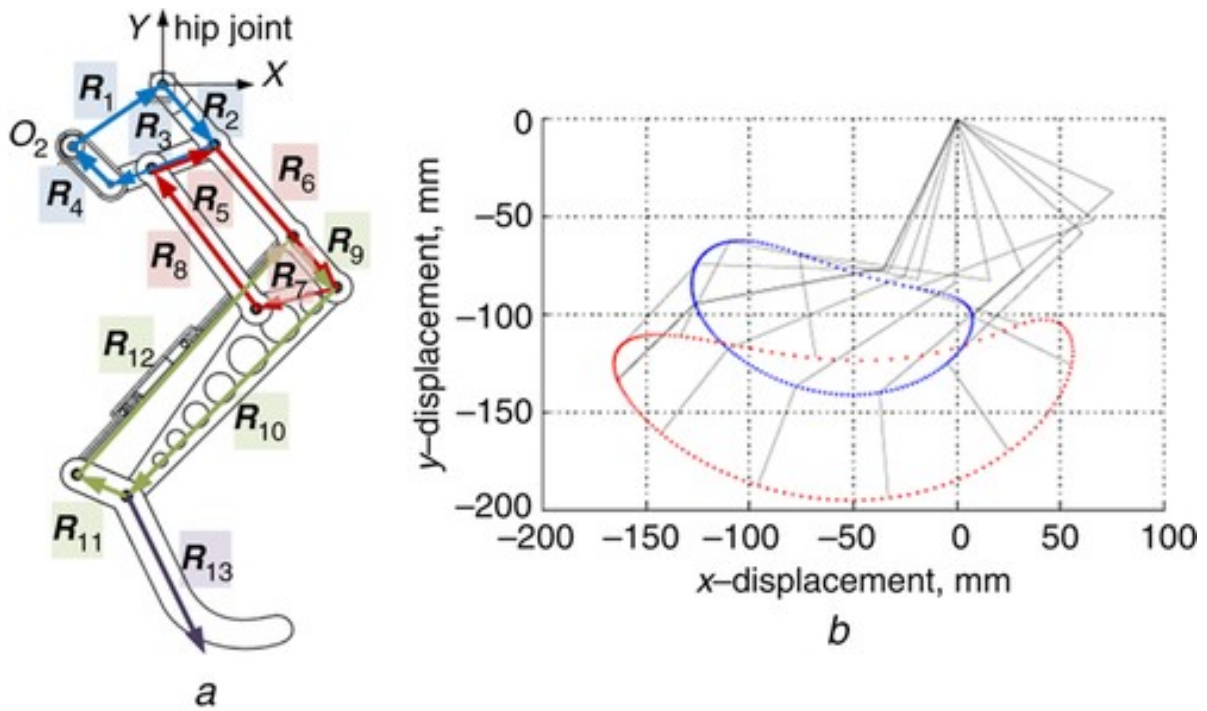


Figure 2

### Cinématique des jambes

- a) Vecteurs de position du mécanisme de jambe
- b) Configuration de la jambe pendant tout le cycle de pas

### Cinématique

Dans cette section, des solutions analytiques sont présentées pour la position de la jambe robotique à l'aide des équations de boucle vectorielle. Les vecteurs de position sont indiqués sur la jambe robotique, comme le montre la figure 2a. Une analyse du système global peut être divisée en trois parties, comme indiqué par : la première (bleue), la deuxième (rouge) et la troisième (verte) boucles vectorielles. La première boucle vectorielle forme une liaison à quatre barres. Cette boucle vectorielle comprend la manivelle, la base, le fémur et les maillons du coupleur. R1 est fixé au corps du robot, tandis que R2, R3 et R4 sont respectivement sur le fémur, le coupleur et les manivelles. Les longueurs des vecteurs sont notées a, b, c et d. Les angles des liens par rapport à l'axe des x sont notés  $\theta_i$ .

L'équation de la boucle vectorielle est la suivante :

$$\mathbf{R}_1 + \mathbf{R}_2 + \mathbf{R}_3 + \mathbf{R}_4 = 0$$

En utilisant la formule d'Euler, (1) peut être réécrit dans un domaine complexe, comme

$$ae^{j\theta_1} + be^{j\theta_2} + ce^{j\theta_3} + de^{j\theta_4} = 0$$

Il est donc simple de montrer que

$$\theta_{3,2} = 2 \tan^{-1} \left\{ \frac{-2C \pm \sqrt{4C^2 - 4(A+B)(A-B)}}{2(A-B)} \right\}$$

ou

$$A = -b^2 + a^2 + c^2 + d^2 + 2ad \cos\theta_1 \cos\theta_4 \\ + 2ad \sin\theta_1 \sin\theta_4$$

$$B = 2ac \cos\theta_1 + 2cd \cos\theta_4$$

$$C = 2ac \sin\theta_1 + 2cd \sin\theta_4$$

Les positions des liens de la première boucle peuvent être entièrement résolues sur la base de la solution de  $\theta_3$ . De la même manière, les autres angles tels que  $\theta_3 - \theta_{12}$  peuvent être résolus. L'analyse de position nous permet de déterminer la configuration des jambes pendant le cycle de pas pendant que la manivelle tourne. La figure 2b montre la trajectoire discrète du mouvement des jambes pendant un cycle de pas. Les points bleus représentent la trajectoire de la cheville et les points rouges représentent la partie distale du métatarsien. La hauteur maximale des hanches à mi-position est de 194 mm avec la longueur de repos du ressort d'Achille et de 155 mm avec le ressort entièrement étiré. La hauteur minimale est de 102,6 mm en phase d'oscillation. Sa garde au sol varie donc de 41 à 47 % de la longueur des jambes. Les résultats montrent que la configuration des pattes et la garde au sol de la patte proposée sont similaires au comportement des animaux félins [6]

### Expérience en cours

Nous avons développé un robot bipède utilisant le mécanisme des jambes. Le châssis du robot est en alliage d'aluminium pour contenir les composants mécaniques. Étant donné que les pieds subissent des impacts importants du sol à plusieurs reprises et doivent être légers pour réduire le moment d'inertie, un plastique acrylonitrile butadiène styrène a été choisi pour le matériau des pieds. Pour dissiper l'impact du sol pendant la phase d'appui, deux couches de matériau amortisseur sont fixées, qui forment un orteil sous le lien métatarsien. Sous la pointe, un polymère à haute friction est fixé pour générer une force de traction dans le sens du déplacement. Le robot bipède est attaché à la flèche d'attache comme indiqué sur la figure 3. La flèche d'attache se compose de la base, du maillon 1, du maillon 2 et du maillon 3. Le maillon 1 tourne contre la base et effectue un mouvement circulaire dans la direction x. Le lien 2 génère un mouvement de haut en bas dans la direction y. L'ensemble expérimental réalise deux mouvements quasi-planaires DOF du robot. La masse totale du robot bipède est de 0,465 kg et sa hauteur de hanches est de 200 mm. Les entrées de commande pour entraîner les deux manivelles ont une différence de phase de  $180^\circ$  et la fréquence de pas a été augmentée à 4 Hz. Des instantanés du bipède en cours d'exécution sont présentés sur la figure 4. En répétant le processus (A à D), le robot continue d'avancer. La figure 5 montre la vitesse de rotation des deux manivelles, la vitesse du centre de masse et la hauteur des hanches. La vitesse moyenne était de 2 m/s, ce qui équivaut à 10 longueurs de jambe/s. Le robot bipède présente des mouvements relativement plus rapides en raison de la structure des jambes sous-actionnée et inspirée du chat par rapport aux autres robots à pattes.

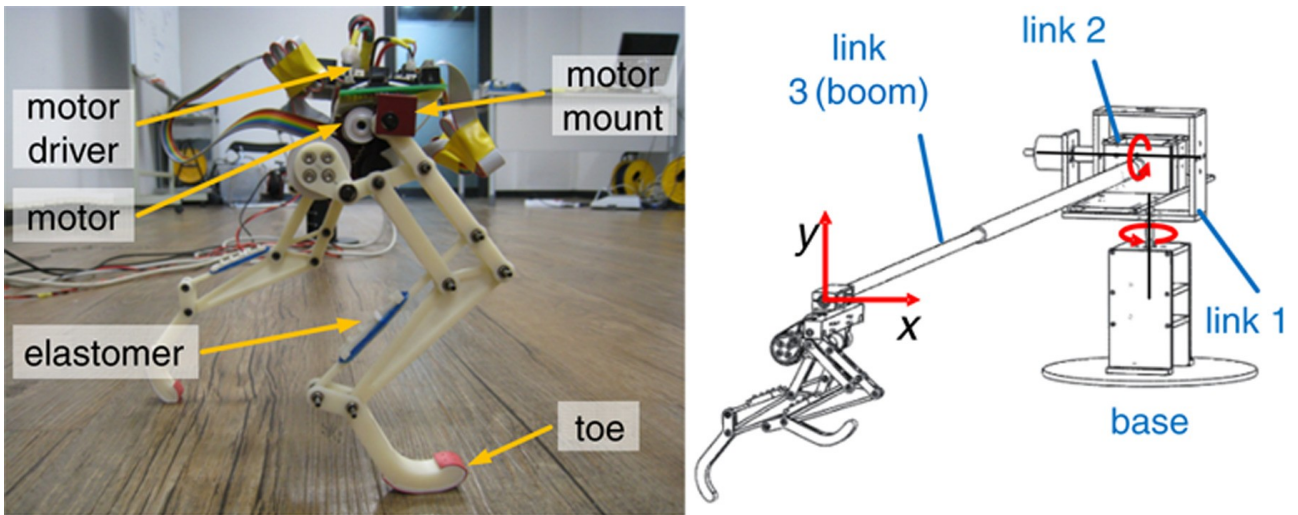


Figure 3

Configuration expérimentale d'un robot bipède attaché à une flèche

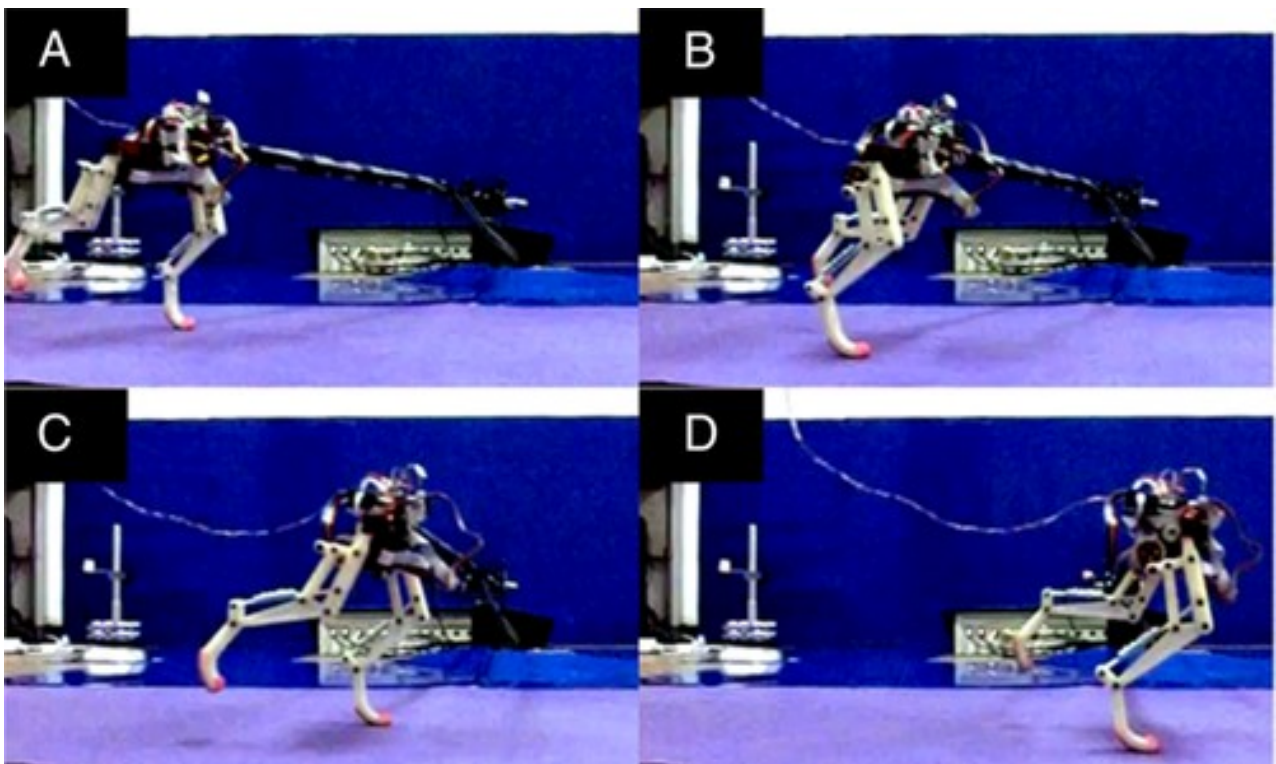


Figure 4

Séquence de robot bipède en marche sur un sol plat avec une fréquence de pas de 4 Hz