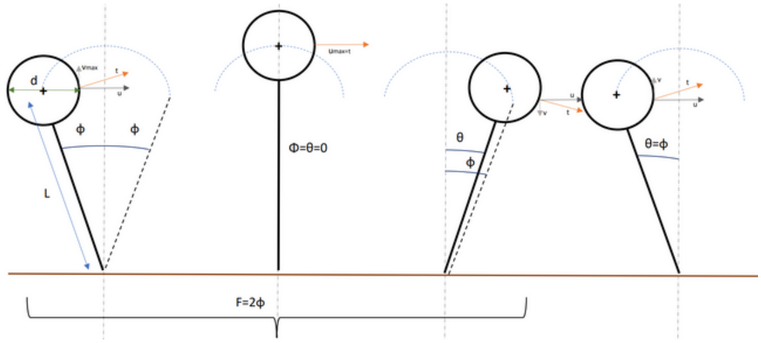
Université Paul Sabatier

VITESSE LIMITE DE MARCHE

PAR SCHOEPFF AURORE ET LABORIE SAMANTHA

INTRODUCTION

*Sur l'ensemble du spectre des animaux pourvus de pattes, la **marche** semble être le moyen de locomotion privilégié tantôt dans l'air que dans l'eau.*
*La marche, dans son essence même est une succession contrôlée de **chutes**, elle résulte de l'**activité alternée** des **membres inférieurs** ayant pour conséquence la **translation** de l'ensemble du corps à une vitesse donnée. Elle n'est possible que lorsqu'au moins un des 2 pieds est en **contact** avec le sol.*
*Cette activité complexe est régie par des principes physiques qui la différencie de l'autre moyen de locomotion des organismes multipèdes, à savoir la **course**.*
*On pourrait donc se demander quelle est la frontière entre la marche et la course, et **comment déterminer cette vitesse limite avant qu'un animal passe de la marche à la course ?***



DESCRIPTION DU MODÈLE ÉTUDIÉ

*La physique de la marche au niveau le plus simple, peut être considérée comme un **pendule inversé** car le corps oscille au dessus du point d'impact du pied sur le sol à une certaine distance **(L)** qu'est la longueur de la jambe (Fig : 7.10) (Modèle d'Alexander, 1982). Nous pouvons voir, que sous forme pendulaire le centre de gravité du corps suit comme trajectoire une succession de **voûtes** (paraboles). Ce système admet une **vitesse limite de marche** qui permet à notre système de toujours être en **contact** avec le sol, lorsque celle ci est dépassée nous ne sommes plus en train de marcher mais de **courir**.*

ACCÉLÉRATION CENTRIFUGE

*Le centre de gravité du corps décrit un mouvement de **trajectoires parabolique**. A ce mouvement est associé l'accélération centrifuge :*

$$\omega^2 * l$$

*Elle est égale à la vitesse angulaire de la jambe (**ω**) au carré multiplié par la longueur (L).*
*L'accélération centrifuge est représentée par un **vecteur dirigé vers le haut** (Fig 7.11). C'est cette force qui tend à rompre le contact entre le pied et le sol, mais fort heureusement l'**accélération de pesanteur** contrecarre ce phénomène et permet de maintenir le contact avec le sol.*

ACCÉLÉRATION DE PESANTEUR

*Par conséquent pour que le système étudié soit toujours en marche et non en course il faut que le **rapport** entre ces accélérations soit **inférieur à 1** . Autrement dit, que le vecteur poids du corps soit supérieur à l'accélération centrifuge:*

$$\frac{\omega^2 * l}{g} < 1$$

*Pour une longueur de jambe donnée, il existe une vitesse limite à ne pas dépasser. Le ratio ci-dessus est un exemple du **nombre de Froude (Fr)**, il est adimensionnel et exprime le rapport entre la **vitesse** d'une particule et la force de pesanteur qui s'exerce sur celle-ci. Ceci représente exactement la problématique de notre système, à savoir le rapport entre l'accélération centrifuge et de pesanteur qui permet de **maintenir le contact au sol.***

SYSTÈME DE MARCHE PENDULAIRE

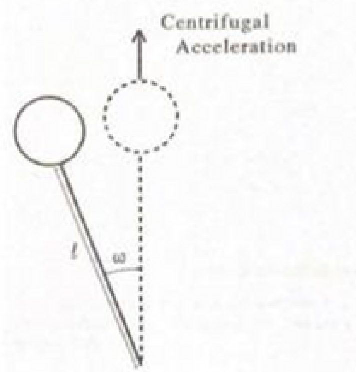


Fig. 7.10 A body "vaulting" over one of its legs experiences a centrifugal acceleration.

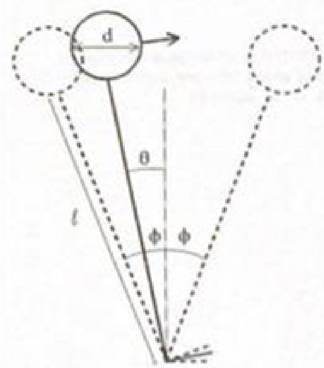


Fig. 7.11 Definition of terms used to calculate the maximal speed of walking.

ETUDE DES VITESSES THÉORIQUES

Dans l'exemple donné à la Fig : 7.11, le ***corps*** *est représenté par une* ***sphère*** *de diamètre* ***D*** *et des* ***jambes*** *de longueur* ***L****. Le but est d'étudier des organismes de* ***différentes tailles*** *mais tous de la* ***même forme****, pour cela, il est plus pratique de définir une longueur de jambe par unité de diamètre de corps.*

$$l = kl * D$$

kl étant une ***constante****. Pendant un pas, les jambes oscillent selon un* ***angle de 2φ*** *(****rad****) qui est la période de la* ***fréquence*** *de marche* ***f*** *(en* ***pas/sec****). A chaque instant de la marche l'angle mesuré entre la verticale du système et la position de la jambe est* ***θ****. La vitesse angulaire de la jambe pendant un pas vaut alors :*

$$\omega = 2\varphi * \ f$$

On en déduit alors la ***vitesse tangentielle*** *au corps, perpendiculaire à l'axe de la jambe :*

$$\omega * l = 2\varphi * f * kl * D$$

Cette vitesse peut être projetée afin de trouver ses deux composantes :

- *Horizontale "****u****" dans le sens de la marche*
- *Verticale "****v****" normale à "u"*

$$u = \ 2\varphi * f * kl * D * \cos\,(\theta)$$
$$v = \ 2\varphi * f * kl * D * \sin\,(\theta)$$

*Pour une fréquence (f) et un angle (****φ****) donné, la vitesse horizontale peut être moyenné sur un pas pour donner la* ***vitesse moyenne de marche*** *:*

$$< u > = 2 * \ f * kl * D * \sin\,(\varphi)$$

La ***vitesse verticale maximale*** *est atteinte à la fin de la voute, lorsque :* $\theta = \varphi$

$$v = \ 2\varphi * \ f * kl * D * \sin(\varphi) = \ \varphi * < u >$$

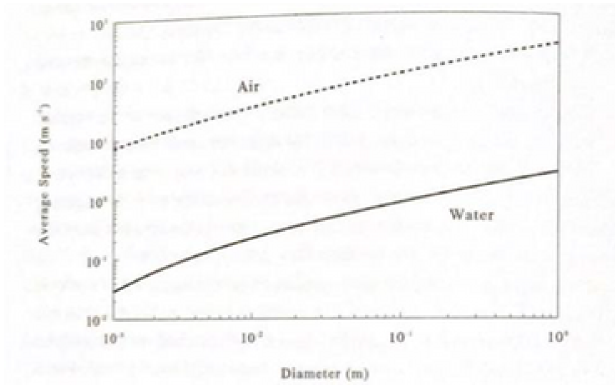
*Il est intéressant de noter que la vitesse verticale max à une vitesse de déplacement (****u****) donnée dépend de l'angle avec lequel la jambe oscille (****φ****) , mais est indépendante de la fréquence de marche (****f****) et du ratio longueur de jambe par diamètre de corps(****kl****)*
La ***vitesse horizontale maximal Umax*** *est très importante car si le système étudié dépasse cette vitesse l'animal sera en train de courir et non de marcher.*

ÉTUDE DES VITESSES EN CONDITIONS RÉELLES

En ***condition réelles****, le système est soumis à des obstacles qu'il doit surmonter pour rester en marche et non en course. Par exemple la* ***trainée****, ou la* ***masse du corps*** *qui n'étaient pas prises en compte dans la détermination des composantes de la vitesse tangentielle, mis qui ont un impact à la variation de celle-ci.*
Les caractéristiques du ***fluide*** *environnant tel que sa* ***masse volumique*** *ou sa* ***viscosité cinématique*** *sont aussi négligées de prime abord.*
Nous avons maintenant les moyens de trouver une relation entre la vitesse moyenne de déplacement et la vitesse maximale avec laquelle le corps sphérique doit "tomber". Si nous posons que la vitesse de cette chute est égale à la vitesse terminale nous pouvons calculer la ***moyenne max*** *de la vitesse de marche* ***Umax***

$$0 = \ 0{,}4 * u^2 \max + \frac{24 * v * u_{max}}{\varphi * D} + \frac{6 * u^2 max}{1 + \sqrt{\frac{\varphi * D * u_{max}}{v}}} - \frac{4 * \rho_e * D * g}{3 * \rho * f * \varphi^2}$$

Voici ci-dessous la vitesse Umax en fonction de D, pour une angle donné de ***φ*** *= 0.5 radiant :*



Dans l'air*, la viscosité cinématique est négligeable pour le calcul de la vitesse de marche. Prenons par exemple une fourmi ayant un corps* ***1 mm*** *de diamètre ,pourrait atteindre une vitesse de marche de* ***7,4m.s-1*** *avant qu'elle ne puisse plus maintenir ses jambes en contact avec le sol.*
Dans l'eau *la viscosité cinématique restreint la vitesse de marche. Si l'on s'en réfère aux données du graphique ci-dessus, la vitesse moyenne d'un corps en fonction de son diamètre n'augmente pas de façon linéaire dans l'eau. C'est pourquoi un corps de* ***10 cm*** *de diamètre ne pourrait atteindre une vitesse de marche que de* ***81 cm.s-1*** *avant de se mettre à flotter. La limite de vitesse de marche induite par la viscosité cinématique augmente en fonction de la taille de l'organisme. Un corps d'****1 m*** *de diamètre pourrait atteindre une vitesse de marche de* ***2,6m.s-1*** *avant de flotter. Si on fait le ratio vitesse/taille de ces deux exemples, on constate que celui du corps de 10cm est plus élevé.*

CONCLUSION

La modélisation de la marche par un pendule inversé a été la première approche de son analyse. Elle est encore utilisée aujourd'hui car elle permet de donner une bonne ***approximation*** *de la vitesse limite du passage marche-course. Elle n'est* ***pas à prendre au pied de la lettre*** *(stricto sensus) car in Vivo (dans le monde animal), les membres inférieurs des animaux marchants sont dotés d'articulations (genoux, hanches, chevilles...) Permettant de limiter les oscillations du centre de gravité et donc de* ***réduire la force centrifuge*** *de ce déplacement, de surcroit* ***augmenter la vitesse de marche*** *.*

Dans des conditions où la ***densité*** *du fluide environnant (ex: l'eau) est un* ***facteur limitant,*** *certains animaux comme le homard ont au fil des années augmenté leur* ***densité effective*** *pour accroître leur vitesse de déplacement.*
Toutes ces adaptations n'ont pas seulement pour but d'augmenter la vitesse de marche mais également de ***diminuer*** *la* ***dépense énergétique*** *de l'animal ; énergie qui sera redistribuée dans le maintien de sa survie notamment en cas de réponse combat-fuite.*

"La marche n'est qu'une succession controllée de chutes."