

# Locomotion et Activités Physiques

# Les enseignants



Prof. Stéphane ARMAND

Laboratoire de Cinésiologie

Biomécanique et neurosciences du mouvement

[Stephane.Armand@unige.ch](mailto:Stephane.Armand@unige.ch)



Ivo Neto Silva

Physiothérapeute, Soins intensifs

Physiologie et entraînement

[Ivo.Neto@hug.ch](mailto:Ivo.Neto@hug.ch)

# Objectifs d'apprentissage

- **Connaître les composantes et le fonctionnement de l'appareil locomoteur humain**
- **Comprendre comment est généré et contrôlé le mouvement humain**
- **Comprendre la gestion et le contrôle énergétique nécessaires au mouvement humain**
- **Connaître la physiologie et la biomécanique de la marche et de la course humaine**
- **Connaître les principaux outils d'évaluation de l'activité physique et du mouvement humain**
- **Connaître l'impact de l'activité physique sur la santé humaine**
- **Connaître l'impact de certaines situations physiologiques (et pathologiques) sur le système locomoteur**
- **Connaître les principes de l'entraînement physique**



# Moodle



- **Locomotion**

- <https://moodle.unige.ch/course/view.php?id=4229>

- **Liens avec autres cours**


- Bases moléculaires de la contraction – S. Koenig
  - <https://moodle.unige.ch/course/view.php?id=3906>
- Anatomie – JY. Beaulieu
  - <https://moodle.unige.ch/course/view.php?id=3926>
- Système nerveux – D. Jabaubon
  - <https://moodle.unige.ch/course/view.php?id=3907>
- Os – N. Bonnet
  - <https://moodle.unige.ch/course/view.php?id=4228>
- Obésité et lipide - P. Maechler/Z. Pataky
  - <https://moodle.unige.ch/enrol/index.php?id=4230>
- Système cardiovasculaire – C. Montessuit & P. Bijlenga
  - <https://moodle.unige.ch/course/view.php?id=4174>



# L'agenda / Plan

## HORAIRE 1<sup>ère</sup> année 2025-2026


## SEMAINE 23



	Lundi		Mardi		Mercredi		Jeudi		Vendredi	
	23.03.2026		24.03.2026		25.03.2026		26.03.2026		27.03.2026	
08h15-09h00						Chimie organique 11 S. Matile / J. Viger-Gravel CMU/Champendal		Biomécanique et physiologie de la locomotion S. Armand CMU/Champendal		Chimie organique 12 S. Matile / J. Viger-Gravel CMU/Champendal
09h15-10h00	Introduction à la locomotion S. Armand CMU/Champendal		Production du mouvement S. Armand CMU/Champendal							
10h15-11h00	Métabolisme des triglycérides P. Maechler CMU/Champendal		Physique 21 Physique nucléaire M. Kunz / C. Senatore CMU/Champendal		Contrôle du mouvement S. Armand CMU/Champendal		Cas de liaison Athérosclérose 8 F. Mach CMU/Champendal		Répétitoire immunité innée J. Bertrand / C. Jandus / C. Scheiermann / K. Egervari CMU/Champendal	
11h15-12h00					Biomécanique du membre inférieur S. Armand CMU/Champendal		MFE 5 : Catalogue PROFILES M. Bideau CMU/Champendal		Répétitoire immunité adaptative J. Villard / O. Hartley / S. Hugues CMU/Champendal	
12h15-13h00										

## HORAIRE 1<sup>ère</sup> année 2025-2026

## SEMAINE 24



	Lundi		Mardi		Mercredi		Jeudi		Vendredi	
	13.04.2026		14.04.2026		15.04.2026		16.04.2026		17.04.2026	
08h15-09h00						Chimie organique 13 S. Matile / J. Viger-Gravel CMU/Champendal				
09h15-10h00			Réponse cardio-vasculaire et respiratoire à l'exercice I. Neto Silva CMU/Champendal				Entraînement physique I. Neto Silva CMU/Champendal			
10h15-11h00	Energie du mouvement I. Neto Silva CMU/Champendal		Pharmacologie 1 M. Besson CMU/Champendal		Activité Physique et Capacité fonctionnelle (recommandations et mesures) I. Neto Silva CMU/Champendal		Cas de liaison Mucoviscidose 7 G. Berra CMU/Champendal			
11h15-12h00							MFE 6 : La MFE illustrée M. Bideau / D. Haller-Hester / C. Gillibert CMU/Champendal			
12h15-13h00										

# Références utilisées dans ce cours

- Auvinet, B. *Traité De La Marche Et De La Démarche*. Edited by Sauramps médical. 2021.
- **Berne, Robert M., Bruce M. Koeppen, and Bruce A. Stanton. *Berne & Levy Physiology*. 7th ed., 2018.**
- Delafontaine, Arnaud. *Locomotion Humaine: Marche Course : Bases Fondamentales, Évaluation Clinique Et Applications Thérapeutiques De L'enfant À L'adulte*. 2021.
- **Dufour, Michel, and Michel Pillu. *Biomécanique Fonctionnelle : Membres, Tête, Tronc*. 2e éd. ed., 2011.**
- **Howley, Edward , Powers Scott, *Exercise Physiology: Theory and Application to Fitness and Performance*, McGraw-Hill Education, 2017**
- **Marieb, Elaine Nicpon, Katja Hoehn, and Sophie Dubé. *Anatomie Et Physiologie Humaines*. 11e éditions ed., 2019.**
- P. Klein, P. Sommerfeld, G. Meddeb. *Biomécanique Des Membres Inférieurs: Bases Et Concepts, Bassin, Membres Inférieurs*. Edited by Elsevier Masson. 2008.
- **Purves, Augustine, Fitzpatrick, Hall, LaMantia, White, Coquery, Tajeddine, & Gailly. *Neurosciences*. De Boeck Supérieur, 2019**
- Uchida, Thomas K., Scott Delp, and David B. Delp. *Biomechanics of Movement : The Science of Sports, Robotics, and Rehabilitation*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 2020.

# Introduction à la locomotion humaine

# Questions



- Speakup

<https://web.speakup.info/room/join/39512>





# Introduction à la locomotion humaine

- Définitions
- Bipédie
- Importance de la marche
- Le mouvement
- Historique de l'analyse de la locomotion

# Définitions

- **Locomotion :**

Fonction biologique permettant le déplacement de l'organisme dans l'environnement

Elle permet notamment :

- l'interaction avec l'environnement
- l'accès aux ressources

- **Système locomoteur :**

Ensemble des structures qui permettent le mouvement et la locomotion

Chez l'être humain, il comprend les systèmes :

- osseux
- articulaire
- musculaire (et structures associées : ligaments et tendons)
- nerveux

# Locomotion

- Classer selon le milieu
  - Terrestre (au sol)
  - Aquatique (dans ou sur l'eau)
  - Aérien (dans l'air)
  - Fouisseur (souterrain)



Crawling



Sliding



Running



Jumping



Walking



Rolling



Gliding



Flying



Swimming

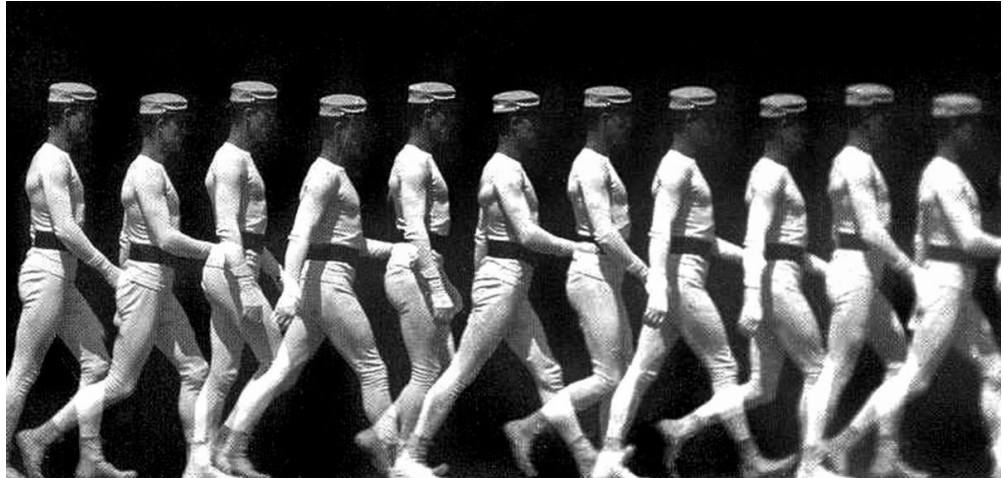


Propulsion

# Locomotion humaine

- **Terrestre**

- **Marcher**
- Courir
- Sauter
- Escalader
- Ramper



- **Aquatique**

- **Nager**



# Définitions

- **Mouvement** : action de se mouvoir, de changer de position du corps ou d'une de ses parties
- **Marche** : mouvement permettant le déplacement du corps sur les deux pieds en ayant au moins toujours un pied en contact avec le sol
- **Démarche** : la façon de marcher
- **Bipédie** : mode de locomotion terrestre par lequel un animal se déplace préférentiellement sur ces deux membres postérieurs

<https://pxhere.com/fr/photo/335397>

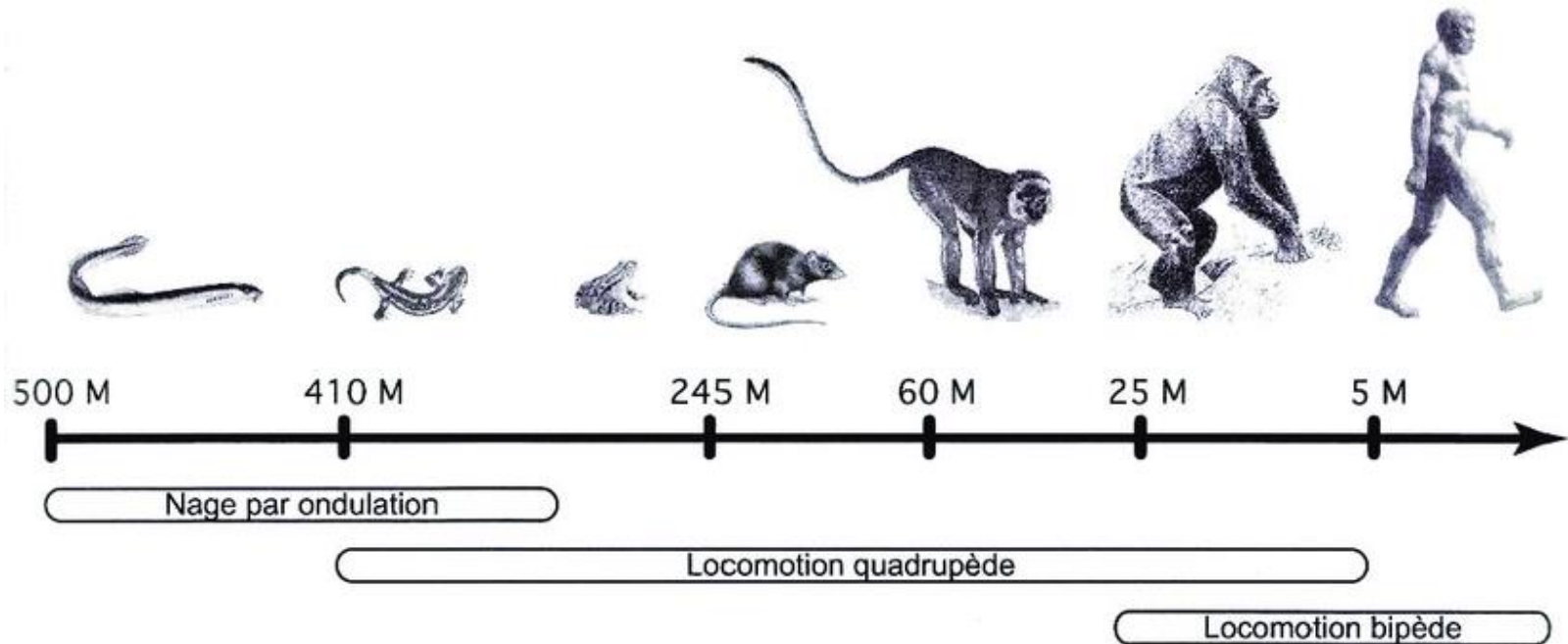


# Introduction à la locomotion humaine

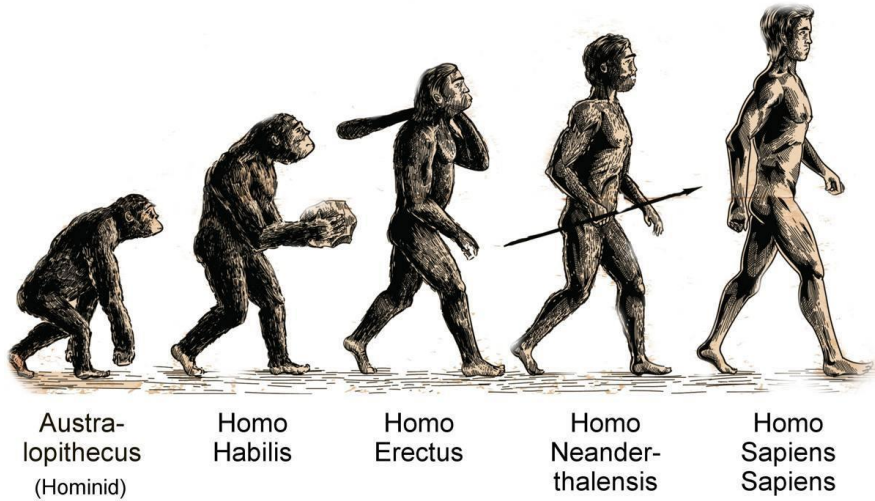
- Définitions
- Bipédie
- Importance de la marche
- Le mouvement
- Historique de l'analyse de la locomotion

# La bipédie – Phylogénèse

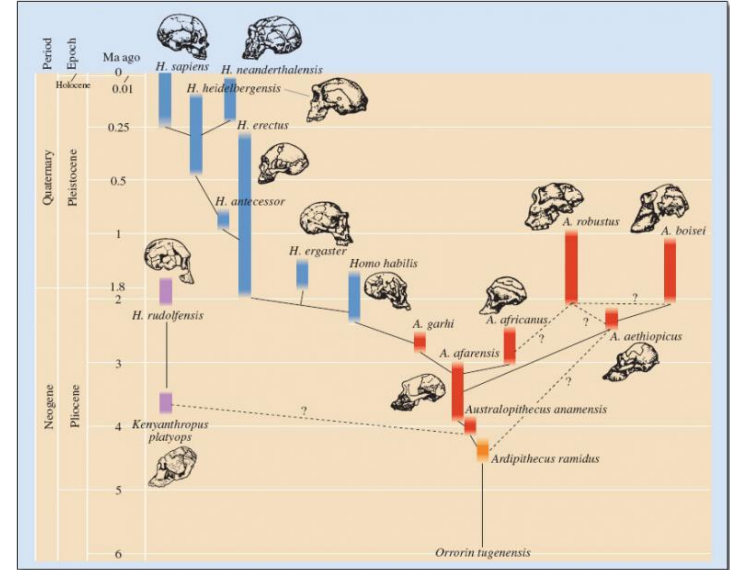
- Phylogénèse : Histoire évolutive d'une espèce
- Bipédie - Apparue environ 7Ma
- Posturale, occasionnelle, exclusive



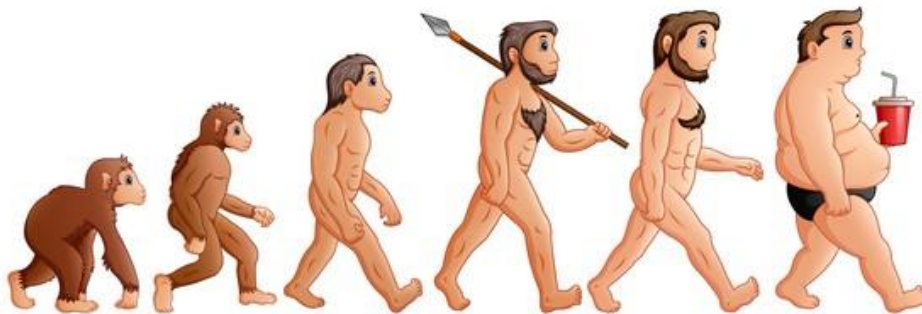
# L'évolution de la lignée humaine



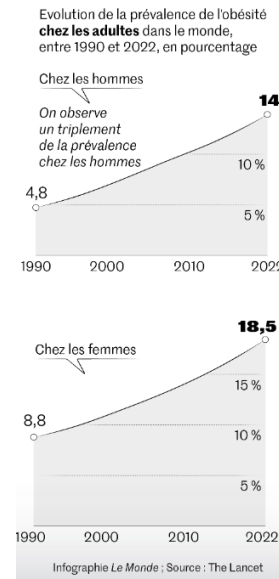
<https://hi-static.z-dn.net/files/daf/fdaa8dbac4a71ffe210dccdb66ec3b5a.jpg>



[https://geo.libretexts.org/@api/deki/files/27173/s182\\_10\\_003i.jpg?revision=1](https://geo.libretexts.org/@api/deki/files/27173/s182_10_003i.jpg?revision=1)

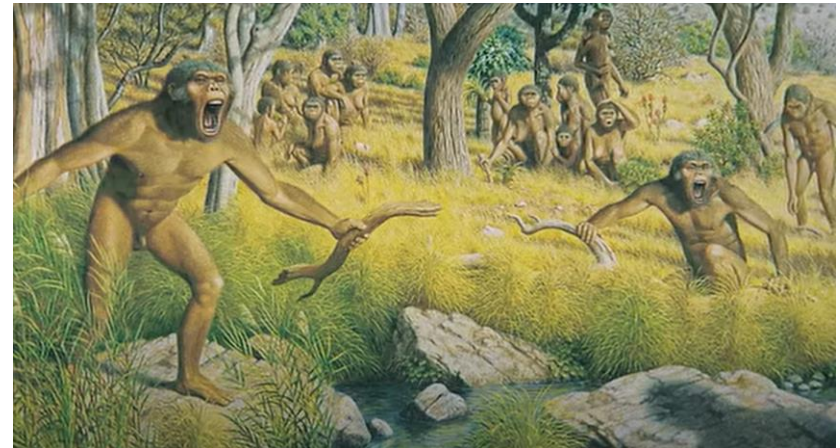


<https://www.shutterstock.com/fr/image-illustration/cartoon-human-evolution-723590704>



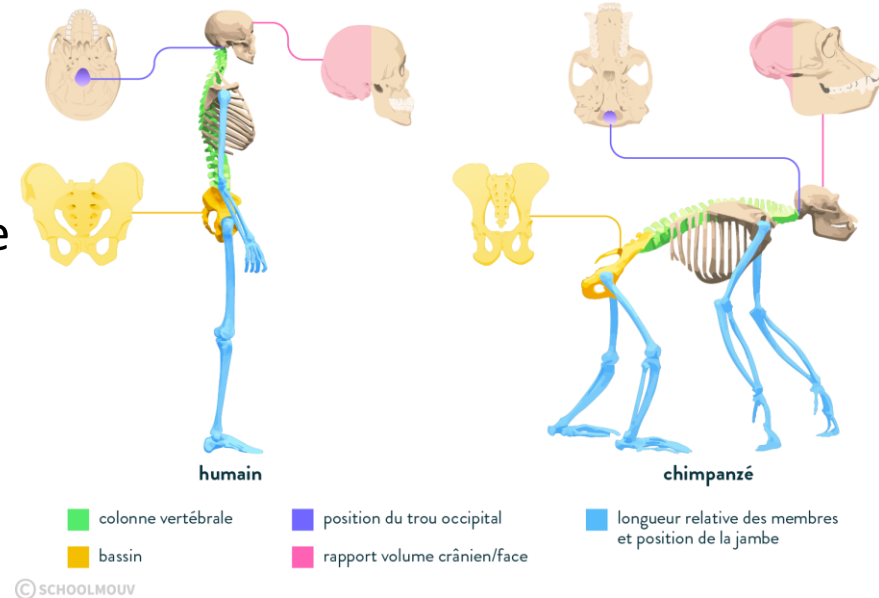
# Hypothèses de la bipédie

- Position érigée pour surveiller la savane
  - Comportement peu observé chez les singes
- Position érigée pour atteindre la nourriture
- Transport des bébés
  - Peu probable car pas rentable au niveau énergétique
- Transport de la nourriture ou d'outils
- Libération des mains
  - Plutôt une conséquence qu'une cause
- Economie d'énergie
- ...



# La bipédie – adaptations anatomiques

- Verticalisation du bassin
- Modification de l'articulation coxo-fémorale
  - Extension de la hanche
- Alignement des centres articulaires
- Redressement de la colonne vertébrale
  - Lordose lombaire
  - Position verticale de la tête
- Augmentation du volume du crâne
  - Passe de 500 à 1500 cm<sup>3</sup>
- Raccourcissement des membres supérieurs
  - Ratio m. sup /m. inf change
- Modifications importantes du pied
  - Apparition de la voûte plantaire
  - Perte de l'opposition de l'hallux
- Profil énergétique favorable à la position debout
  - Seulement 7% de consommation d'énergie en plus par rapport à la position allongée



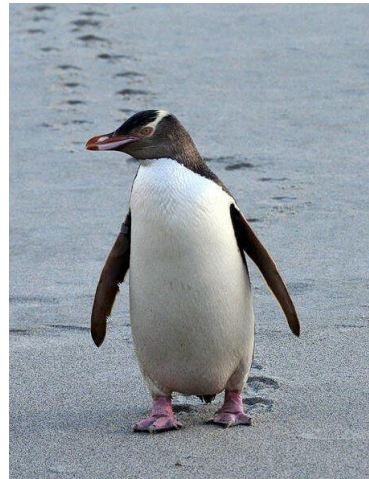
<https://kronos-images.schoolmouv.fr/ts-svt-c07-img04.png>

# La bipédie – propre à l'Homme

- La bipédie n'est pas exclusive à l'homme, mais l'homme est le seul primate à être un bipède permanent



<https://hominides.com/html/lieux/zoo-planckendael-parc-zoologique-visite.php>



<https://www.oiseaux.net/photos/yann.cambon/images/manchot.antipode.yaca.3g.800.w.jpg>



[https://fr.wikipedia.org/wiki/Bip%C3%A9die#/media/Fichier:Struthio\\_camelus\\_in\\_Serengeti\\_crop.jpg](https://fr.wikipedia.org/wiki/Bip%C3%A9die#/media/Fichier:Struthio_camelus_in_Serengeti_crop.jpg)



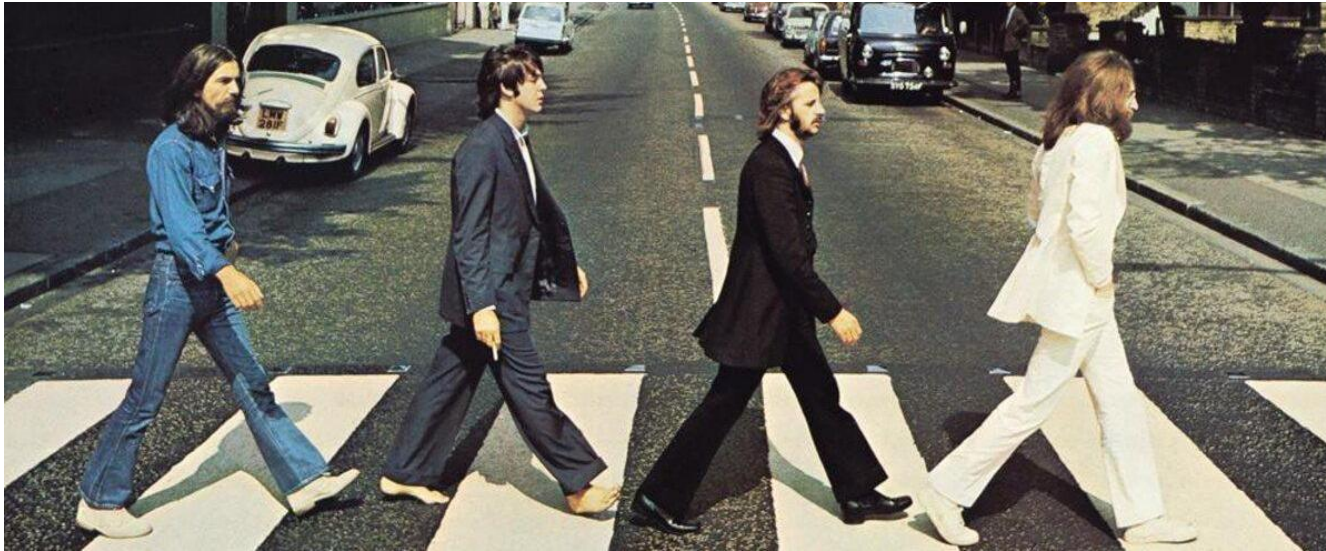
[https://fr.wikipedia.org/wiki/Suricate#/media/Fichier:Suricates,\\_Namibia-2.jpg](https://fr.wikipedia.org/wiki/Suricate#/media/Fichier:Suricates,_Namibia-2.jpg)

# Introduction à la locomotion humaine

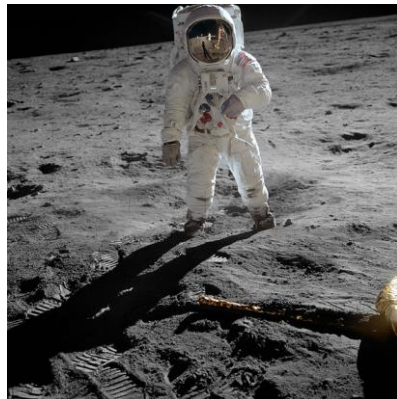
- Définitions
- Bipédie
- Importance de la marche
- Le mouvement
- Historique de l'analyse de la locomotion

# La marche – propre à l'Homme

- La marche liée à la bipédie exclusive est une des caractéristiques de l'Homo sapiens ...



Beatles, Abbey Road,  
1969



1<sup>st</sup> step on moon  
Mission Appollo 11,1969

# La marche – banale mais primordiale

- 1<sup>er</sup> moyen de déplacement
  - Entre 5 000 - 10 000 pas par jour
  - Très forte expertise



# La marche – une signature individuelle

- La démarche est une signature individuelle comme une empreinte digitale
- Nous avons tous une manière unique de nous déplacer



[https://fr.wikipedia.org/wiki/Empreinte\\_digitale#/media/Fichier:Fingerprintonpaper.jpg](https://fr.wikipedia.org/wiki/Empreinte_digitale#/media/Fichier:Fingerprintonpaper.jpg)

## Gait as evidence

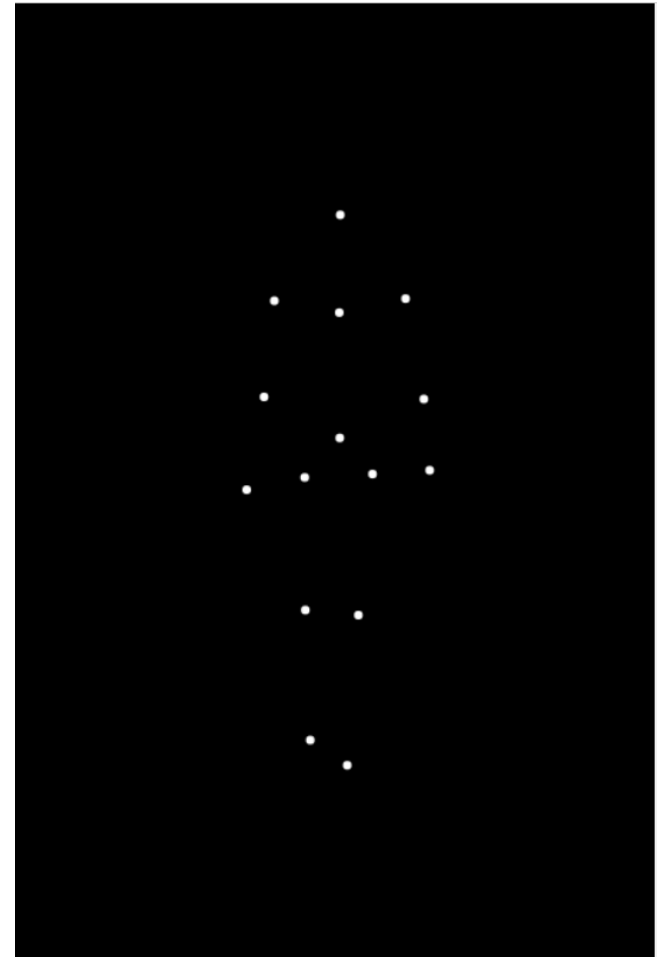
*Niels Lynnerup, Peter Kastmand Larsen*



# La marche – signature d'informations

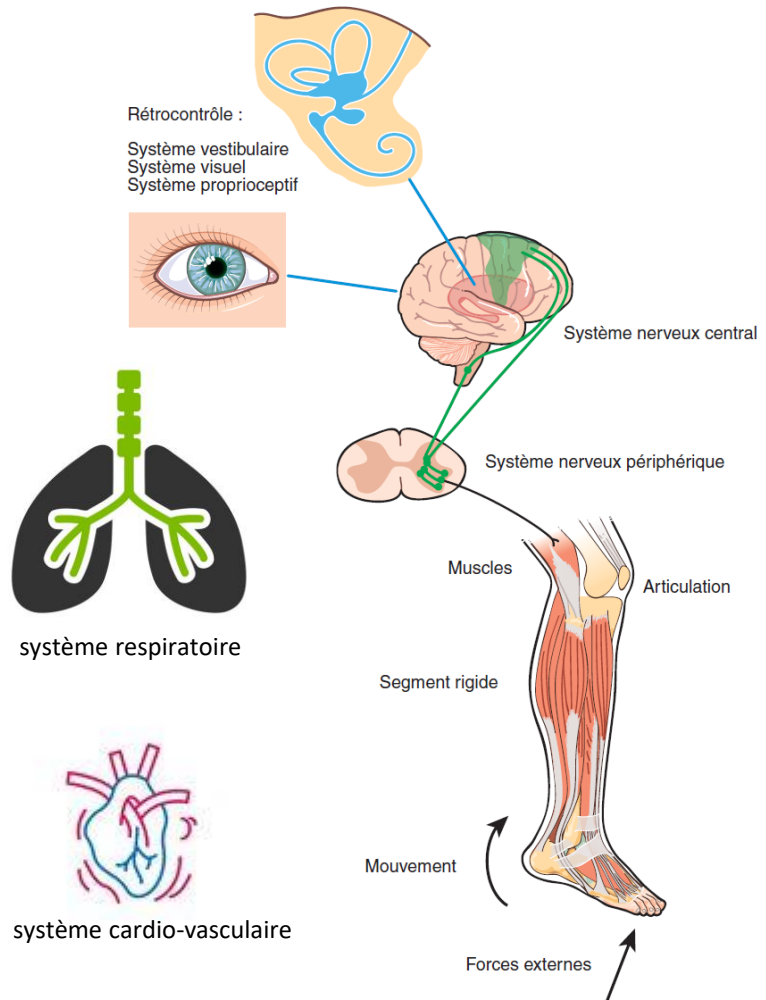
- Le mouvement humain contient une multitude d'informations sur les actions, les intentions, les émotions et les traits de personnalité d'une personne

<https://www.biomotionlab.ca/html5-bml-walker/>



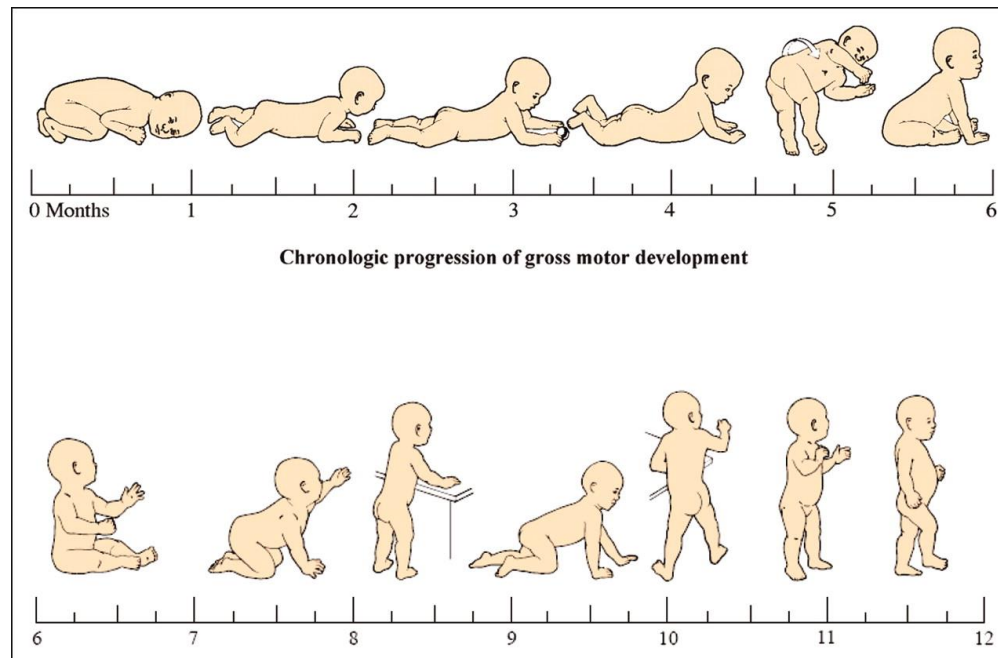
# La marche - une apparente simplicité

- Les systèmes impliqués dans la marche



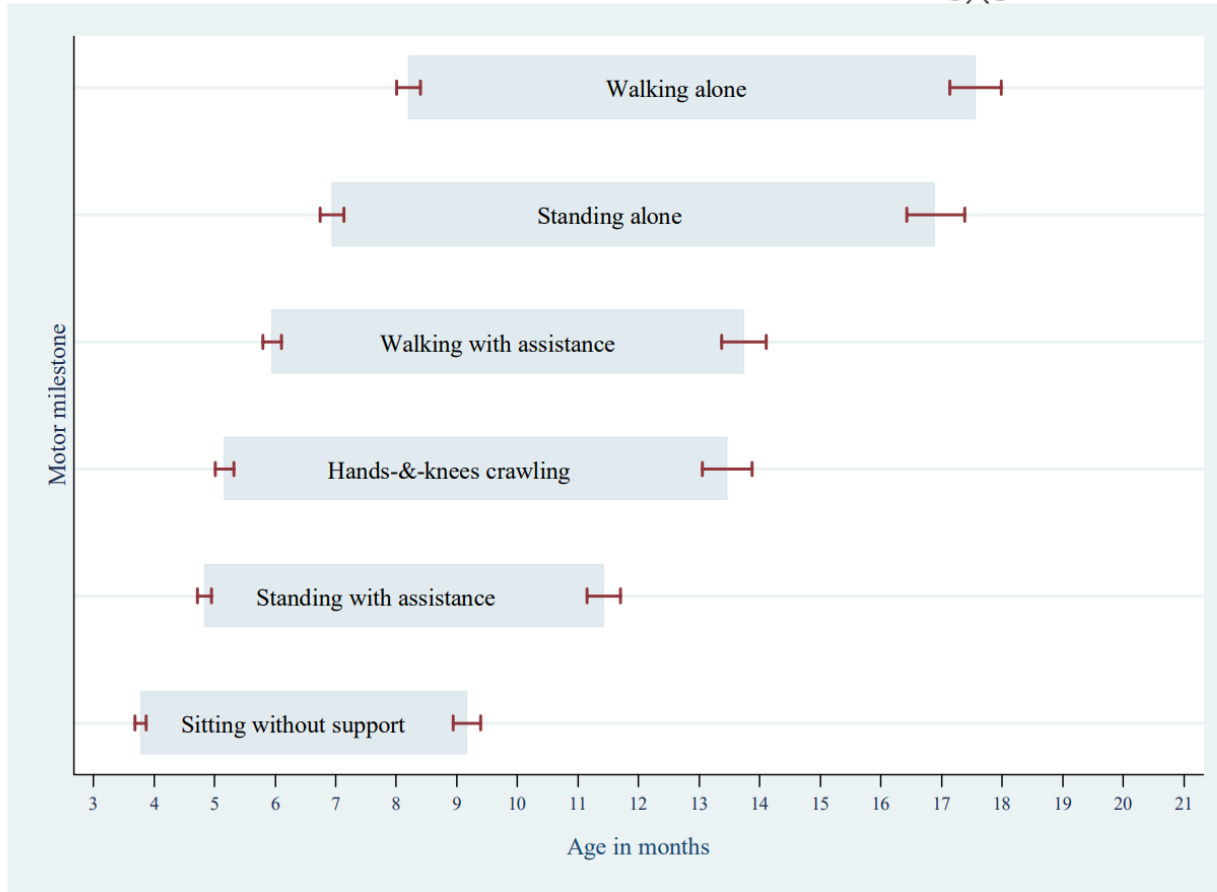
# La marche – un lent apprentissage

- L'âge de l'acquisition de la marche se situe entre de 11 et 18 mois
- Nécessite la maturation des systèmes
- Marche mature autour de 6 à 8 ans



# Age des acquisitions motrices

## Windows of achievement for six gross motor milestones



Reference: WHO Multicentre Growth Reference Study Group. WHO Motor Development Study: Windows of achievement for six gross motor development milestones. Acta Paediatrica Supplement 2006;450:86-95.

# La vitesse de marche – un signe vital ?

## Gait Speed and Survival in Older Adults

Stephanie Studenski, MD, MPH  
 Subashan Perera, PhD  
 Kushang Patel, PhD  
 Caterina Rosano, MD, PhD  
 Kimberly Faulkner, PhD  
 Marco Inzitari, MD, PhD  
 Jennifer Brach, PhD  
 Julie Chandler, PhD  
 Peggy Cawthon, PhD  
 Elizabeth Barrett Connor, MD  
 Michael Nevitt, PhD  
 Marjolein Visser, PhD  
 Stephen Kritchevsky, PhD  
 Stefania Badinelli, MD  
 Tamara Harris, MD  
 Anne B. Newman, MD  
 Jane Cauley, PhD  
 Luigi Ferrucci, MD, PhD  
 Jack Guralnik, MD, PhD

**Context** Survival estimates help individualize goals of care for geriatric patients, but life tables fail to account for the great variability in survival. Physical performance measures, such as gait speed, might help account for variability, allowing clinicians to make more individualized estimates.

**Objective** To evaluate the relationship between gait speed and survival.

**Design, Setting, and Participants** Pooled analysis of 9 cohort studies (collected between 1986 and 2000), using individual data from 34 485 community-dwelling older adults aged 65 years or older with baseline gait speed data, followed up for 6 to 21 years. Participants were a mean (SD) age of 73.5 (5.9) years; 59.6%, women; and 79.8%, white; and had a mean (SD) gait speed of 0.92 (0.27) m/s.

**Main Outcome Measures** Survival rates and life expectancy.

**Results** There were 17 528 deaths; the overall 5-year survival rate was 84.8% (confidence interval [CI], 79.5%–88.8%) and 10-year survival rate was 59.7% (95% CI, 46.5%–70.6%). Gait speed was associated with survival in all studies (pooled hazard ratio per 0.1 m/s, 0.88; 95% CI, 0.87–0.90,  $P < .001$ ). Survival increased across the full range of gait speeds, with significant increments per 0.1 m/s. At age 75, predicted 10-year survival across the range of gait speeds ranged from 19% to 87% in men and from 35% to 91% in women. Predicted survival based on age, sex, and gait speed was as accurate as predicted based on age, sex, use of mobility aids, and self-reported function or as age, sex, chronic conditions, smoking history, blood pressure, body mass index, and hospitalization.

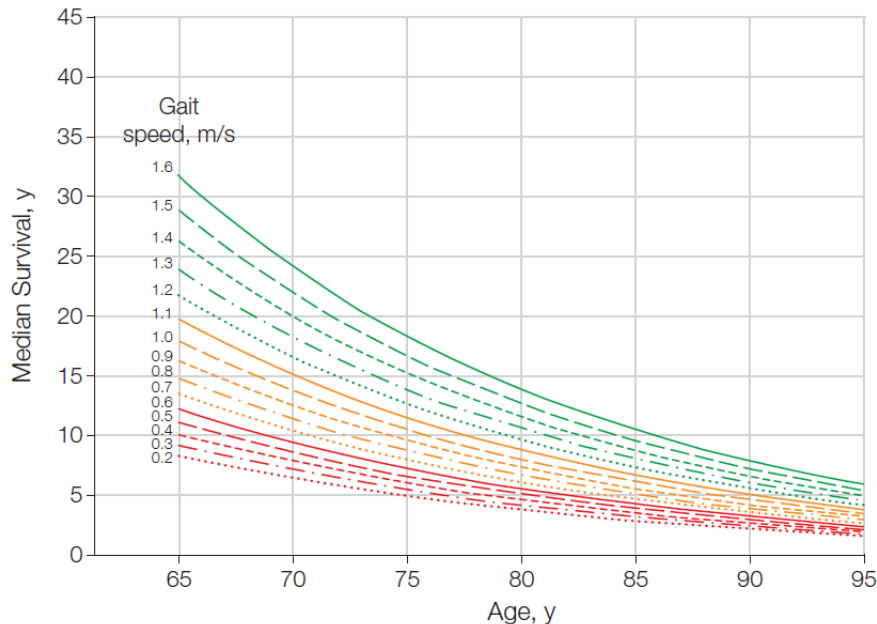
**Conclusion** In this pooled analysis of individual data from 9 selected cohorts, gait speed was associated with survival in older adults.

JAMA. 2011;305(17):50–58

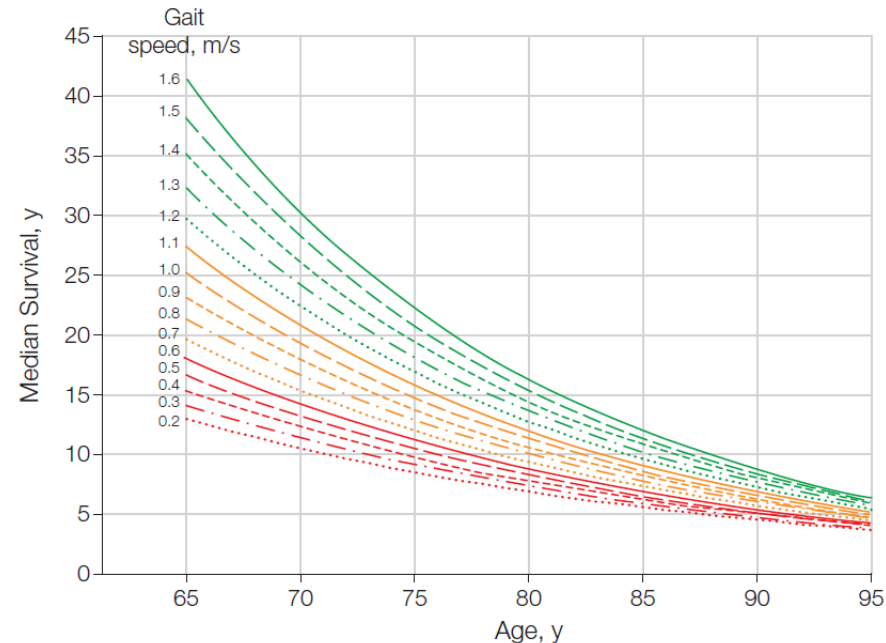
www.jama.com

34 485 participants / 17 528 décès

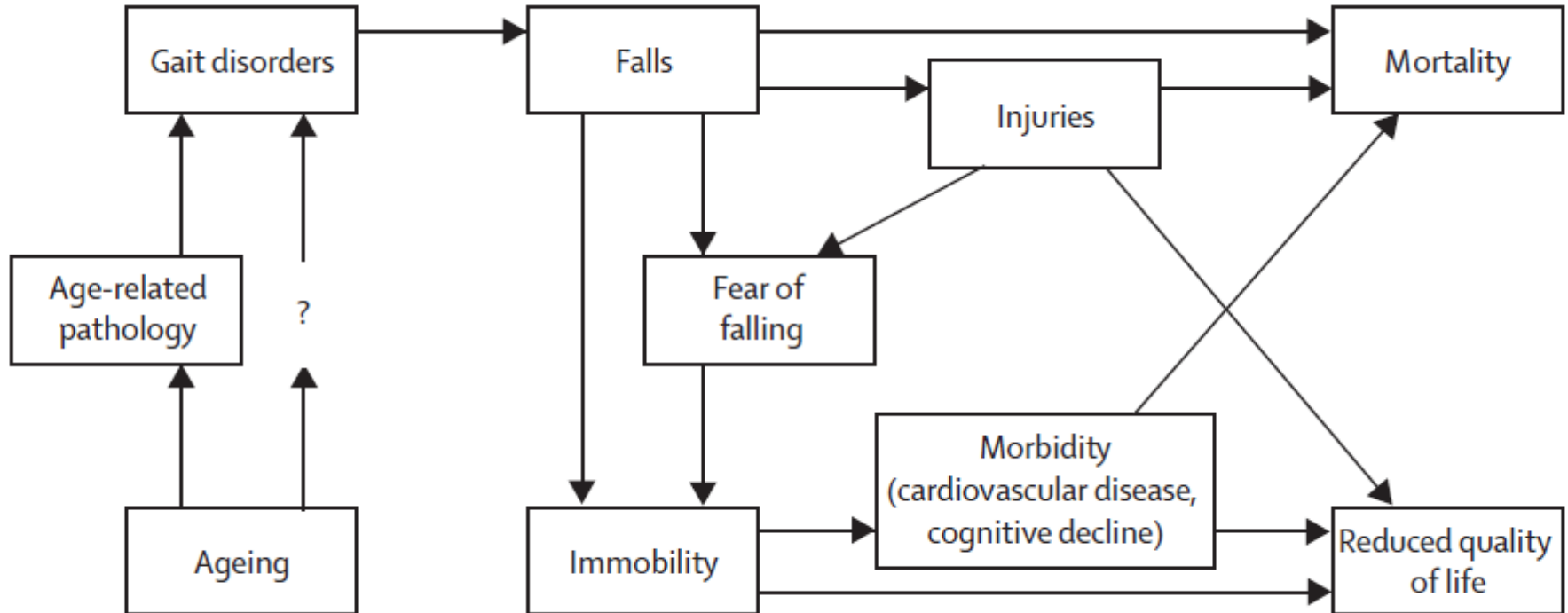
Men



Women



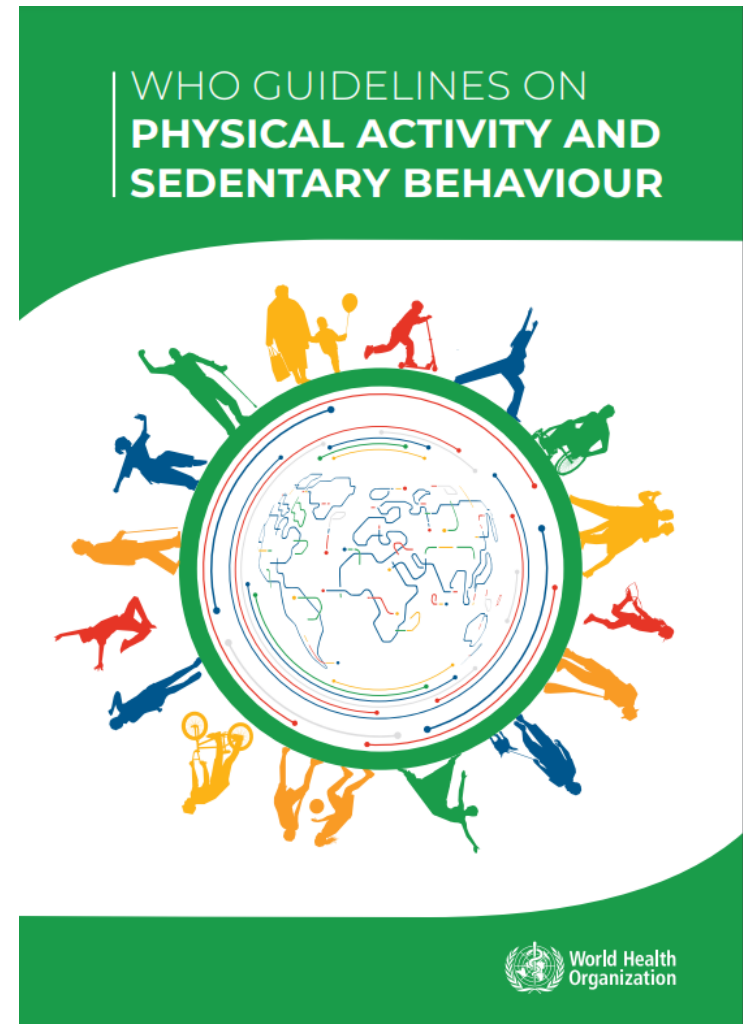
# Marche, chute et mortalité



Snijders et al., 2007, Lancet Neurology

# Marche et activité physique

- Moyen facile pour faire de l'activité physique



World Health Organization. Guidelines on physical activity and sedentary behaviour. Geneva: World Health Organization, 2020.

# Restaurer la marche

- Pour restaurer l'autonomie

## Arthrose



[https://media.istockphoto.com/photos/knee-prosthesis-picture-id183042410?k=6&m=183042410&s=612x612&w=0&h=F6hY-A16x7Ddk5wwluj\\_NrjaiDhJyX4r36JEL6Nwic=](https://media.istockphoto.com/photos/knee-prosthesis-picture-id183042410?k=6&m=183042410&s=612x612&w=0&h=F6hY-A16x7Ddk5wwluj_NrjaiDhJyX4r36JEL6Nwic=)

## Amputation



[https://lejournald.cnrs.fr/sites/default/files/styles/lightbox-hd/public/assets/images/050only\\_0027804\\_72dpi.jpg?itok=Q9JtmclL](https://lejournald.cnrs.fr/sites/default/files/styles/lightbox-hd/public/assets/images/050only_0027804_72dpi.jpg?itok=Q9JtmclL)

## Paralysie



[https://www.sciencesetavenir.fr/sante/l-homme-bionique-est-en-marche\\_157958](https://www.sciencesetavenir.fr/sante/l-homme-bionique-est-en-marche_157958)

# Restaurer la marche

- Pour restaurer l'autonomie

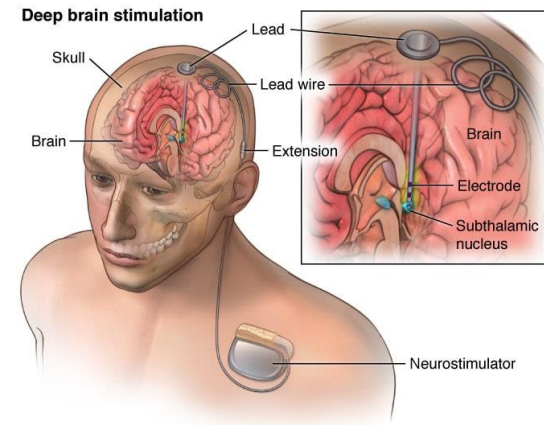
## Lésion de la moelle épinière



<https://www.epfl.ch/labs/courtine-lab/>

Activity-dependent spinal cord neuromodulation rapidly restores trunk and leg motor functions after complete paralysis, Nature Medicine, February 7 2022, DOI: <https://doi.org/10.1038/s41591-021-01663-5>

## Maladie de Parkinson



[https://www.georgetowntexasparkinsons.com/uploads/7/3/2/3/73238051/deep-brain\\_1\\_orig.jpg](https://www.georgetowntexasparkinsons.com/uploads/7/3/2/3/73238051/deep-brain_1_orig.jpg)

# Introduction à la locomotion humaine

- Définitions
- Bipédie
- Importance de la marche
- Le mouvement
- Historique de l'analyse de la locomotion

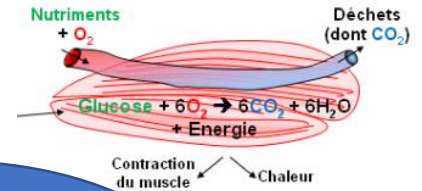
# Mouvement

- Fondamental pour la vie

*"Faire bouger les choses est tout ce que l'humanité peut faire, et pour cela le seul exécutant est un muscle, qu'il s'agisse de murmurer une syllabe ou d'abattre une forêt"*  
Sherrington

*"Le mouvement est l'acte le plus important en ce que toutes les fonctions empruntent son concours pour s'accomplir"*  
Marey

# Éléments clés du mouvement

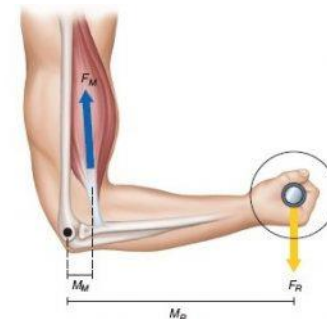


Contrôle

Énergie



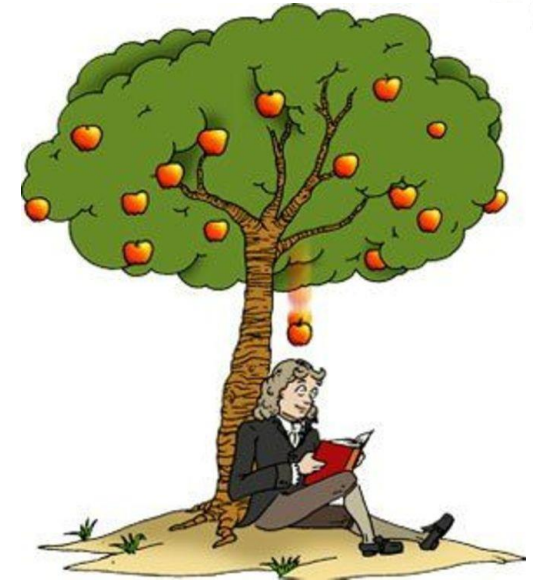
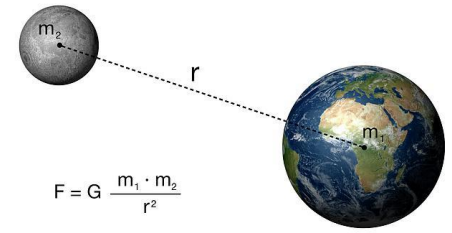
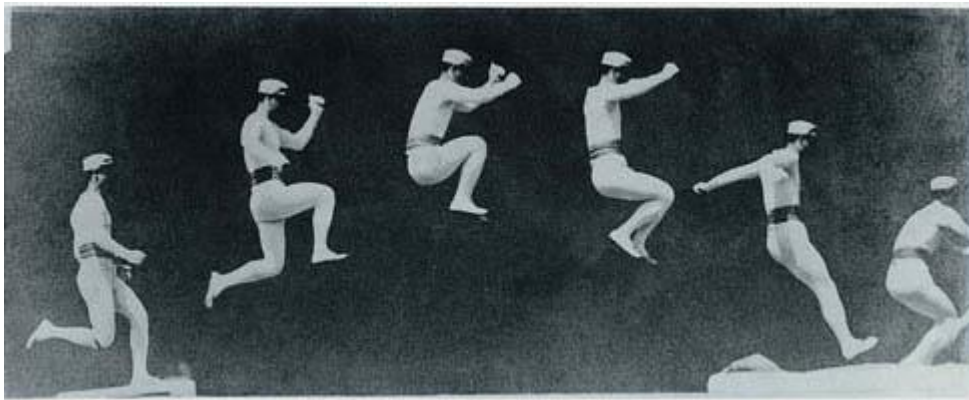
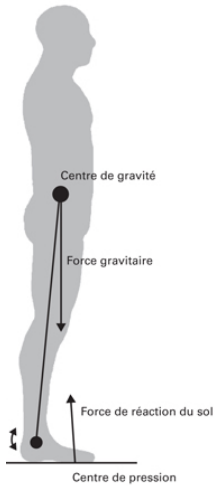
Production



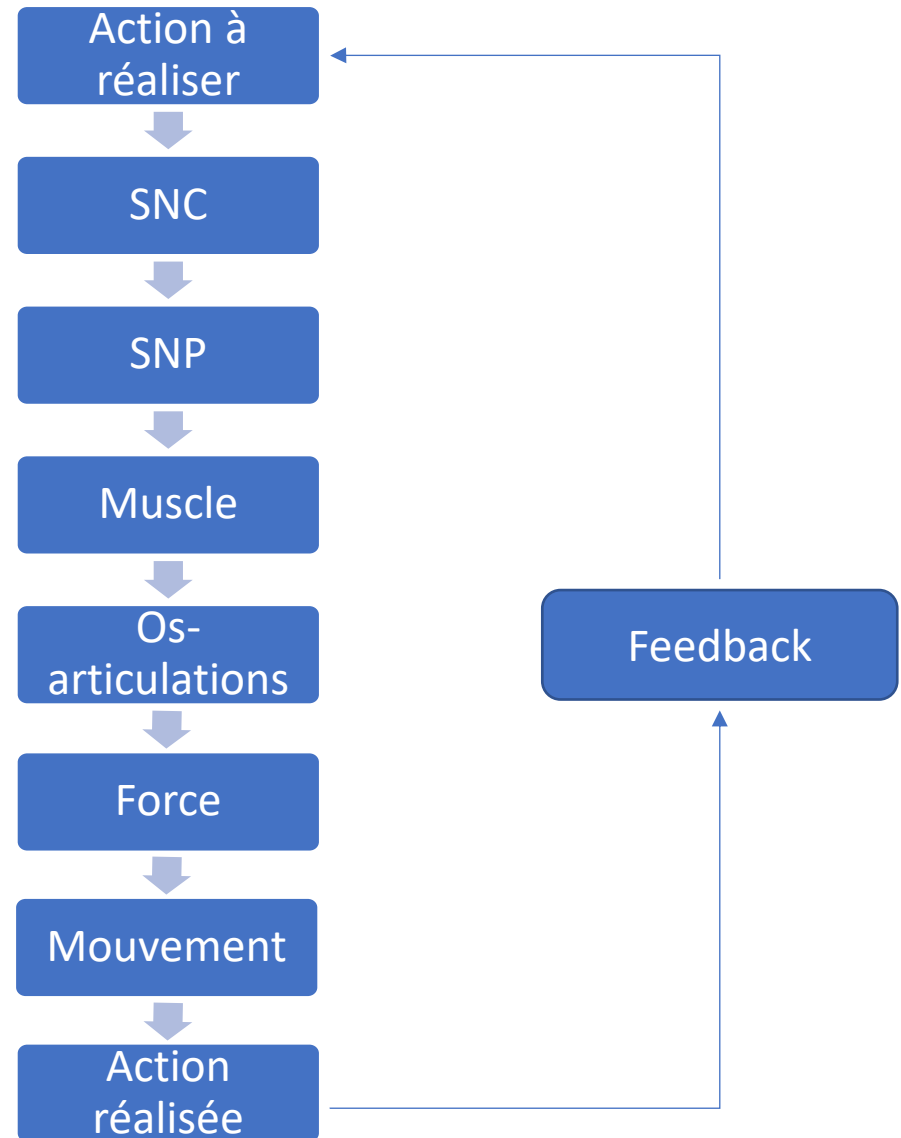
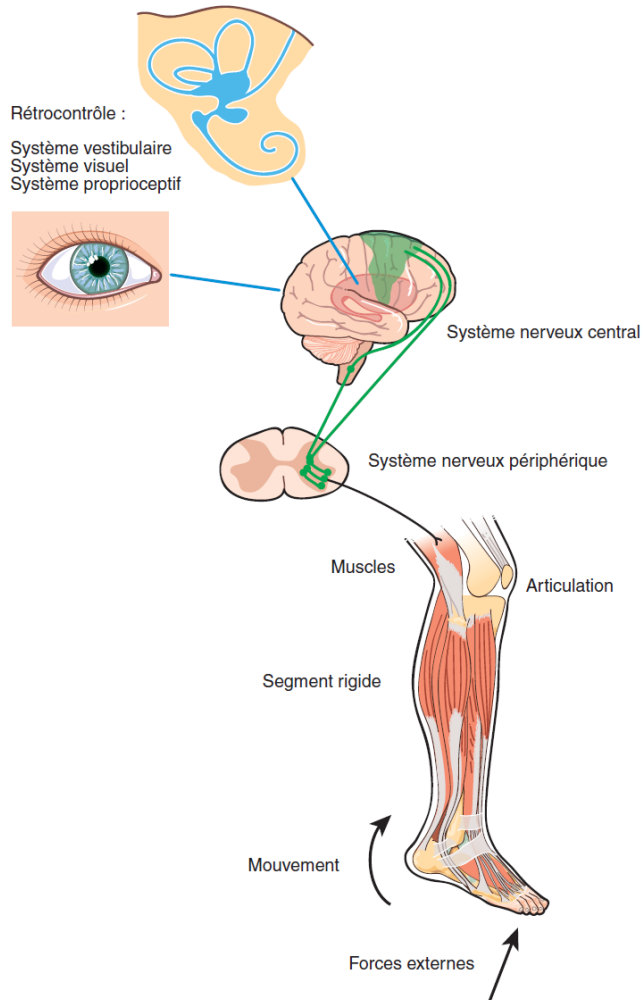
# Importance de la gravité

- $P = m \times g$

Poids = masse x l'accélération de la pesanteur

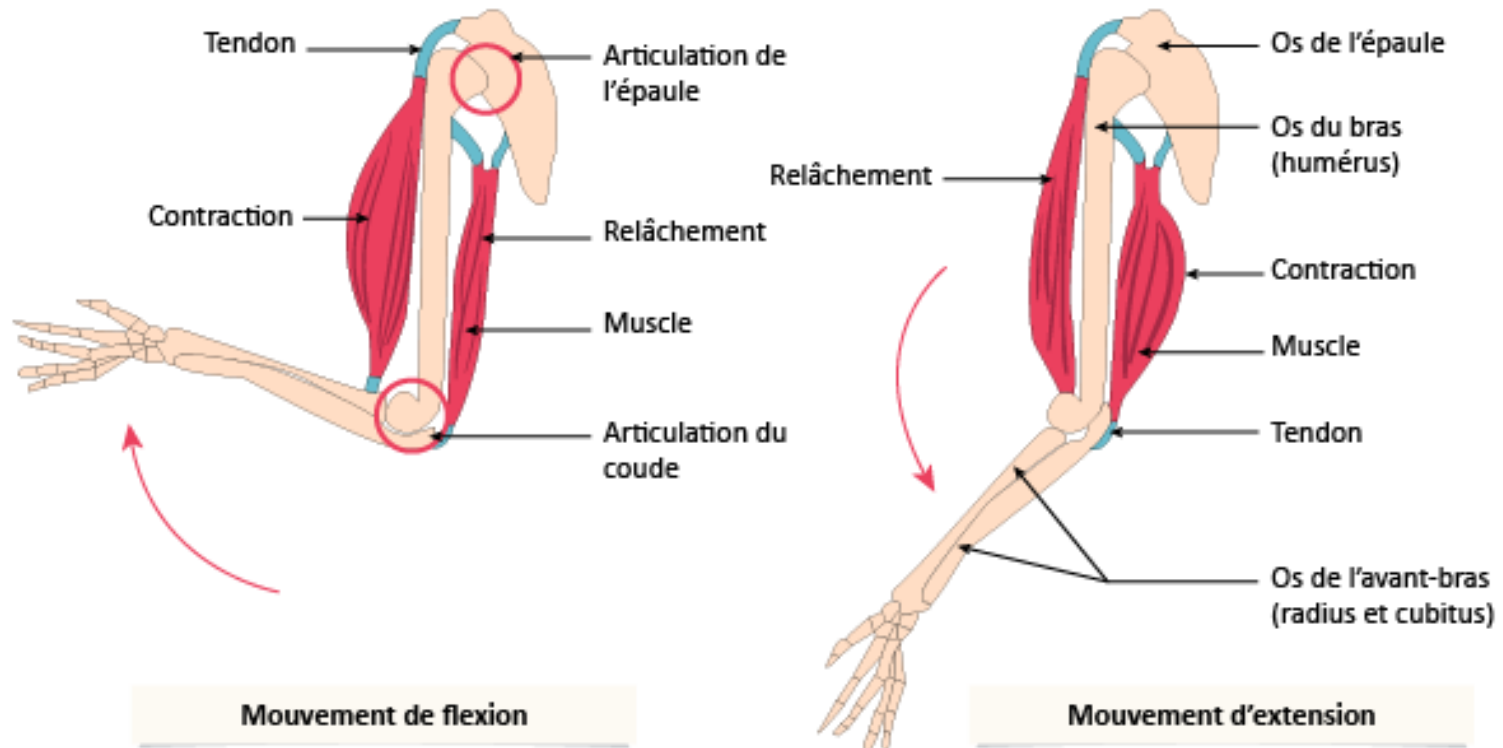


# Mouvement volontaire



# Mouvement de déplacement de segments

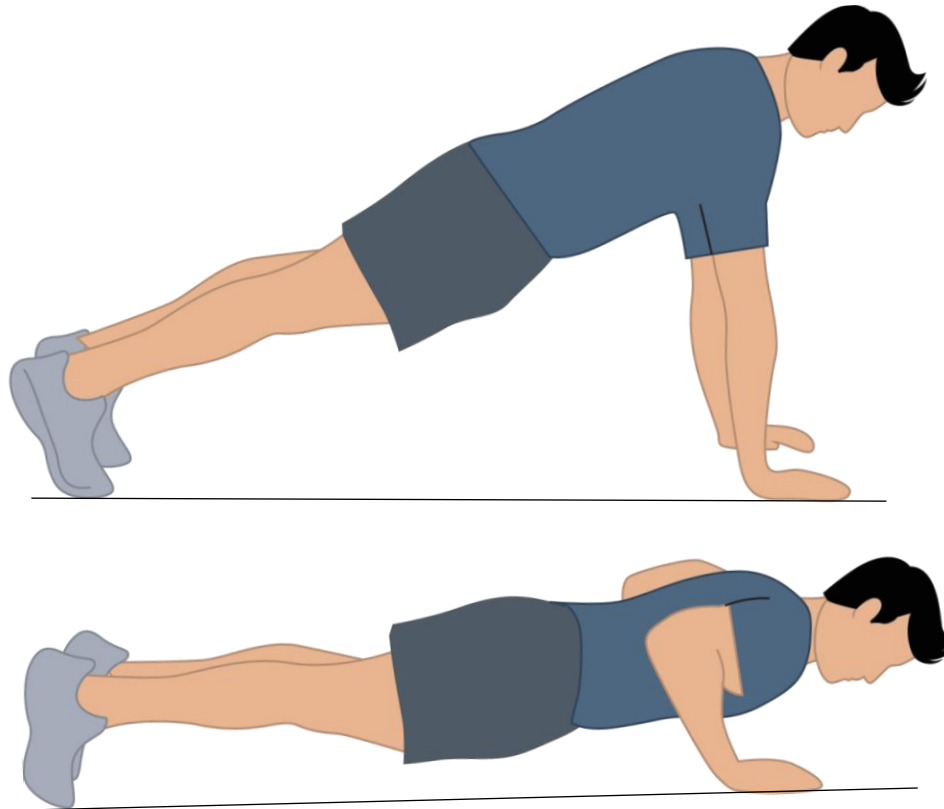
**Chaîne ouverte : Mouvement où le segment distal bouge librement et sans résistance**



# Mouvement de déplacement du corps

Chaine fermée : Mouvement où le segment distal rencontre une résistance

→ Permet un déplacement de l'ensemble du corps



# Introduction à la locomotion humaine

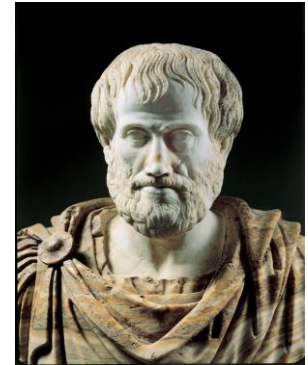
- Définitions
- Bipédie
- Importance de la marche
- Le mouvement
- Historique de l'analyse de la locomotion

# Emergence de la compréhension de la locomotion humaine

- Développements théoriques
  - Philosophie
  - Anatomie
  - Biomécanique
  - Mécanique
  - Physiologie
- Développements techniques
  - La mesure du mouvement
  - La mesure des forces
  - La mesure de l'activité musculaire
  - La mesure de l'énergie

# Théorique - Philosophie

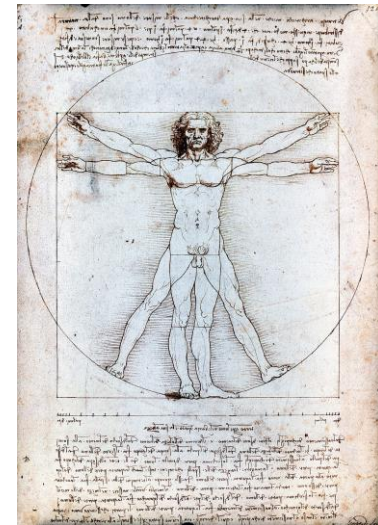
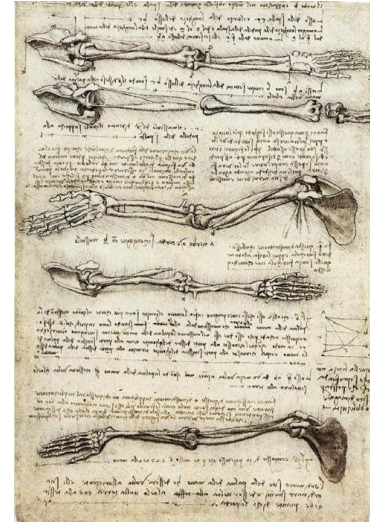
- Aristote (384-322 av JC)
  - premières réflexions sur le mouvement
  - Philosophe et polymathe grec de l'Antiquité
  - Notion de temps, de durée et d'origine du mouvement → Concept de mouvement
  - Traité sur la locomotion animale «Marche des animaux, Mouvement des animaux»
  - *"Si un homme marchait sur le sol le long d'un mur avec un roseau trempé dans l'encre attaché à sa tête, la ligne tracée par le roseau ne serait pas droite mais en zigzag, parce qu'elle descend quand il se penche et monte quand il se tient droit et s'élève".*



# Théorique – Anatomie et biomécanique

- De Vinci (1452-1519)
  - Peintre italien polymathe  
(artiste, scientifique, ingénieur, inventeur, anatomiste, sculpteur, architecte, urbaniste, botaniste, musicien, philosophe et écrivain)
  - Un des 1ers à faire des dissections

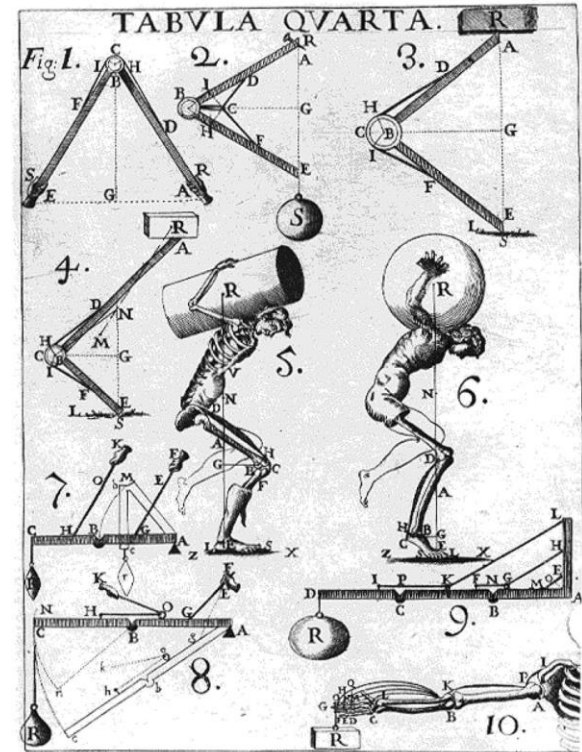
*« La science de la mécanique est en cela si noble et utile en comparaison à toutes les autres sciences, qu'il se peut que tous les organismes vivants ayant la possibilité de se mouvoir soient régis selon ses lois »*



[https://fr.wikipedia.org/wiki/Homme\\_de\\_Vitruve#/media/Fichier:Vitruvian\\_Man\\_by\\_Leonardo\\_da\\_Vinci.jpg](https://fr.wikipedia.org/wiki/Homme_de_Vitruve#/media/Fichier:Vitruvian_Man_by_Leonardo_da_Vinci.jpg)

# Théorique - Anatomie et biomécanique

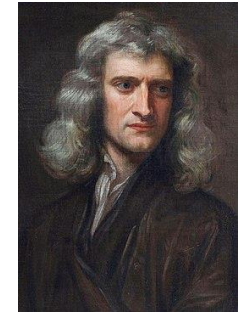
- Borelli (1608–1679)
  - Mathématicien, philosophe, astronome, médecin et physiologiste italien
  - Père de la biomécanique
  - Etudie la locomotion sur terre, dans l'eau et dans l'air avec la marche des animaux, la nage des poissons et le vol des oiseaux
  - Détermine le centre de masse
  - *De Motu Animalum* (1680)



# Théorique - Les fondements de la (bio)mécanique

- Newton (1642-1727)

- Mathématicien, physicien, philosophe, alchimiste, astronome et théologien anglais
- *Philosophiæ naturalis principia mathematica* (1687)
- Trois lois du mouvement

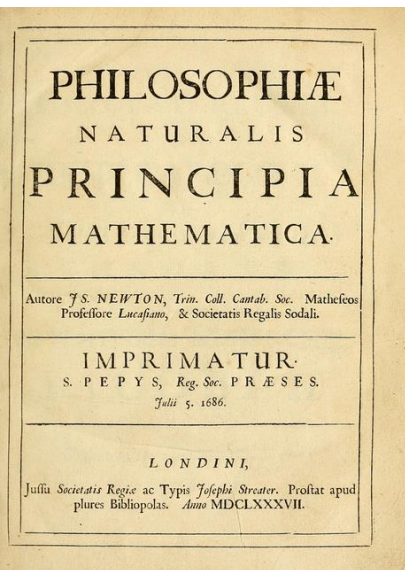


- « Tout corps persévère dans l'état de repos ou de mouvement uniforme en ligne droite dans lequel il se trouve, à moins que quelque force n'agisse sur lui, et ne le contraigne à changer d'état. »
- « Les changements qui arrivent dans le mouvement sont proportionnels à la force motrice ; et se font dans la ligne droite dans laquelle cette force a été imprimée. »
- « L'action est toujours égale à la réaction ; c'est-à-dire que les actions de deux corps l'un sur l'autre sont toujours égales et de sens contraires. »

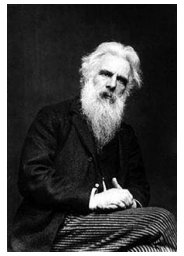
$$\sum \vec{F} = 0$$
$$\sum \tau_z = 0$$

$$\sum_i \vec{F}_i = m\vec{a}$$

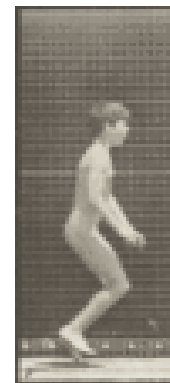
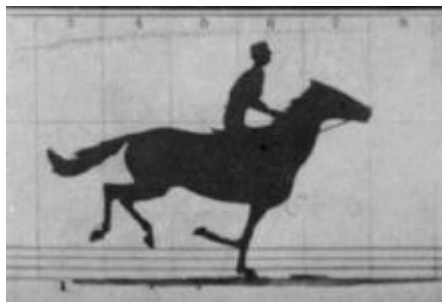
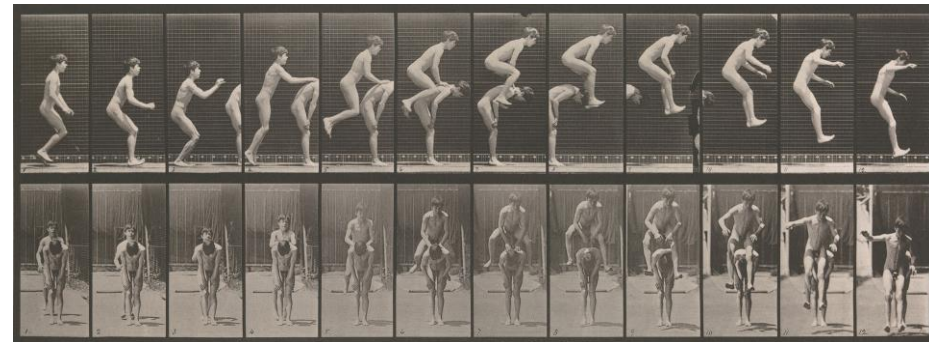
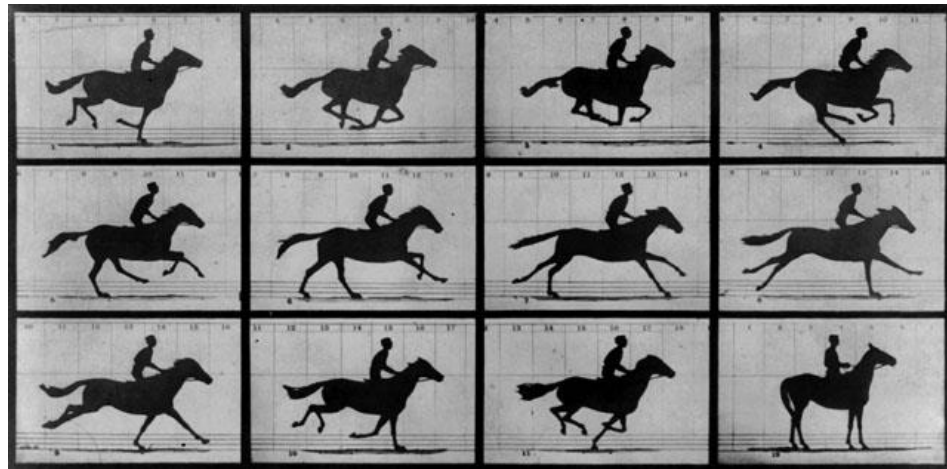
$$\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A}$$



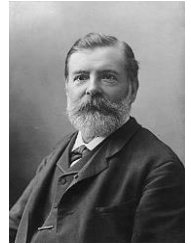
# Technique – Mesure du mouvement



- EJ. Muybridge (1830-1904)
  - Photographe anglais
  - Image pour décomposer le mouvement



# Technique - Mesure physiologique



- EJ. Marey (1830-1904)
  - Médecin physiologiste français
  - **Méthode graphique :**
    - Méthode selon laquelle au moyen des appareils enregistreurs il est possible d'inscrire sur du papier au moyen d'un stylet, les traces des mouvements (et de leurs variations) sur une échelle de temps.
  - Quelques appareils
    - Sphygmographe pour enregistrer le pouls
    - Pneumographe pour relever les mouvements respiratoires
    - Myographe pour étudier les muscles
    - Odographe pour l'étude de la marche
    - Polygraphe pour étudier la respiration, enregistrer les battements du cœur ou du pouls.
    - Cardiographe...

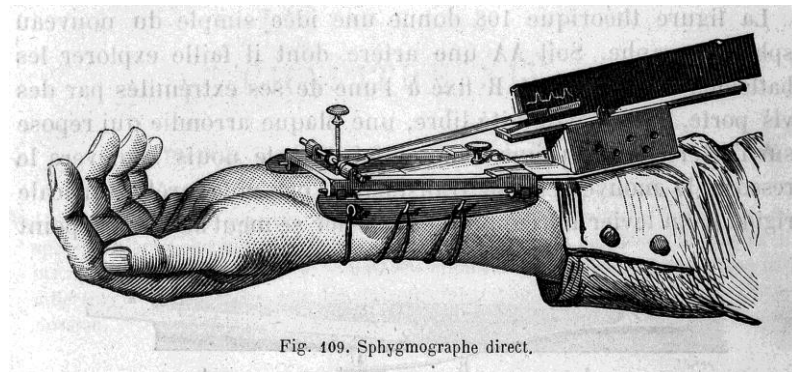
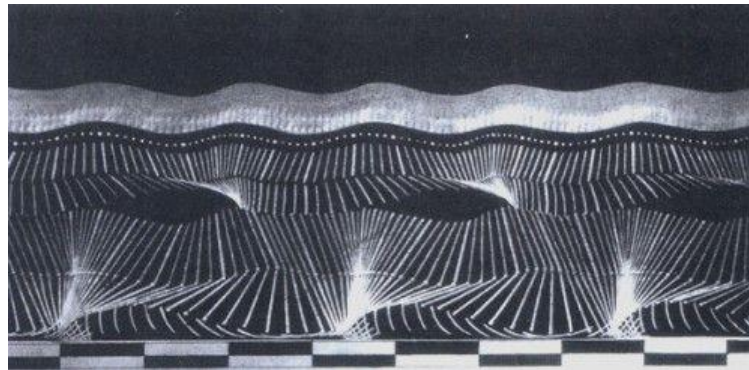


Fig. 109. Sphygmographe direct.

# Technique – Mesure du mouvement

- EJ. Marey (1830-1904)
  - Chronophotographie
    - 1ère représentation segmentaire du corps humain :  
**Kinésiogramme de la marche**

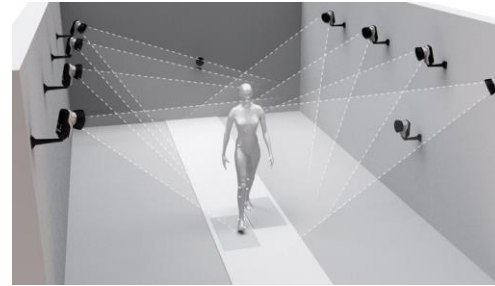


# Ce qui me meut de Klapish, 1989



# Technique – Mesures contemporaines

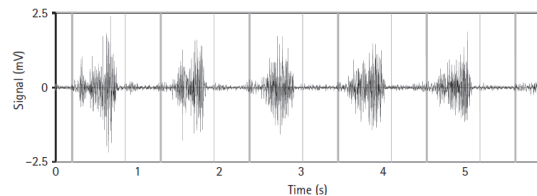
- La mesure du mouvement



- La mesure des forces



- La mesure de l'activité musculaire



- La mesure de l'énergie



# Conclusions

- La locomotion est une **fonction biologique fondamentale** qui permet :
  - d'interagir avec l'environnement
  - de se déplacer
  - de maintenir l'autonomie
- La marche humaine :
  - repose sur la bipédie et ses adaptations anatomiques
  - est un comportement moteur complexe
  - est un indicateur important de santé
- Le mouvement, nécessaire à la locomotion, dépend de :
  - la production de force
  - du contrôle moteur
  - l'apport énergétique
- Techniques d'analyse de la locomotion
  - Mouvement
  - Force
  - Activité musculaire
  - Dépense énergétique

# Questions



- Speakup

<https://web.speakup.info/room/join/39512>

