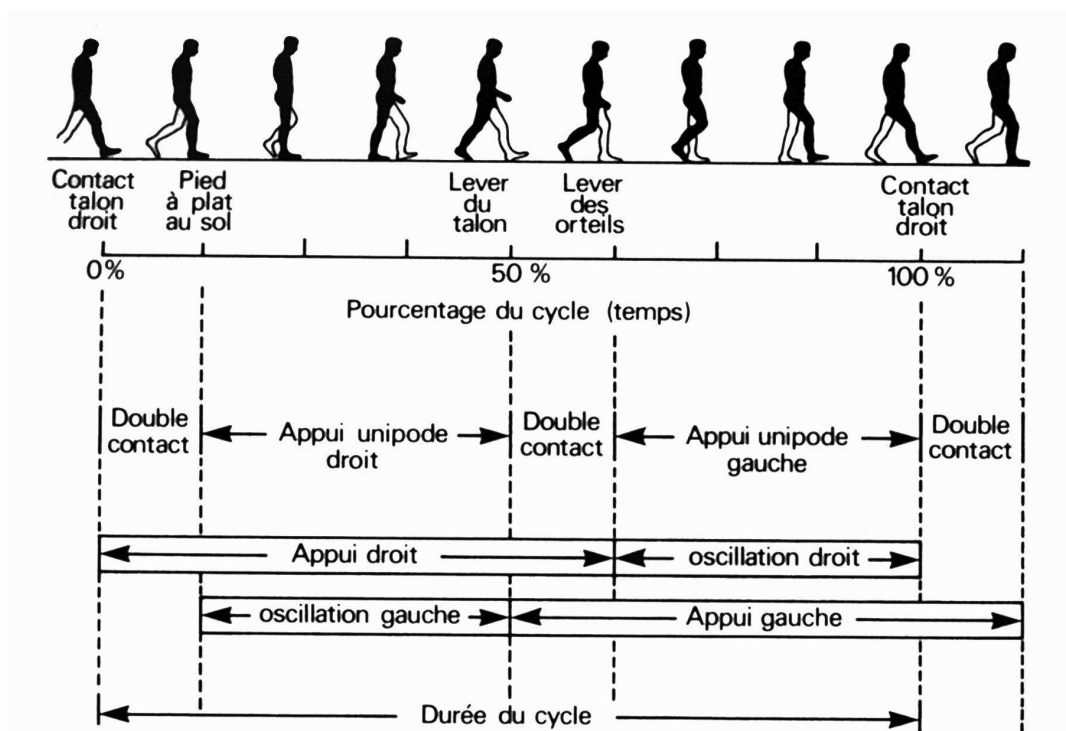
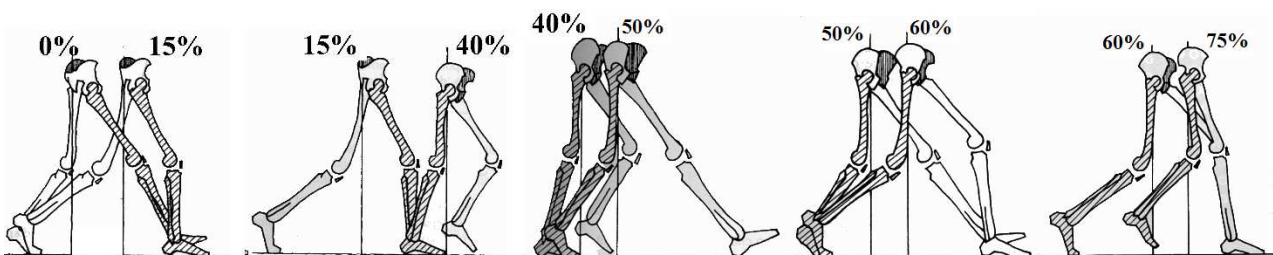


LA MARCHÉ HUMAINE

I) Les mouvements du squelette

Comment la marche est peu pénible, aisée, et automatisée.

Centre de masse S2. Essayer d'avoir la marche décrivant la plus petite sinusoïde possible pour être économique en énergie.



Oscillation :

C'est l'action qui permet de se déplacer dans l'espace pendant que le pied controlatéral assure l'équilibre. Alternance oscillation gauche appui droit et oscillation droit appui gauche.

1. Deport latéral du bassin

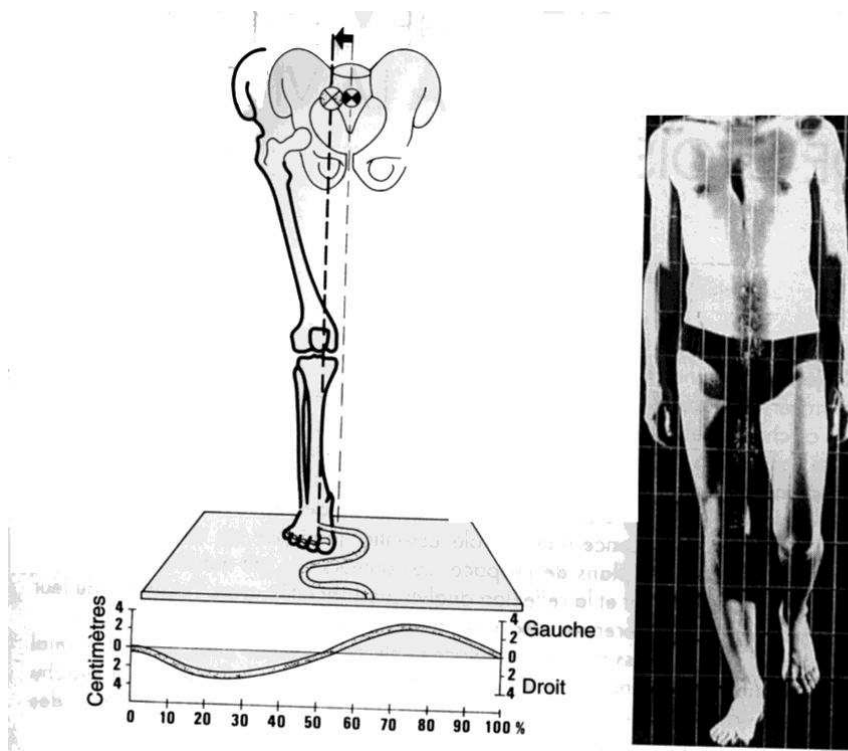
Le deport latéral précède les autres actions avant de décoller le pied. Il s'agit d'amener la projection du centre de gravité au dessus du centre du talon porteur.

Étude de Marey en 1878.

Il note que les oscillations horizontales sont deux fois moins nombreuses que les verticales.

Le deport initial constitue le prélude à la suite des mouvements du squelette.

Il est facilitateur s'il existe, et inhibiteur de la suite d'actions s'il est impossible.



a. Influence du genu valgum :

Angulation entre le fémur et le tibia.

La largeur du bassin influence beaucoup la marche, et la vulnérabilité du genou, qui est d'autant plus importante que le fémur est court.

Si les sujets féminins offrent souvent l'apparence d'un bassin plus large que leurs homologues masculins, il s'agit d'une variation dans le ratio largeur du bassin/longueur du fémur. Le fémur court est plus incliné sur la verticale, et la déviation du tibia qui en résulte est plus visible.

Le genu varum n'est pas une gêne pour la marche mais, puisque les pieds doivent se trouver au même point d'application de la contrainte, les conséquences pour le genou sont, à terme, péjorantes.

b. Liberté dans l'articulation sub-talaire.

La valeur du déport latéral a été estimée au voisinage de 10° à 11° (débattement du pilon tibial par rapport au pied fixé au sol) La position en éversion du pied au sol correspond à un départ latéral du membre inférieur. La faible valeur goniométrique du débattement est compensée par la longueur du squelette.

Le tarse postérieur

Il est en éversion (pronation) de 0% à 44% du cycle de marche (appui).

Il est en inversion (supination) entre 90% et 100% et attaque le sol en attitude d'inversion.

Pierrynowski a observé que l'arrière pied est constamment en éversion (valgus, ou pronation) pendant la phase d'appui (environ 7,2), puis apparaît une inversion (varus, ou supination) modérée qui se produit en début de phase d'oscillation. L'examen statique en équilibre sur un pied (éversion proche de 10°) rend compte de ce qui se produira lorsque le marcheur sera en phase d'appui unipode.

c. Action en rebond du bassin au démarrage du premier pas.

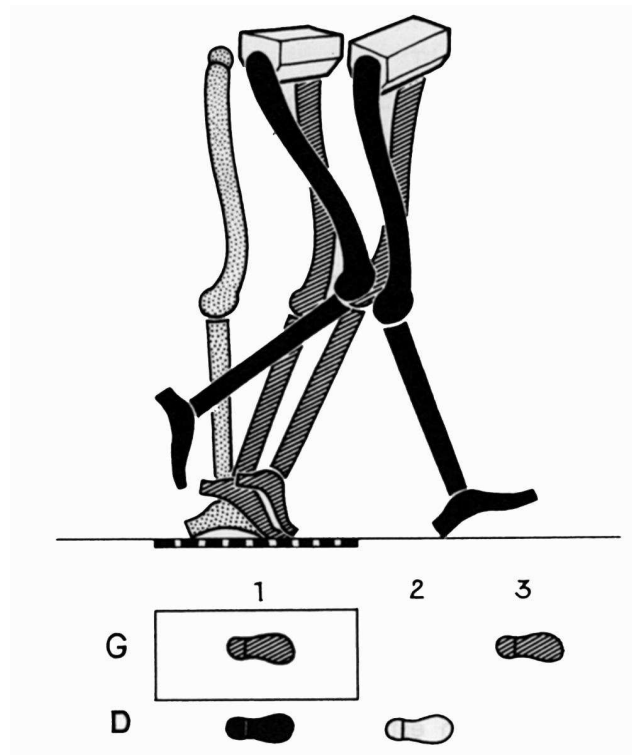
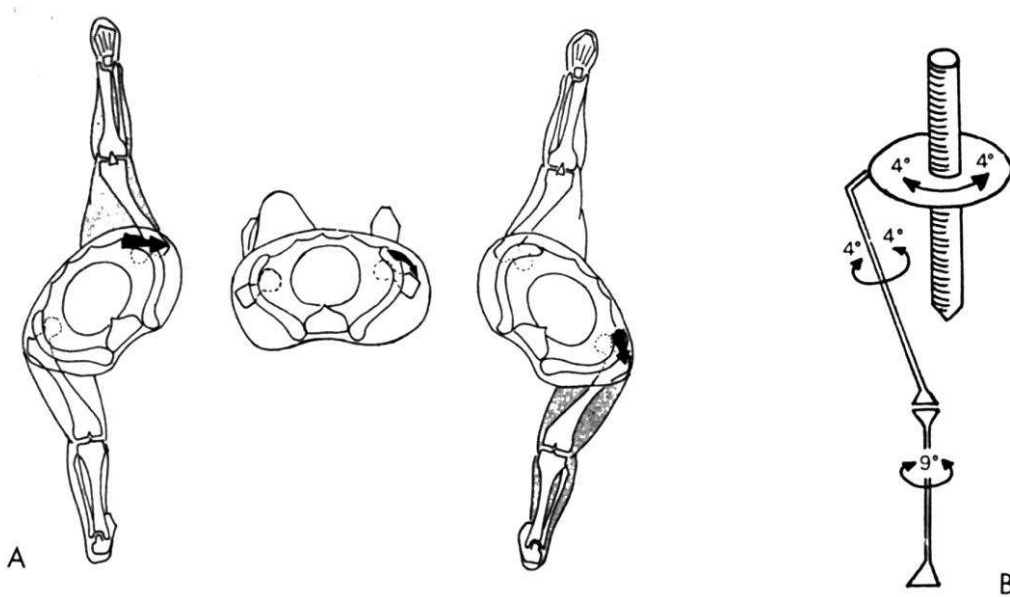
La marche lancée repose obligatoirement sur un déport latéral du bassin, mais l'initiation du pas enclenche un mouvement encore plus complexe, un va-et-vient du bassin dont l'existence ne peut être révélée que par une plate-forme piézo-électrique

Le marcheur qui a l'intention de soulever le pied droit commence par s'appuyer plus fortement de ce même côté, puis reporte son poids sur le pied gauche, délestant ainsi le pied droit qui peut quitter le sol. Simultanément à ce mouvement en va-et-vient, le corps du marcheur chute perceptiblement vers l'avant et le membre inférieur oscillant accélère en flexion simultanée de hanche et de genou

2. Rotation du bassin et démarrage de la marche.

a. Pas pelvien

Le pied qui s'avance est accompagné dans son action par une rotation du bassin dans le même sens. Cette action, nommée «pas pelvien», permet de donner au pas plus d'ampleur. La marche n'est pas une action accomplie par deux segments de squelette (les deux membres inférieurs), mais par **trois segments agissant de manière coordonnée, les membres inférieurs et le bassin.**



b. Ampleur de la rotation active

L'ampleur de la rotation du bassin augmente avec la rapidité de déplacement.

Murray a fait remarquer une **réduction de l'amplitude** de la rotation chez les sujets qui ont dépassé la soixantaine, qualifiant ce phénomène de «**démarche pré-sénile** ».

La rotation active du bassin doit être restituée après pathologie.

La rotation active du bassin et des segments des membres inférieurs ne doit pas être confondue avec les rotations structurelles, ou torsions, dans le sens interne pour le fémur et dans le sens externe pour le tibia. Au cours de la déambulation, la marche se résume à une succession de rotations du bassin sur la tête fémorale porteuse, qui change avec chaque appui du pied. **La valeur d'une rotation moyenne s'évalue entre 4° et 16° selon la taille du sujet, son âge et la vitesse de marche.** Les habitudes motrices ont également une influence forte, car certains sujets utilisent énormément leur bassin, et d'autres assez peu. La rotation du bassin accompagne l'action des membres inférieurs en une cinématique liant trois maillons cinétiques interdépendants.

3. Abaissement du bassin cote oscillant

Le bassin s'abaisse en une chute d'amplitude modérée, en moyenne de 5 à 7° du côté du pied qui a décollé du sol et s'avance pour gagner du terrain.

Cette action est contrôlée par un réglage fin des stabilisateurs du bassin.

Du côté porteur (pied stabilisé au sol), l'hémibassin est en position haute.

Du côté du membre oscillant, l'abaissement est à la fois bref et peu perceptible à l'œil nu, du fait de la synchronie d'actions multiples que nous avons divisées arbitrairement.

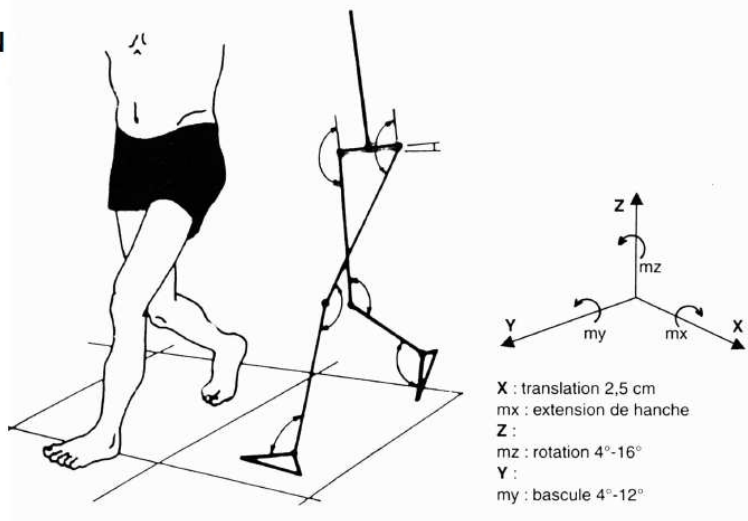
Variabilité des résultats inter-sujets : Gard et Childress.

4. Déplacement du bassin dans les trois plans

Les mouvements dans les trois plans de l'espace sont synchrones. Deux types de déplacement dans l'espace doivent être examinés séparément.

**ROTATIONS DU BASSIN
AUTOUR DE LA TÊTE
FÉMORALE**

**EXTENSION DE
HANCHE DANS LE
PLAN SAGITTAL**



Élévation du bassin	45 à 50 mm
Déplacement latéral	45 à 50 mm

Chute contrôlée côté oscillant	4° à 6°
Rotation dans le sens du pied qui avance	5° à 8°
Extension de la hanche	10° à 15°
Flexion de la hanche	25° à 37°

VARIATIONS DES AMPLITUDES D'EXTENSION DE HANCHE EN FONCTION DE L'AGE

JEUNES
Moyenne 10°
Mini maxi
-4° à + 36°

AGÉS
Moyenne 8°
Mini maxi
-1° à + 23°

5. Allongement – raccourcissement du membre inférieur

a. Souplesse du genou

Le genou offre le maximum d'extension pendant le cycle de marche au moment précis du contact talon/sol.

Selon les préférences du sujet, il est soit en extension complète, soit le plus souvent en flexion aux alentours de 15° à 20° . La courbe goniométrique permet de situer les périodes de flexion et d'extension du genou, et de se rendre compte que, **si le marcheur accélère, l'extension totale n'est jamais utilisée.**

En déplacements très lents, ou chez le marcheur âgé et affaibli, **on observe un verrouillage du genou en extension complète qui n'est pas normal.** La flexion du genou assure que le membre inférieur reste souple et participe au mécanisme général de dissipation des contraintes dans les articulations et dans les muscles.

Pendant la période d'appui unipodal, le genou reste fléchi et évite ainsi une remontée brusque du centre de gravité. Lorsque le talon se soulève, le genou s'étend de nouveau afin de participer à l'action d'allonger le pas. L'utilisation de chaussures à haut talon gêne ce dernier temps et prive le pas de son ampleur naturelle.

b. Rotations dans le genou

Fémur et Tibia tourne en Rotation médiale (RM) entre 70 et 100% du cycle de marche puis inverse le mouvement aux alentours de 20% du cycle de la marche pour passer en Rotation latérale (RL)

c. Marche avec les genoux raides :

Bassin monte de 7,5 cm

Facteurs d'atténuation :

La rotation du bassin permet d'allonger le pas en écrêtant la courbe de 10mm

La chute contrôlée du bassin du côté oscillant écrête la courbe de 6 mm

La flexion du genou pendant l'appui unipodal retire 11 mm

6. Actions de la talo-crurale.

a. Quatre étapes successives

- 1-** 10° de dorsi-flexion (-co-activation des muscles de la loge antérieure et postérieure).
- 2-** Cheville s'abaisse et passe de 15° de flexion plantaire à 8° de dorsiflexion
(Rôle important de la viscoélasticité du triceps sural pour garantir la stabilité du genou).
- 3-** Pendant la phase d'oscillation la cheville est à 15° de flexion plantaire.
- 4-** Juste avant la fin de l'oscillation le pied se met en dorsiflexion de 10°.

7. Sinusoïde plate du bassin

Le point haut s'observe à 18% du cycle (le tronc passe à la verticale du pied unique)

Le point bas s'observe à 48% du cycle au moment du double contact

Dans les deux directions (haut et lat.) les oscillations de la tête sont inférieures à celles du bassin.

II) Activité des muscles pendant le cycle de marche.

1. Triple rôle des muscles du membre inférieur :

Rôle dissipatif : Amortissement des chocs et vibrations

- Loge antérieure de la jambe + stabilisateurs latéraux du bassin.

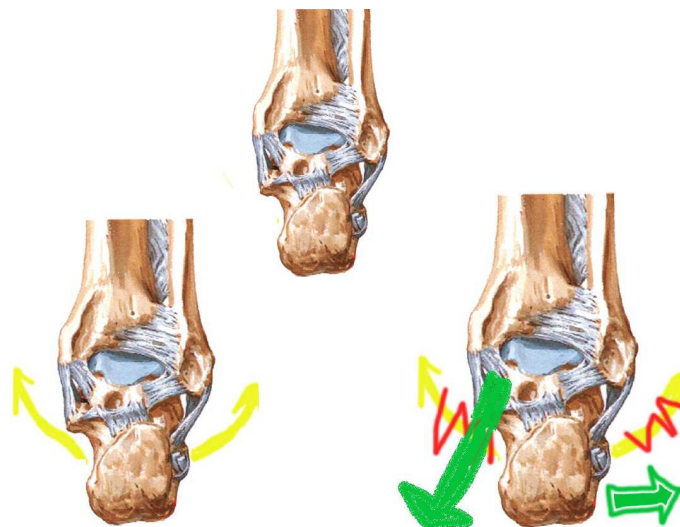
Rôle de freinage

Freinage des segments emportés par l'énergie cinétique par visco-élasticité

- Ischio-jambiers freinent l'extension du genou

Rôle d'accélération des segments de membre.

Le membre inférieur doit recevoir une impulsion vers l'avant (action des adducteurs faisant la flexion de cuisse) Puis le MI se comporte comme une double pendule.



2. Le muscle organe de l'équilibre.

Le marcheur en appui sur un seul pied se comporte comme un pendule inverse accroché par le pied et mobile autour de la cheville.

Deux trajectoires contradictoires :

- Latéro-latérale : subtalaire – Le bassin.
- Antéro-postérieure : flexions de hanche et de genou.

Actions des muscles pendant la phase portante

Les actions musculaires de la phase portante se répartissent entre l'amortissement des chocs, le freinage visco-élastique de stabilisation, l'accélération des segments et la protection du squelette osseux au moyen de contractions stabilisatrices.

Actions des muscles pendant la phase d'oscillation.

Anticipation et préréglage de la tension active du muscle (Knuttsen)

Les muscles stabilisateurs du bassin ont besoin d'environ 200 ms pour monter en tension, mais lors de la marche rapide ils ne disposent que de 100 ms de délai

La tension préalable dans les muscles antérieurs de la jambe et des stabilisateurs du bassin constituent deux exemples de cette préparation à l'action.

Premier temps majeur de l'activité des muscles :

Les muscles de la loge antérieure sont en pré-tension. Ils contribueront fortement à amortir l'impact et empêcher l'avant-pied de frapper le sol sèchement.

Le quadriceps a lui aussi préparé son action par anticipation. Pour stabiliser le bassin, les muscles latéraux montent en tension avant le contact au sol, puis restent actifs pendant toute la durée de l'appui unipodal.

Second temps majeur : équilibre sur un seul pied

Une fois que le marcheur est en équilibre sur un seul pied, le poids de l'unité tête-bras-tronc (TBT, 60 % du poids total) passe à la verticale de ce pied unique, créant les contraintes de l'appui monopode.

C'est alors que les activités musculaires sont les plus fortes.

On peut les diviser en deux parties: stabilité antéropostérieure et stabilité latérale.

Les muscles intrinsèques du pied se contractent au moment de la mise en charge du pied. Parmi ceux-ci, le tibial postérieur joue un rôle important de sanglage et de protection du pied pendant la marche.

Stabilisation antéro-postérieure

Le genou reste fléchi aux environs de 15° à 20° pendant toute cette période

Le genou s'étend ensuite graduellement jusqu'à atteindre entre 3° et 5° de flexion

Puis, lorsque les orteils sont prêts à quitter le sol, le genou se fléchit de nouveau pour atteindre une valeur de 7° à 10°. Le triceps sural assure la stabilité du genou en utilisant le pied comme insertion d'ancrage et en agissant par viscoélasticité sur le pilon tibial.

Cette activité de stabilisation correspond à l'arrêt d'activité du quadriceps.

Le mécanisme de stabilisation du genou par le triceps sural ne peut se comprendre qu'avec le pied au sol. Le segment jambier avançant moins vite que le segment cuisse, il s'ensuit une tendance à la stabilisation du genou.