



LA MÉCANIQUE HUMAINE,

**ENTRE
LIFE IN MOTION
ET
MOTION IN LIFE**



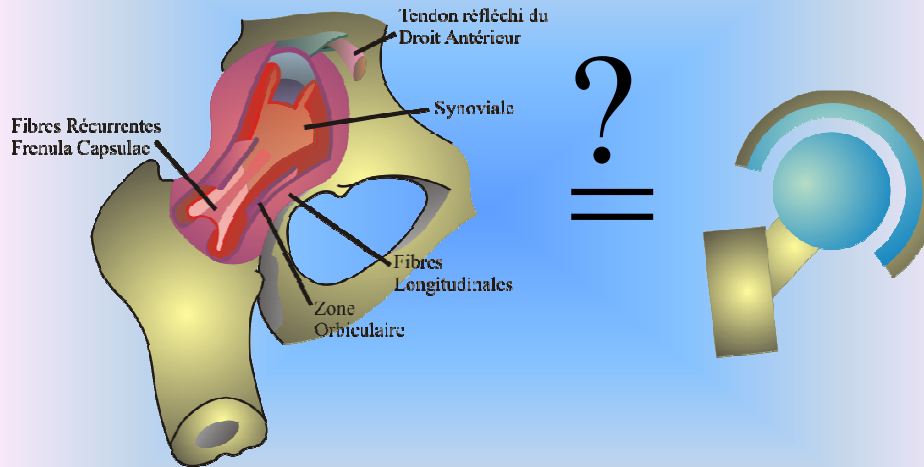
LA COXO-FÉMORALE

*Jean-Marc TENENHAUS
Ostéopathe D.O., EurOst, D.O.*

COPIE NON AUTORISÉE

OST
DOCUMENT EN LECTURE SEULE

Coxo-Fémorale



Redessiné d'après Perlemuter & Waligora, 1985

Se méfier de l'apparente simplicité de l'articulation

Le principe de la sphère tournant dans une cavité sphérique elle aussi est-elle vraie ?

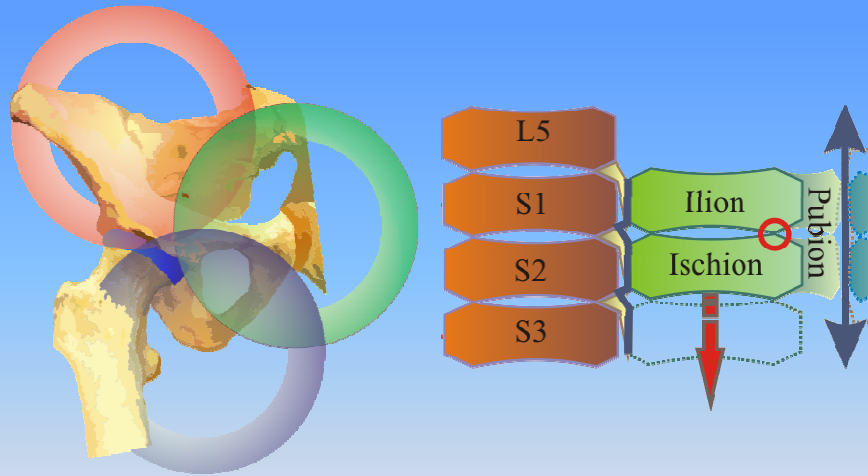
Classiquement, tête fémorale = segment de sphère 240° ; acetabulum = 180°

Articulation à maturation tardive (adolescence)

=> Adaptation à la Bipédie et au schéma de marche individuel

DOCUMENT EN LECTURE SEULE

Locomotion



Contraintes = Bipédie + Propulsion + Parturition

3 types de Contraintes = 3 champs de dysfonctions

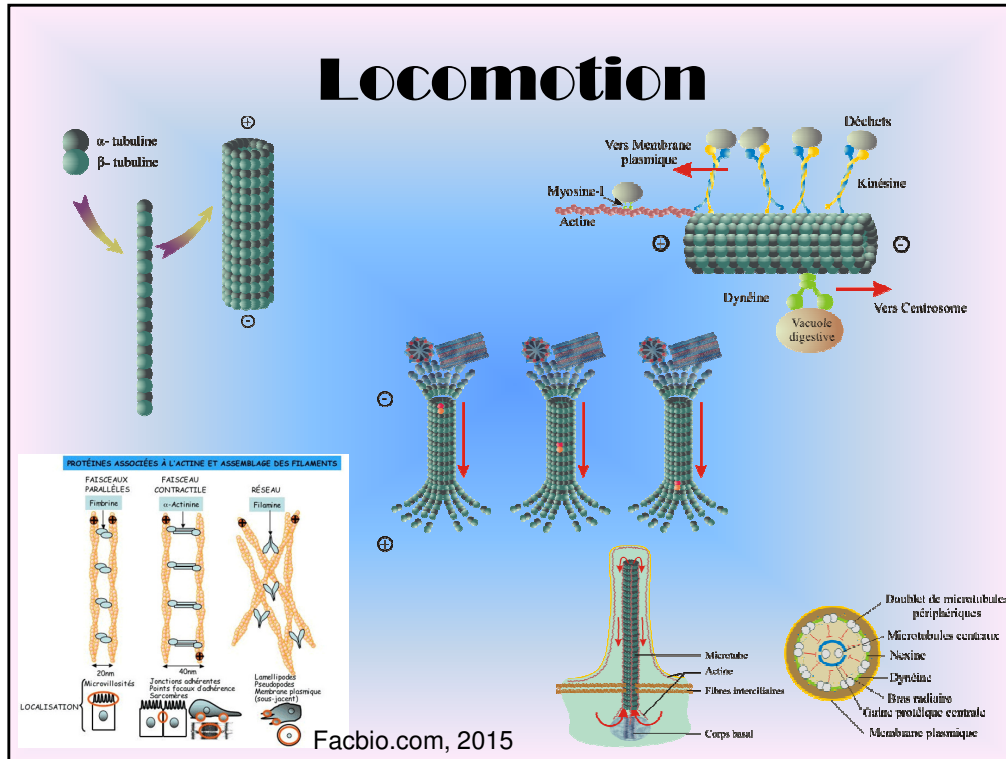
Rappels des contraintes évolutives s'exerçant sur la ceinture pelvienne

⇒ Ne pas oublier les incidences viscérales sur le fonctionnement de la Coxo-fémorale
⇒ Une anomalie structurelle ou un dysfonctionnement retenti sur l'ensemble de la Posture et sur l'ensemble du schéma moteur

⇒ Acétabulum = coalescence des 3 champs de contraintes

⇒ Arrière-fond cotyloïdien primitivement ouvert, se ferme progressivement au cours de l'évolution

DOCUMENT EN LECTURE SEULE



Mobilité de base d'une cellule = Microtubule

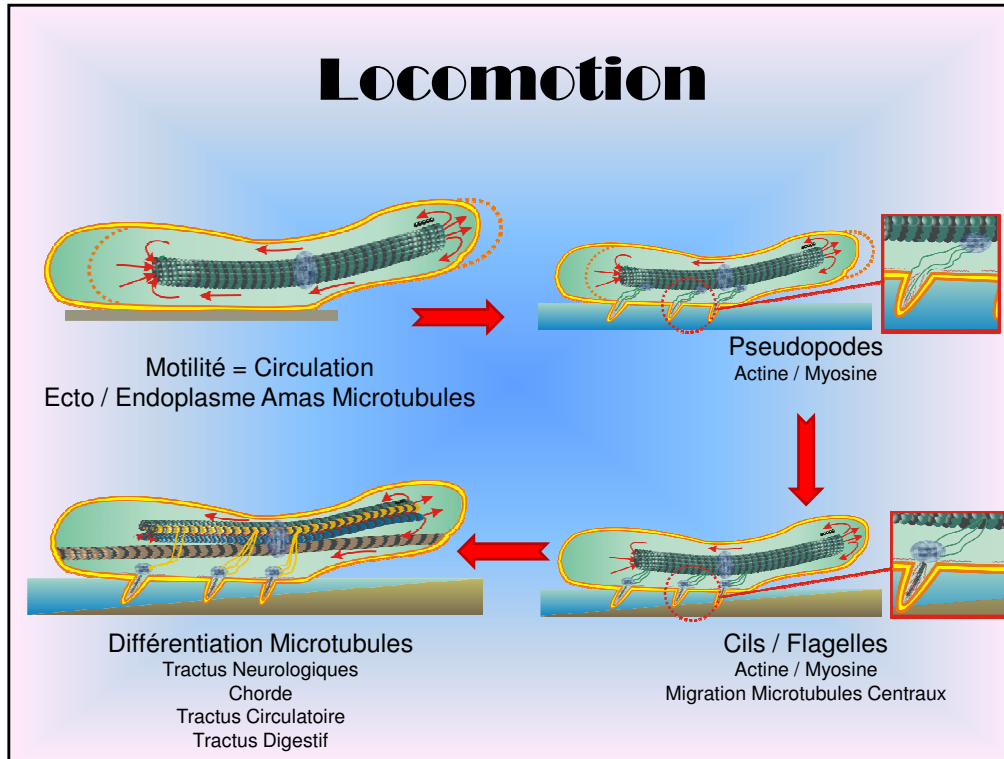
Microtubule

- assemblage complexe en forme de tube de 2 protéines : α et β -Tubuline
- Transport de vacuoles digestives vers centre cellulaire (+ Dynéine)
- Évacuation déchets vers membrane (+ Kinésine)
- Déplacement final des vacuoles réalisés par monofilament d'Actine grâce à Myosine
- Constituant élémentaire des cils et flagelles
 - Groupement de microtubules en 9 doublets autour d'une paire centrale
 - Cils jusqu'à $50 \mu m$
 - Flagelle jusqu'à $200 \mu m$

Actine

- regroupée selon différentes possibilités selon localisation
 - Base pseudopodes – Sarcomères
- À l'origine fermeture du tube neural

Locomotion



Microtubule central = amas de microtubules orientée

Notion de Cytosquelette composé de monofilament Actine + microtubules convergents vers Centrosome

Circulation du cytoplasme

- Ectoplasme en périphérie – gel (Caractéristique Hyaline en périphérie)
- Transformation en Endoplasme fluide à l'intérieur du microtubule
- Provoque déformation de la membrane plasmique = déplacement cellulaire

Apparition de pseudopodes contractiles sous action des filaments Actine

- Déplacement efficace si substrat en gel visqueux => Gastéropodes sécrètent leur propre gel
- Les pseudopodes constitués de manière permanentes diminuent la surface de contact donc augmentent la vitesse de déplacement => Fuite et Prédation favorisées

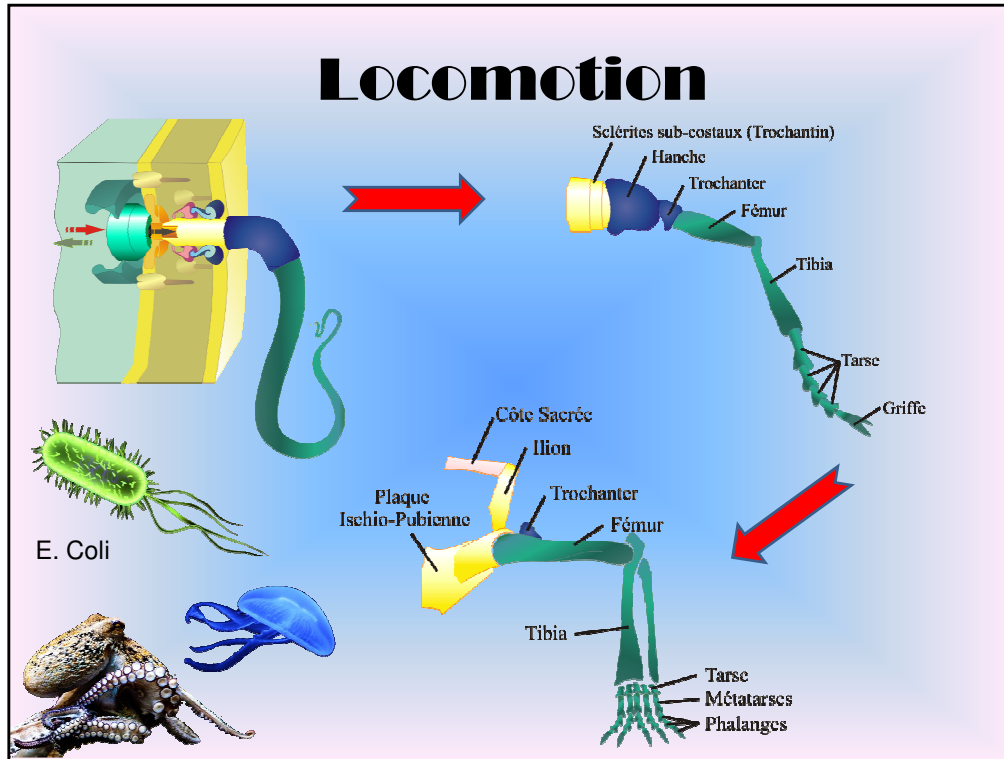
Apparition des Cils et Flagelles par migration de microtubules dans le pseudopode

- Déplacement possible dans gel mais aussi sur terrain granuleux
- Diminution des surfaces de contacts augmentant la vitesse de déplacement

Différenciation du microtubule central en fonction des transports effectués

- Latéralement = Tractus neurologiques primitifs reliés à la fois au microtubule central et à la membrane cellulaire
- En-dessous = Structure de soutien dense = Chorde primitive
- Inférieurement Tractus nourricier = Tractus Vasculaire primitif
- Le flux des vacuoles digestives facilité par mise en place Tractus digestif primitif

avec proto-bouche en avant et proto-émonctoire en arrière



Flagelle

- Structure complexe ayant à sa base un moteur moléculaire permettant soit un battement (cils ou flagelle court) soit une rotation (flagelle long)
- Contient microtubules
- Mobilité flagelle par circulation liquidienne
- Première évolution locomotrice = augmentation pression hydrostatique qui rigidifie le flagelle => Battement
- Peut être relié à la membrane cellulaire
 - = membrane ondulante retrouvée chez certaines Méduses par exemple
 - = Proto- nageoire

Évolution ultérieure

- Segmentation soit du flagelle en lui-même soit par accréation de flagelles lors du processus de métamérisation (?)
- Aboutit à la formation des membres porteurs (pattes)
- **Noter** évolution du Crochet en Hanche+Trochanter

Évolution ensuite de l'exo- squelette à l'endo- squelette (Ou bien co-évolution ?)

Exo-squelette

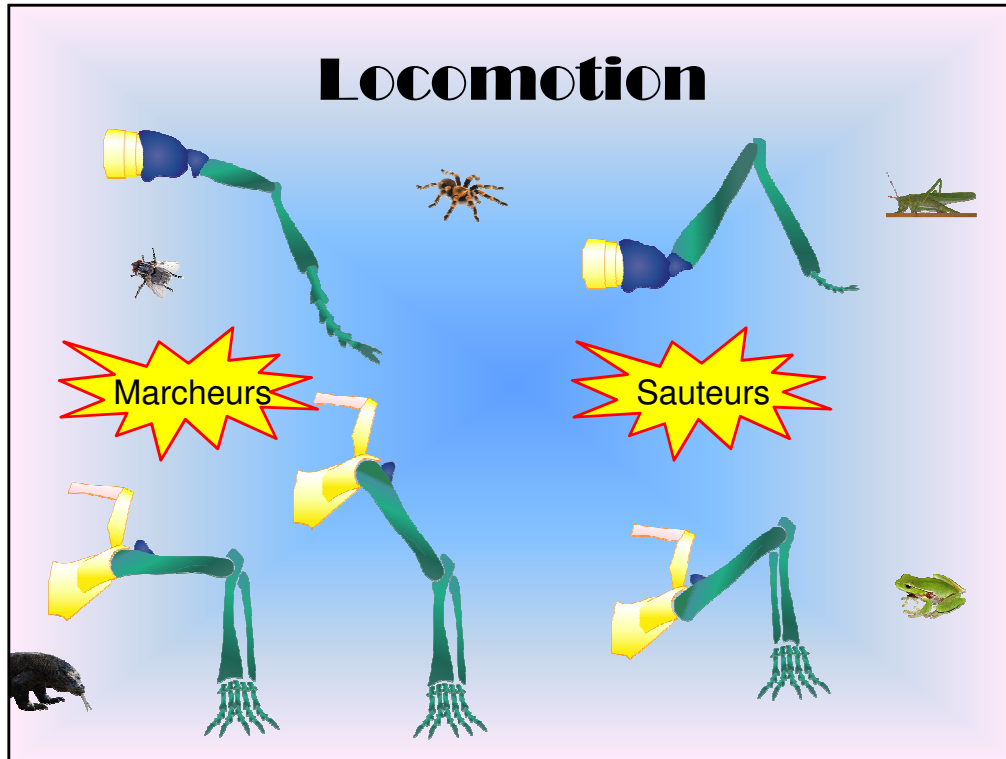
- Carapace de Chitine, de Calcium ou de Silice
- Donne appui à des faisceaux organisés Actine / Myosine (Musculature)
- Muscles centrés sur Microtubule devenant progressivement structure Hyaline

Endo-squelette

- Minéralisation des structures hyalines centrales
- Disparition progressive exo-squelette = Plaques ou écailles

➤ **A noter :**

- au niveau des ceintures, seuls l'ilion et l'ischion sont minéralisés, plaque pubienne reste cartilagineuse (donc pas de fossilisation possible)
- Présence d'une côte sacrée bien individualisée partie céphalique l'ilion, parfois aussi à sa partie caudale



Différentiation des pattes selon le mode de propulsion

- Verticalisation vers le bas = Animaux Marcheurs
- Verticalisation vers le haut = Animaux sauteurs
- Différentiation indépendante du niveau d'évolution : par ex. retrouvée aussi chez mammifères = Marsupiaux (Kangourou)

Relation entre distance Ventre/sol et vitesse de déplacement (plus elle est grande plus la vitesse augmente)

Rapport entre longueur membres porteurs et vitesse déplacement par allongement de la foulée

Rapports entre masse animal et diamètre membres porteurs

Rapport entre masse animal et sa vitesse de déplacement

- Limite = adhérence au sol dans les virages

Accroissement progressif de l'indice fémoro-tibial au cours de l'évolution

- Indice encore variable selon les ethnies humaines en fonction du mode de déplacement favorisé imposé par l'environnement (pas de notion de valeur hiérarchique entre les ethnies – sortir du système cartésien et colonial)

Processus sous la dépendance d'un nombre restreint de gènes Homébox (Hox-9 à Hox-13)

Schwabe *et al.*, *Limbs are moving: where are they going ?*, Trends Genet. 1998 Jun;14(6):229-35.

Johnson & Tabin, *Molecular models for vertebrate limb development*. Cell. 1997 Sep 19;90(6):979-90.

Piedra *et al.*, *Pattern formation and regulation of gene expressions in chick recombinant limbs*. Mech Dev. 2000 Feb;90(2):167-79.

Fromental-Ramain *et al.*, *Hoxa-13 and Hoxd-13 play a crucial role in the patterning of the limb autopod*. Development. 1996 Oct;122(10):2997-3011.

Gañan *et al.*, *Morphological diversity of the avian foot is related with the pattern of msx gene expression in the developing autopod*. Dev Biol. 1998 Apr 1;196(1):33-41.


Izpisúa-Belmonte & Duboule, *Homeobox genes and pattern formation in the vertebrate limb*. Dev Biol. 1992 Jul;152(1):26-36.

Davis *et al.*, *Absence of radius and ulna in mice lacking hoxa-11 and hoxd-11*. Nature. 1995 Jun 29;375(6534):791-5.

Locomotion


Rotation Postérieure :

- Membre Antérieur
- Membre Postérieur Insectes Sauteurs
- Nageoires Caudales




Rotation Antérieure :

- Autres Membres Postérieurs
- Nageoires Pectorales
- Quadrupèdes



①

Archéo-Marcheurs
Sagittalisation Membre Inférieur

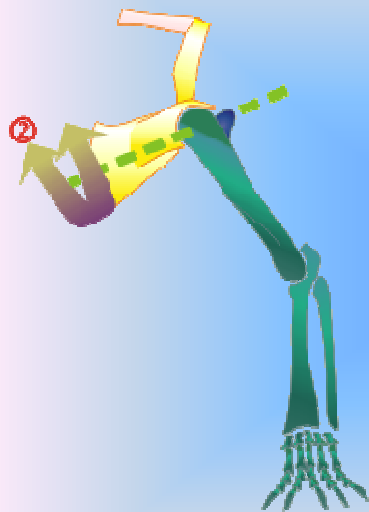


L'évolution progressive du membre se réalise en fonction de 4 rotations successives
 Chaque rotation dépend de l'expression (ou plutôt de la non-expression)
 d'un gène Hox
 Sens d'activation des gènes disto-proximal

- 1) Sagittalisation du membre = rapprochement du membre de l'axe du corps
 - Selon un axe vertical passant au niveau de la jonction Corps/Membre
 - Soit antérieure soit postérieure
 - Diminue le déplacement latéral du CdG

DOCUMENT EN LECTURE SEULE

Locomotion



Vers le Haut :

- Membre Antérieur = Ailes
- Membre Non-porteur = Ailes Insectes
- Membre Postérieur = Animaux Sauteurs

Vers le Bas :

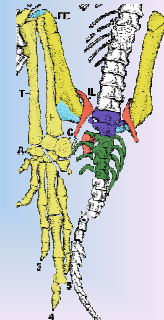
- Quadrupèdes
- Premiers Bipèdes



②

Paléo-Marcheurs

Verticalisation Membre Inférieur

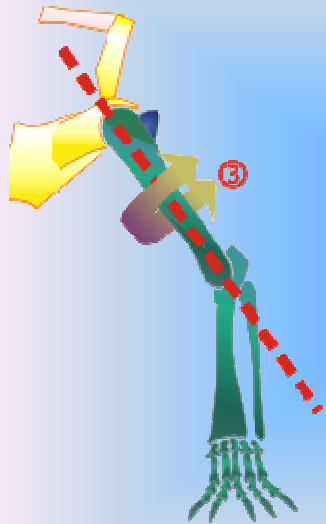


2) Verticalisation du Membre

- Axe horizontal passant par la jonction Corps/Membre
- Apparition des premiers Bipèdes

DOCUMENT EN LECTURE SEULE

Locomotion



Rotation Latérale :

- Membre Postérieur Insectes
- Membre Antérieur toutes Espèces

Rotation Médiale :

- Membre Postérieur autres Espèces
- Apparition de la Patella



3

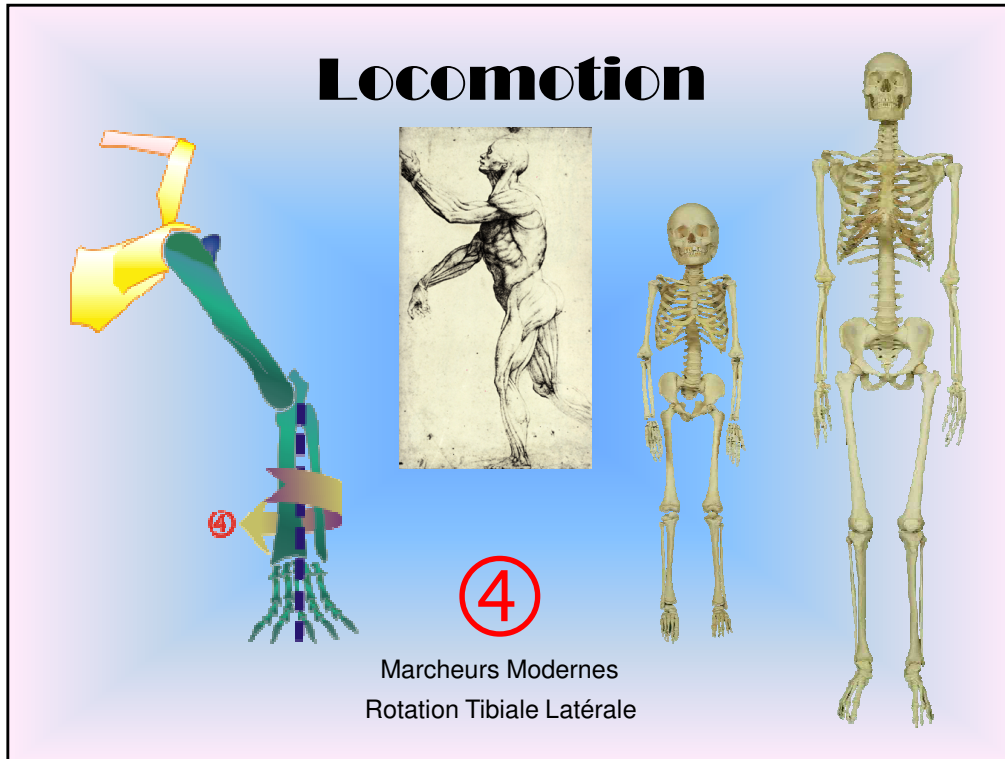
Marcheurs Primaires

Frontalisation Membre Inférieur



3) Rotation Fémoral sur son axe

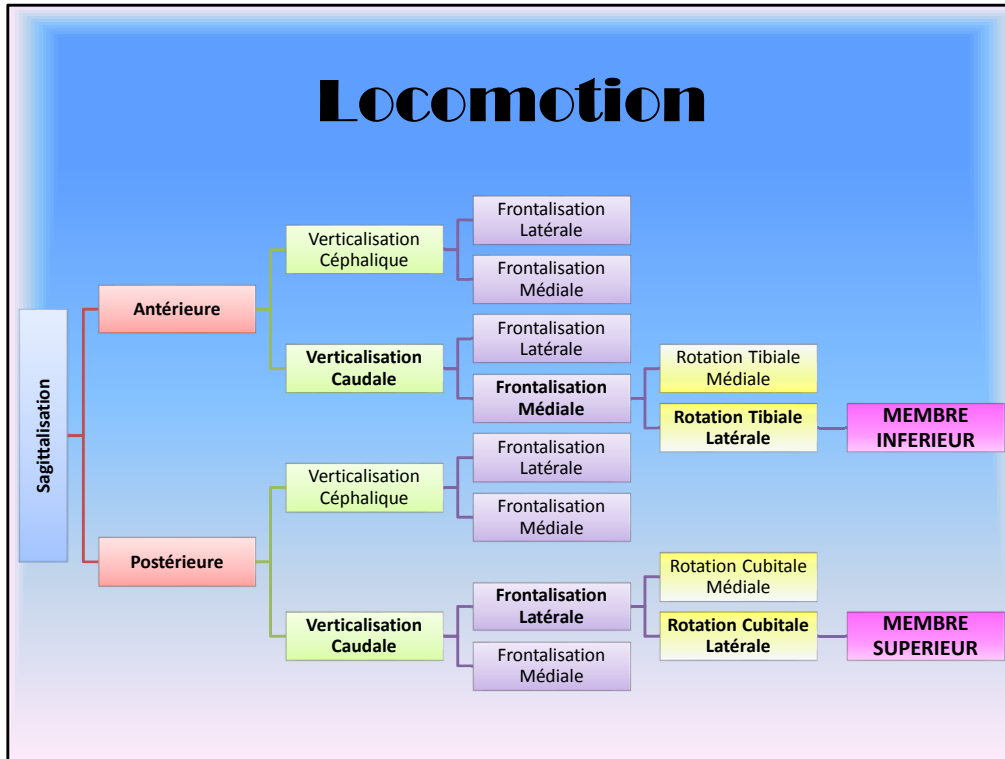
- Double rotation en fait = torsion du fut fémoral + torsion du col fémoral, La composante = angle antéverson du col fémoral
- Impact sur la position relative du Trochanter dans l'espace => se positionne latéralement
- Les muscles Suspenseurs deviennent Abducteurs
- Selon les espèces, fermeture progressive de la partie postérieure de la cavité cotyloïdienne
 - Individualisation du Ligt Rond / à ses fibres musculaires (origine = Pectiné ? – Testut, 1904 ou bien des faisceaux musculaires d'origine Iliaque interne ?)
 - Primitivement, Ligt Rond = M. Intercostal coaptant la tête fémorale et évitant une sub-luxation inférieure ?
- Au niveau Membre Inf., antériorisation de la partie olécranienne du Tibia => apparition de la Patella
- Chez Homo S., poursuite de la verticalisation avec obliquité interne du fût fémoral pour rapprocher axe du M. Inf. de l'axe du corps
 - ⇒ Genu Valgum physiologique
 - ⇒ Allongement progressif longueur du Col Fémoral
 - ⇒ Genu Varum = physiologique chez autres primates – s'accompagne Col fémoral court + angle cervico-diaphysaire ouvert
 - ⇒ Correspond schéma de marche primitif type Bent Hip – Bent Knee
 - ⇒ Peut être compensé par Rotation Tibiale et pied plat



4) Rotation Tibiale sur son axe

- La rotation externe qui amène le pied vers le dehors est spécifique de Homo S.
- Induit obliquité de l'axe fonctionnel de la Cheville (ou Axe de Henke)
- Se produit après début de la Marche jusqu'à environ 6 ans
- Défaut rotation non compensé = pied creux – varus arrière-pied ; compensé = pied plat
- Rotation exagérée compense défaut antétorsion col fémoral = valgisation arrière-pied

DOCUMENT EN LECTURE SEULE

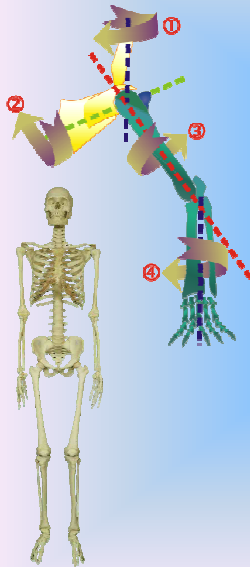


Arbre évolutif des différentes évolution des membres

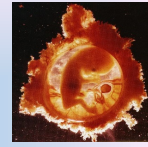
- ⇒ Décrit tous les types de locomotion possibles retrouvés dans le règne animal
- ⇒ Analogies des différentes structures des membres dans le règne animal
- ⇒ Possibilité de co-évolution et d'évolution convergente aboutissant à des résultats presque similaires malgré une origine phylogénique très différente des espèces
- ⇒ Peu de différences entre M. Inf et M. Sup.

DOCUMENT EN LECTURE SEULE

Locomotion



- ①
 - Variation Acétabulaire
 - Angle de Couverture
 - Obliquité Acetabulum
 - Apparition Col Fémoral
 - Courbure Fût Fémoral
- ②
 - Variation Angle Cervico-diaphysaire
 - Allongement Col Fémoral
- ③
 - Variation Angle Antéversion
 - Variation position Tête/Col Fémoral
 - Asymétrie Condylaire
- ④
 - Asymétrie Os Tarsiens
 - Obliquité axe fonctionnel Tibio-Tarsien
 - Torsion Tibiale



Synthèse des rotations chez Homo et implications anatomiques au niveau du M. Inf.

Phase 1 = évolution intra-utérine

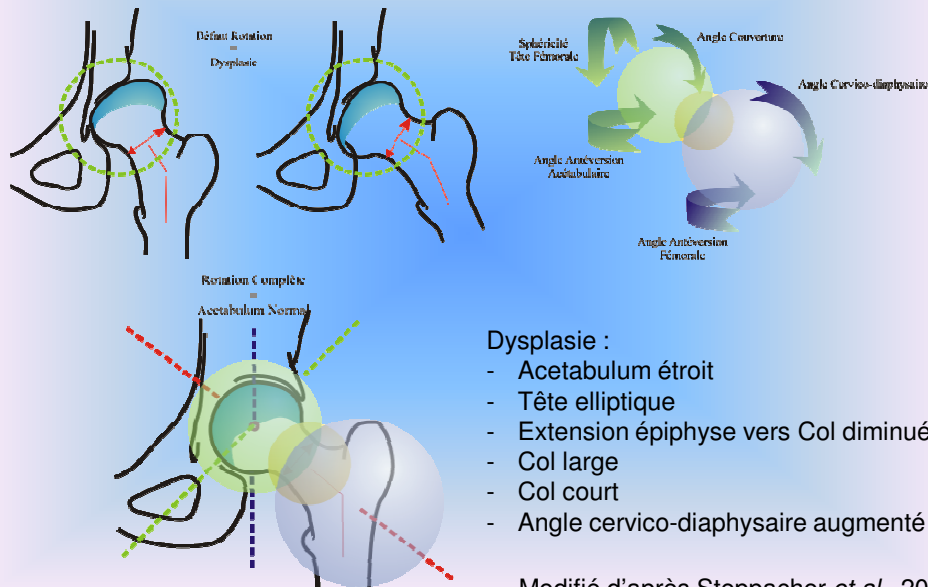
Phase 2 = évolution post-natale précoce

Phase 3 = évolution post-natale secondaire (petite enfance)

Phase 4 = évolution tardive influencée par schéma de marche (de la petite enfance à la fin de la croissance)

DOCUMENT EN LECTURE SEULE

Coxométrie



Coxométrie = rotation des différentes pièces osseuses entre-elles dans les 3 plans de l'espace pour répondre à un schéma commun : la marche bipède (Sugiyama & Fujiwara, *Comparative morphometry of coxal joint angles*. Exp Anim. 1997 Oct;46(4):269-77.) = variation angle cervico-diaphysaire, antéversion col fémoral et orientation acetabulum différents selon mode de locomotion,

Notion de schéma individualisé comportant de nombreuses variations inter-individuelles dans la repartition des pressions intra-articulaires (Harris, *et al.*, *Finite Element Prediction of Cartilage Contact Stresses in Normal Human Hips*. J Orthop Res. 2012 July ; 30(7): 1133–39.)

⇒ Notion d'équilibre global de la coxofémorale mais aussi de la ceinture pelvienne (pelvimétrie – incidence pelvienne, etc) et lombaire (lordose – variations transitionnelles, etc)

⇒ Acétabulum et Col Fémoral possèdent une évolution dans le temps liée mais qui reste indépendante (Bonneau *et al.*, *Functional integrative analysis of the human hip joint: The three-dimensional orientation of the acetabulum and its relation with the orientation of the femoral neck*. J Orthop Res. 2014 Jun;32(6):777-85.)

⇒ Programme phylogénétique sous la dépendance de facteurs posturaux et des contraintes de charges (Hogervorst *et al.*, *Hip Ontogenesis: How Evolution, Genes, and Load History Shape Hip Morphotype and Cartilotype*. Clin Orthop Relat Res, 2012, 470 : 3284–96)

- ⇒ Intra-utérins : positions et mobilité prédisposantes (Giorgi *et al.*, *Mechanobiological simulations of prenatal joint morphogenesis*. J Biomech. 2014 Mar 21;47(5):989-95.)
- ⇒ Musculaires : chaînes croisées antérieures et postérieures – Périné (contracture de l'Élévateur de l'anus = déformation pelvienne au cours de la croissance, cf cours ceinture pelvienne)
- ⇒ Viscéraux : en particulier jonction vésico-uréthérale (influence des reflux sur croissance M. Inf.) et Gonades
- ⇒ Influence du Coccyx sur la croissance pelvienne

Steppacher *et al.*, *Femoral Morphology Differs Between Deficient and Excessive Acetabular Coverage*. Clin Orthop Relat Res (2008) 466:782–90

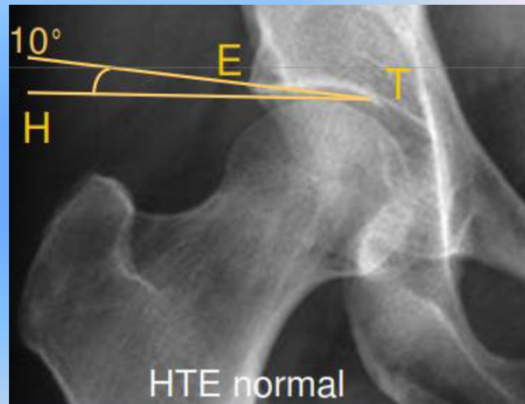
Coxométrie

Obliquité du toit acétabulaire

Angle HTE

- H : horizontale
- E : extrémité latérale du toit acétabulaire (ligne dense)
- T : extrémité médiale du toit acétabulaire (ligne dense)

Normal $\leq 10^\circ$
Dysplasie $> 12^\circ$



Serra-Tosio, 2011

Traduit l'adaptation motrice et posturale du corps à une contrainte majeure = la Bipédie + la Marche

⇒ Variations inévitables en fonction

- ⇒ Des genres, ethnies,
- ⇒ Des réquisitions motrices dominantes selon les activités physiques
 - ⇒ Influences environnementales
 - ⇒ Influences socio-culturelles

Serra-Tosio, *Repères et mesures utiles en imagerie ostéo-articulaire*. 2011, Ed. Elsevier Masson, Paris
Tsuchie et al., *Anterior Hip Subluxation due to Lumbar Degenerative Kyphosis and Posterior Pelvic Tilt*. Case Rep Orthop. 2014;2014:806157

DOCUMENT EN LECTURE SEULE

Coxométrie

Couverture latérale de la tête fémorale

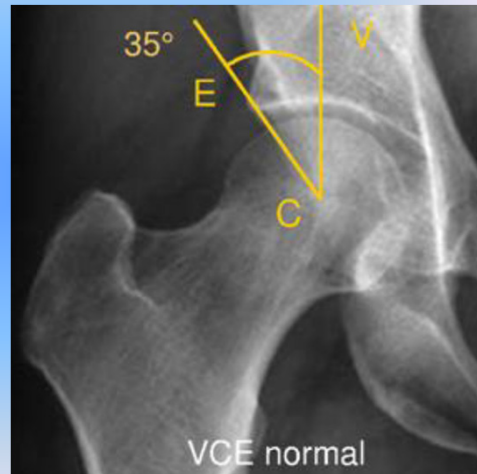
Angle **VCE**

–V : verticale

–C : centre de la tête fémorale

–E : extrémité latérale du toit acétabulaire (ligne dense)

- Normal $> 25^\circ$
- Hanche limite $20-25^\circ$
- Dysplasie $\leq 20^\circ$
- Coxa Profunda $\geq 40^\circ$



Serra-Tosio, 2011

COPIE NON AUTORISÉE

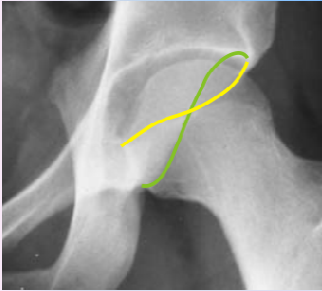
DOCUMENT EN LECTURE SEULE

Coxométrie

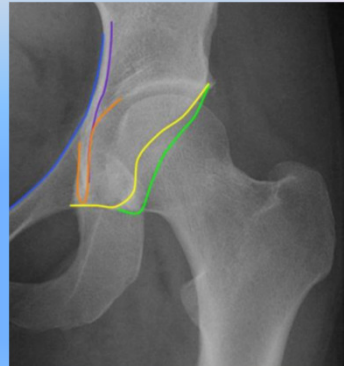
Colonne antérieure : bord ant. cotyle,
ligne ilio-pubienne et U radiologique
de Calot

Colonne postérieure : bord post.
cotyle et ligne ilio-ischiatique

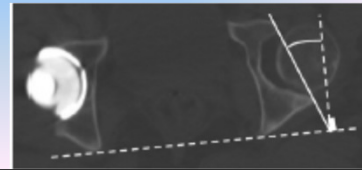
Retroversion:
Signe du 8 ou Cross-over Sign



Modifié d'après
Reynolds, *et al.*, 1999



Normal : 20–25° environ / Plan Frontal.
Enfant : 10° à la naissance,
Augmente ensuite



Serra-Tosio, 2011

NB : Pour Castaing & Santini, 1960, acétabulum orienté à 45° /plan vertical

Reynolds *et al.*, *Retroversion of the acetabulum. A cause of hip pain.* J Bone Joint Surg Br. 1999
Mar;81(2):281-8.

DOCUMENT EN LECTURE SEULE

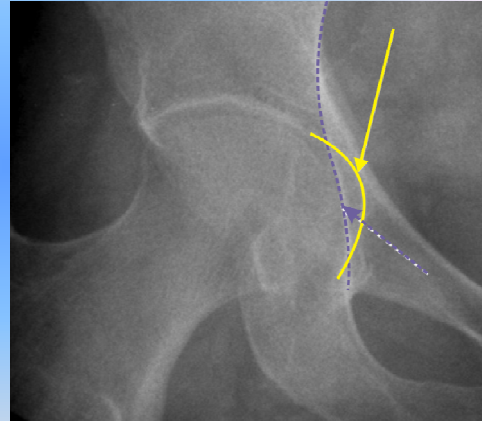
Coxométrie

Protrusion acétabulaire :

- Projection de la ligne acétabulaire en dedans de la ligne ilio-ischiatique
- De plus de 3 mm chez l'homme
 - De plus de 6 mm chez la femme

Coxa profunda :

- Débord moindre,
- Le fond de l'acetabulum touche la ligne ilio-ischiatique ou se projette en dedans de celle-ci

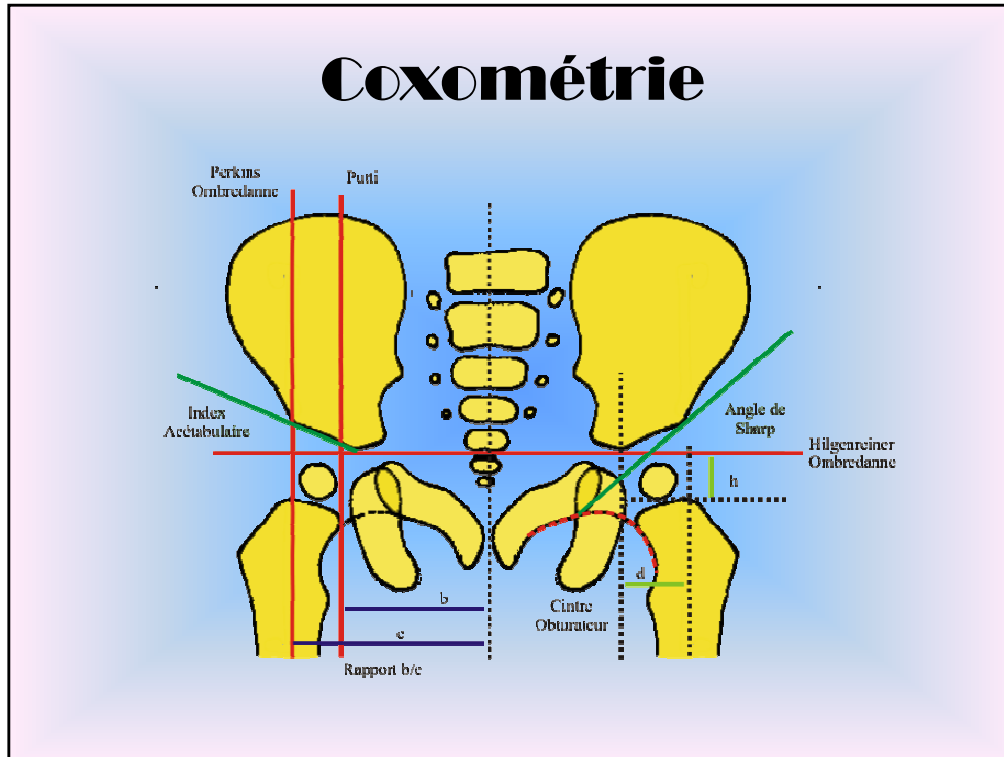


Serra-Tosio, 2011

COPIE NON AUTORISÉE

DOCUMENT EN LECTURE SEULE

Coxométrie



Avant 3 mois

- La ligne de Perkins :
La perpendiculaire abaissée par le talus à la ligne des Y doit couper le bec métaphysaire de façon symétrique.
- La ligne de Putti:
la tangente au bec métaphysaire doit passer par le milieu du toit de l'acétabulum
- Les repères d'Hilgenreiner (1947) :
mesure de h : distance entre le point le plus haut de la métaphyse fémorale supérieure et la ligne des Y.
mesure de d : distance entre le point le plus bas de l'os iliaque et la projection sur la ligne des Y du plus haut point de la métaphyse fémorale supérieure
doit être symétrique par rapport au côté opposé
=>Normal: mesure de d et h égal au côté opposé
=>Dysplasie: diminution de h et augmentation de d par rapport au côté opposé

Après 3 mois, les noyaux épiphysaires deviennent visibles :

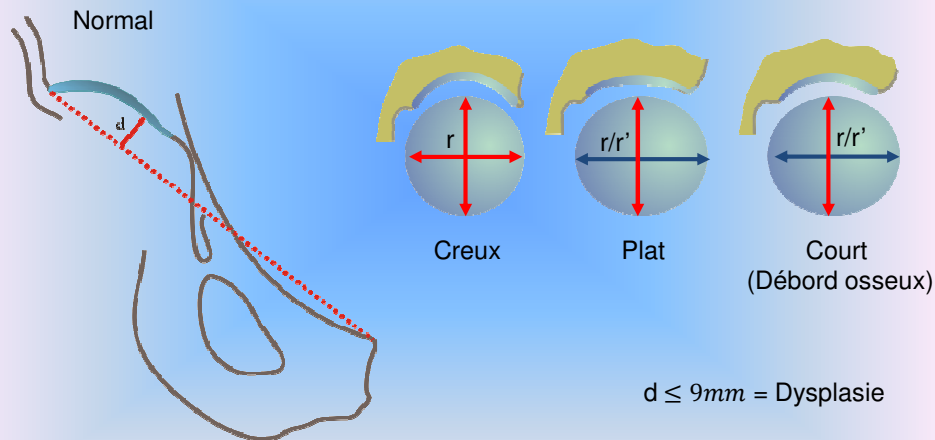
- Construction d'Ombredanne :
Le noyau épiphysaire doit se situer de façon normal dans le quadrant inféro

interne délimité par la ligne d'Ombredanne perpendiculaire à la ligne des cartilages en Y, abaissée au Talus

Angle acétabulaire (Kleinberg & Lieberman, 1936)

- mesuré entre la ligne des Y et la ligne joignant l'extrémité médiale et latérale du toit de l'acétabulum.
 - 35° à la naissance, diminuant de deux degrés par mois jusqu' à 6 mois.
 - Assez imprécis :
 - difficile de distinguer précisément la partie latérale de l'acétabulum osseux en cas d'émoussement du talus
 - Cliché mal réalisé
- Aspect morphologique du modelage osseux du toit de l'acétabulum a plus de valeur que l'angle acétabulaire

Coxométrie



Redessiné d'après Lequesne *et al.*, 2004

3 Types d'acetabulum

➤ Creux

- Sagittalisation exagérée du M. Inf
- Tête sphérique – diamètre faible
- Risque de contact osseux avec diminution des amplitudes

➤ Plat

- Défaut sagittalisation M. Inf. – Risque dysplasie – Associé col court
- Tête elliptique
- Modification des pressions intra-articulaires

➤ Court

- Tête elliptique
- Débord osseux acétabulum => Risque lésion du Labrum par écrasement

Lequesne *et al.*, *The normal hip joint space: variations in width, shape, and architecture on 223 pelvic radiographs.* Ann Rheum Dis 2004;63:1145–51.

DOCUMENT EN LECTURE SEULE

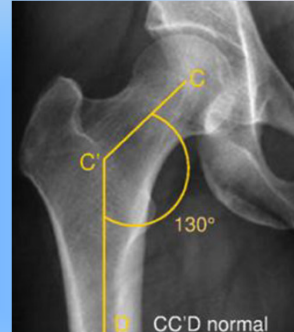
Coxométrie

Angle cervico-diaphysaire

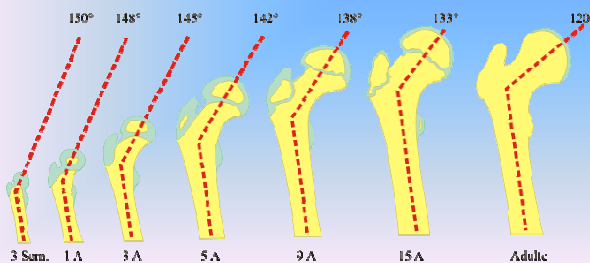
Angle CC'D

- C : centre de la tête fémorale
- CC' : axe du col fémoral
- C'D : axe de la diaphyse

- Normal : 120°-137°
- Hanche limite : 138°-140°
- Coxa valga > 140°
- Coxa vara < 120°



Serra-Tosio, 2011



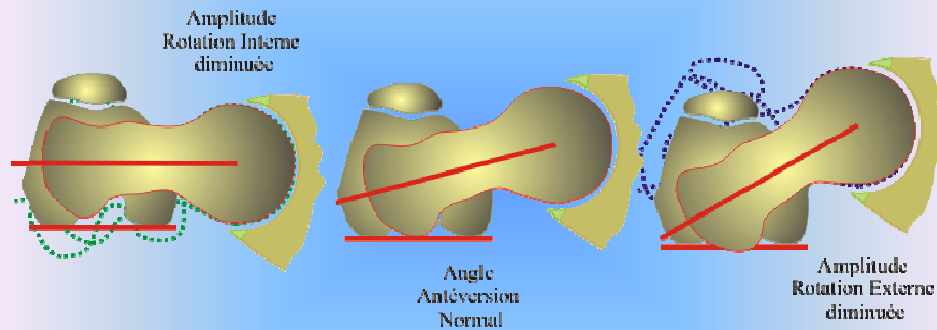
Redessiné d'après Dobbs & Morcuende, 1986

Évolution de l'angle cervico-diaphysaire en fonction de l'âge
Maturation tardive après 15 ans

- Variation ethniques
 - Influence de l'I.M.C. => Impact du surpoids dans les années à venir ? (Lerner & Browning, *Compressive and shear hip joint contact forces are affected by pediatric obesity during walking*. J Biomech. 2016 Mar 25. pii: S0021-9290(16)30354-2.)
 - Influence de l'activité physique
 - => Obliquité diaphysaire spécifique des Hominidés (Tardieu, *L'angle bicondyloire du fémur est-il homologue chez l'homme et les primates non humains ? Réponse ontogénétique*. Bulletins et Mémoires de la Société d'anthropologie de Paris, Nouvelle Série. Tome 5 fascicule 1-2, 1993. pp. 159-68.)
 - => Impact de la sédentarité croissante des enfants et des ados ? (Varady et al., *Loads in the hip joint during physically demanding occupational tasks: A motion analysis study*. J Biomech. 2015 Sep 18;48(12):3227-33.)
 - Nombreuses compensations structurelles au niveau Acétabulaire + Art. fémoro-tibiale + Cheville-Pied et Rachis Lombaire (Tsuchie et al., *Anterior Hip Subluxation due to Lumbar Degenerative Kyphosis and Posterior Pelvic Tilt*. Case Rep Orthop. 2014;2014:806157)
- ⇒ Genu Varum – Genu Valgum, Talus Valgus – Talus Valgus, Pied Creux – Pied Plat
⇒ Hyperlordose ou cyphose lombaire, Incidence Pelvienne

Coxométrie

Angle antéversion Col Fémoral



Naissance = 35-40°

5-10 ans = 20-25°

À partir 15 ans = entre 8° Hommes et 14° Femmes

Fonction Ethnie, Genre, Activité

Environ -1,5%/an jusqu'à l'âge adulte (Svenningsen, 1991)

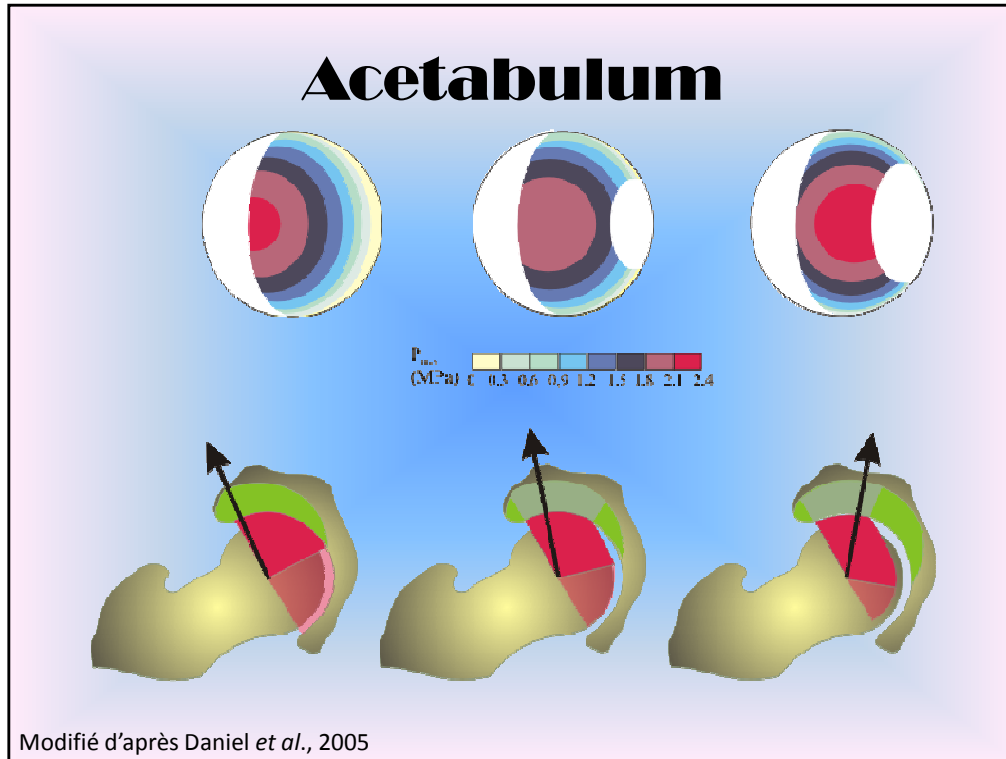
Influence de l'angle d'antéversion sur les amplitudes articulaires

- Angle diminué = diminution de la Rot. Int. – Se traduit par un M. Inf avec rotule regardant en dehors par compensation
- Angle augmenté = diminution de la Rot. Ext. – Se traduit par un M. Inf. avec rotule regardant en dedans

Attention :

- Ne pas confondre avec un trouble niveau Genou ou Cheville-Pied
- Ne pas confondre avec un dysfonctionnement en Rotation
- Toujours analyser le M. Inf. dans sa globalité

DOCUMENT EN LECTURE SEULE

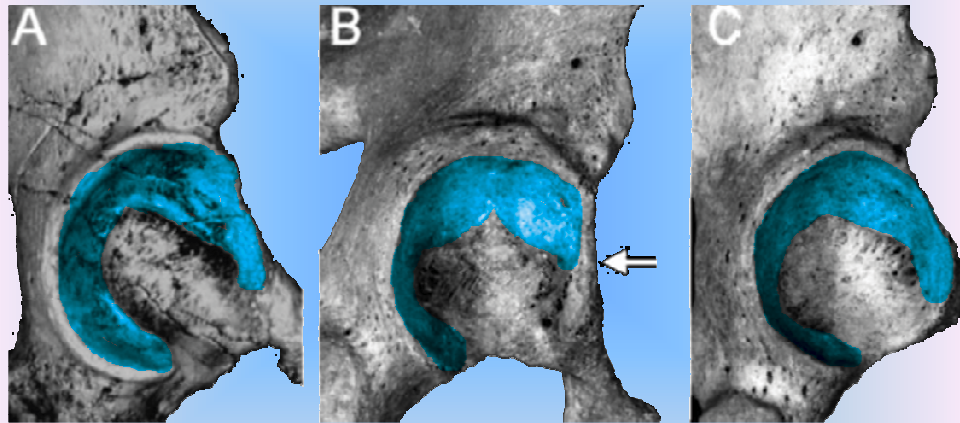


La forme de l'arrière-fond cotyloïdien influence sur la résultante de pression et sa direction
 Daniel *et al.*, *The shape of acetabular cartilage optimizes hip contact stress distribution*. J. Anat. (2005) 207 : 85–91

- ⇒ Si pas d'arrière-fond, tendance expulsive de la résultante – Pression moindre
- ⇒ Si trop marqué, tendance protrusive – Pression plus forte
- ⇒ Conditionne également les variations topographiques d'épaisseur du cartilage articulaire Cotyle et Fémur

DOCUMENT EN LECTURE SEULE

Acetabulum



A. Afarensis

Homme Moderne
défaut partie antérieure

Homme Moderne
Normalité

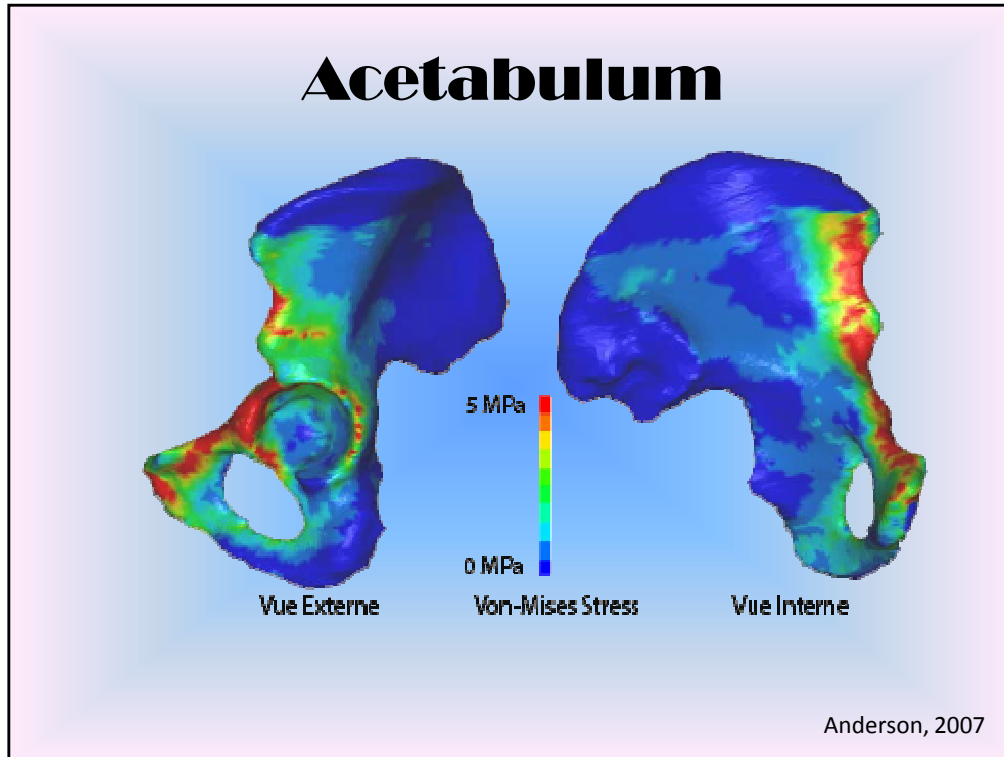
Modifié d'après Lovejoy, 2005

Acetabulum constitué par (Cartilage en Y)

- Ilium = partie Sup.
- Ischium = partie Post.
- Pubis = partie Ant.

Évolution

- Creusement de la cavité
- Élargissement de la cavité
- Amincissement de l'Arrière-fond
 - Développement du mur postérieur +++
 - Développement corne Ant.
 - Modif. Orientation dans l'espace
 - Témoigne de contraintes essentiellement postéro-supérieures
- Probables modifications du Ligament Rond
- Pas de renseignements sur évolution du Labrum
- A noter : développement de E.I.A.I et creusement de la gouttière sus-cotyloïdienne par tendon direct et réfléchi du Droit Antérieur



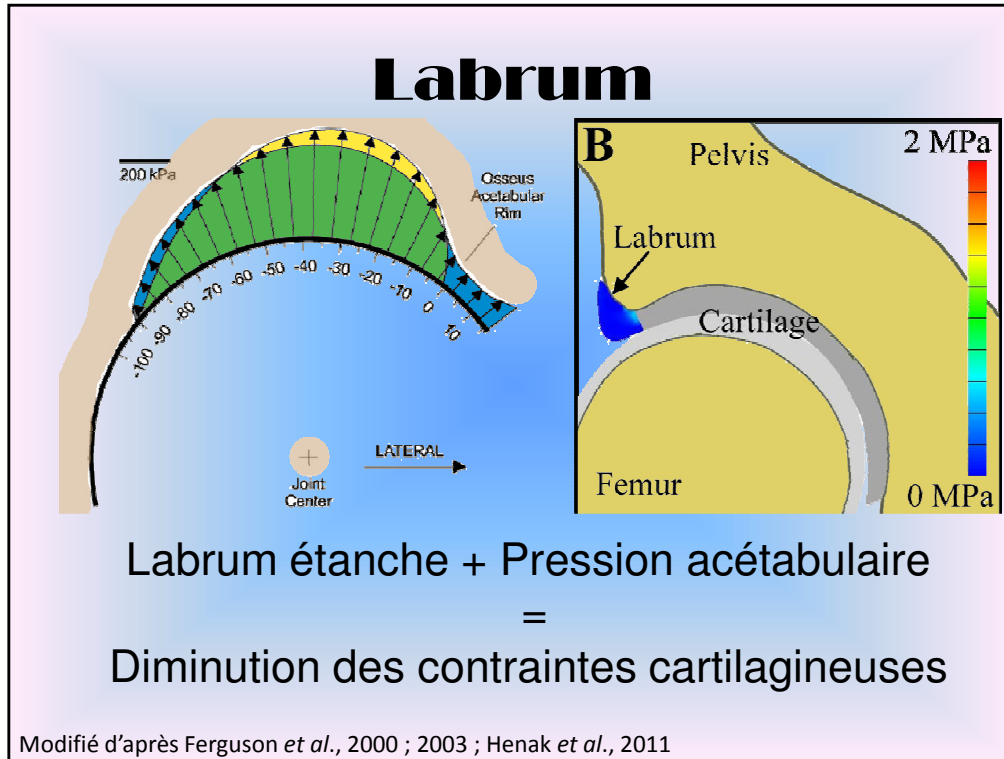
Le développement de la corne antérieure de l'acétabulum est sous la dépendance de facteurs de tensions musculaire.

Les contraintes les plus importantes viennent s'exprimer au niveau de la colonne antérieure de l'os coxal (Anderson, Apr 2007; *Computational Modeling of Hip Joint Mechanics*, Thèse Bioengineering, Université Utah)

=> Importance des vecteurs musculaires sur la maturation de l'articulation

Noter aussi l'influence sur E.I.A.I dont le développement est spécifique aux Hominidés

DOCUMENT EN LECTURE SEULE



Pour mémoire, il faut une traction de 22Kg environ pour décoller la tête fémorale de l'acétabulum (poids M. Inf. environ égal 11Kg) = Rôle Pression atmosphérique+lubrification synoviale+congruence articulaire (Castaing & Santini, 1979).

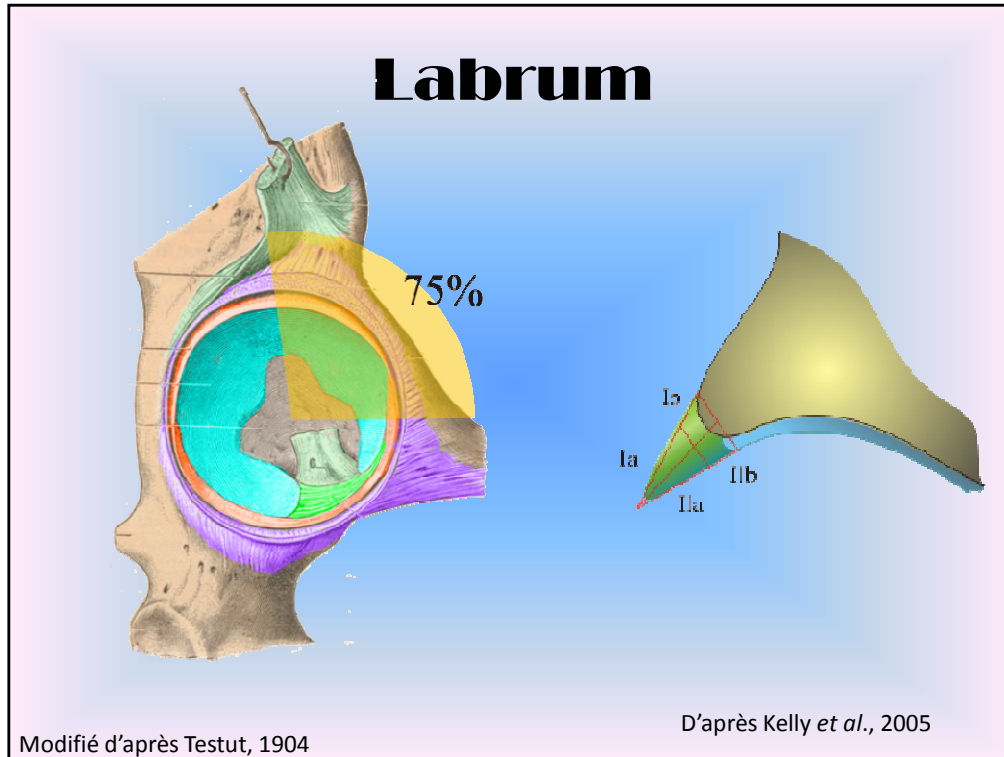
Répartition des contraintes au niveau acétabulaire. (Ferguson *et al.*, 2000 ; 2003)
 Ferguson *et al.*, *An in vitro investigation of the acetabular labral seal in hip joint Mechanics.* J Biomech. 2003 Feb;36(2):171-8.
 Ferguson *et al.*, *The influence of the acetabular labrum on hip joint cartilage consolidation: a poroelastic finite element model.* J Biomech. 2000 Aug;33(8):953-60.

En Jaune = pressions sans Labrum
 Bleu = Pressions avec Labrum

- Le Labrum permet de
 - diminuer les pressions et de les redistribuer en zone polaire sup. (Henak *et al.*, *Role of the acetabular labrum in load support across the hip joint.* J Biomech. 2011 Aug 11;44(12):2201-6)
 - Répartir le liquide synovial vers le point de pression (Hlaváček, *The influence of the acetabular labrum seal, intact articular superficial zone and synovial fluid thixotropy on squeeze-film lubrication of a spherical synovial joint.* J Biomech. 2002 Oct;35(10):1325-35.)
- Pression liquide articulaire $\cong 0,4 \text{ MPa}$ Étanchéité Labrum maintient la pression
 - Augmentation +++ pression intra-articulaire en particulier au moment de l'attaque du talon au sol
 - ⇒ Diminution des contraintes cartilagineuses
 - Risque œdème cartilagineux si pression excessive

- Peu de variation de pression lors du reste du cycle de marche
 - ⇒ Doit être compensé par un autre mécanisme = Paquet adipeux arrière-fond
 - Évite phénomènes de dégazage intra-articulaire + imbibition trop importante du cartilage aboutissant à un feuilletage cellulaire
- Le Labrum supporte moins de 10% du poids corporel lors des activités de la vie courante (Henak et al., 2011)
 - Contrainte surtout à la jonction cartilage/labrum
 - Contraintes x 4 en cas de dysplasie et/ou tendance expulsive de la Tête

Beck, *et al.*, *Increased intraarticular pressure reduces blood flow to the femoral head* ; Clin Orthop Relat Res. 2004 Jul;(424):149-52. ont montrés qu'une augmentation importante de la pression intra-articulaire (dès 25mmHg) diminue la vascularisation de la Tête fémorale



75% des déchirures labrales dans le quadrant supéro-antérieur – jamais dans cadran postéro-inférieur

Déchirures très fréquentes (96% à partir de 60 ans pour Seldes *et al.*, 2001) dont séparation de l'acetabulum 89%

Seldes RM, Tan V, Hunt J, Katz M, Winiarsky R, Fitzgerald RH Jr. *Anatomy, histologic features, and vascularity of the adult acetabular labrum. Clin Orthop* 2001;382:232-240.

Kelly *et al.*, 2005 *Vascularity of the hip labrum: a cadaveric investigation, Arthroscopy. 2005 Jan;21(1):3-11* ont défini la vascularisation selon 4 quadrants

- ⇒ Vascularisation dominante dans les secteurs Ia et IIa (4x + imp. que secteurs Ib et IIb)
- ⇒ Schéma vasculaire constant sur l'ensemble du Labrum
- ⇒ Vascularisation à partir de la capsule articulaire
- ⇒ Secteur Ia le mieux vascularisé

Innervation :

- Filets issus d'une branche du nerf du Carré Fémoral et du Nerf Obturateur
- Nombreuses fibres à terminaison libres – quadrants Antéro- et Postéro-supérieurs
- Corpuscules Vater-Pacini, Golgi-Mazonian et Ruffini fréquents dans les mêmes zones (Pression, proprioception, température)
- Corpuscules Krause inconstants
- Couche cartilagineuse du Labrum (Alzharani *et al. The innervation of the human acetabular labrum and hip joint: an anatomic study ; BMC Musculoskeletal Disorders* 2014, 15:41)

Variation de forme du Labrum en fonction de l'âge (Abe *et al.*, *Acetabular Labrum: Abnormal Findings at MR Imaging in Asymptomatic Hips* ; Radiology, 2000 ; 216:2, 576-581)

- Présente des modifications dès 40 ans
 - Tend à s'arrondir au niveau de la pointe terminale (20%)
 - Devient irrégulier (20%)
 - Présente des lésions dégénératives asymptomatiques dans 45% des cas à 40 ans
 - A noter : environ 30% de lésions dès 10 ans
 - 32% de labrum intacts et 65% d'atteintes après 50 ans
- Parfois absent (sur IRM) à partir de 50 ans (4%)
- Atteinte prédominante région antéro-supérieure sans distinction de genre

Extrémité Sup. Fémur



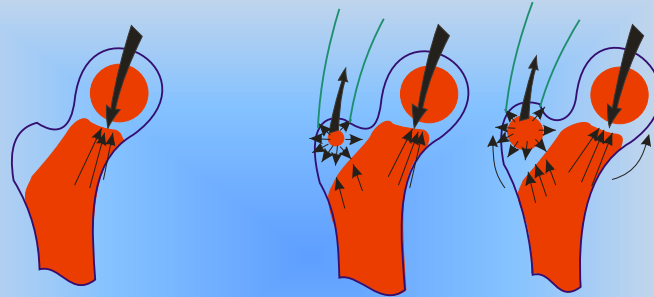
2 types d'ossification extrémité sup => Séparée ou Coalescente (Serrat *et al.*, *Variation in mammalian proximal femoral development : comparative analysis of two distinct ossification patterns*. *J. Anat.* (2007) 210 : 249–258)

- Séparée = Hominoïdes, beaucoup de Rongeurs, Musaraignes, Qq espèces marines
 - Pas de relations claires établies avec poids, taille, phylogénie ou mode de locomotion mais prédominant chez Bipèdes occasionnels, bipèdes permanents, et grimpeurs
- ⇒ compréhensible si fracturation précoce du crochet flagellaire car ces paramètres relèvent de l'évolution convergente

La structure diaphysaire et la surface de contact articulaire varient en fonction du schéma moteur (in Harmon, *The shape of the hominoid proximal femur: a geometric morphometric analysis*. *J. Anat.* (2007) 210 : 170–85. qui cite de nombreux auteurs) en particulier Grd Trochanter + haut/tête fémorale et descendant +bas

DOCUMENT EN LECTURE SEULE

Extrémité Sup. Fémur



Avant la Marche

Après la Marche

CONTRAINTES INTERNES

CONTRAINTES EXTERNES

COXA VALGA

COXA VARA

EPIPHYSIOLYSE
NECROSE ASEPTIQUE

Modifié d'après
Castaing & Santini, 1960

In Utero ou avant la marche, la croissance et la conformation anatomique de la coxo-fémorale sous la dépendance du positionnement du M. Inf. donc des contraintes internes,

Après le début de la marche, sous la dépendance des tensions musculaires liées à la marche donc des contraintes externes

Si croissance excessive éperon de Meckel => Coxa Valga

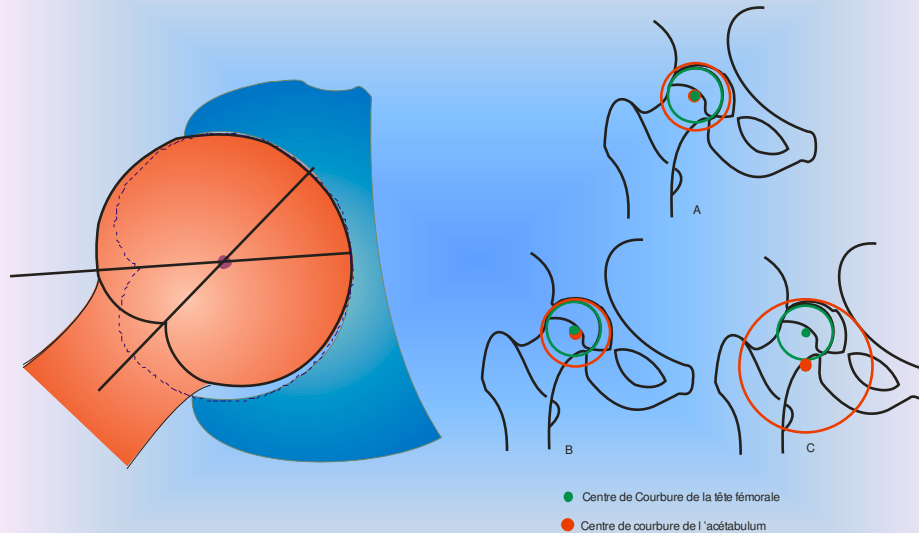
Si défaut croissance = Coxa Vara

Epiphysiolyse / Nécrose aseptique = Conflit entre contraintes Int. Et contraintes Ext.

=> Conflit de l'Homme par rapport à lui-même et par rapport à son milieu

DOCUMENT EN LECTURE SEULE

Extrémité Sup. Fémur



Modifié d'après Menschik, 1997

Redessiné d'après Klein & Sommerfeld, 2008

Difficile de situer avec précision le centre des mouvements de la Hanche en utilisant les mouvements : imprecision de l'ordre de 14 mm (Speirs *et al.*, *The Accuracy of the Use of Functional Hip Motions on Localization of the Center of the Hip*. HSSJ (2012) 8:192-7.)

Menschik, *The hip joint as a conchoid shape*. J Biomech. 1997 Sep;30(9):971-3.

Le fait que la tête fémorale soit incluse dans une conchoïde diminue les pressions s'exerçant sur le cartilage, même par rapport à une tête parfaitement sphérique (Anderson *et al.*, 2010)

Afoke *et al.*, *The incongruous hip joint: a loading study*. An. Rheum. Dis., 1984; 43, 295-301

⇒ Incongruence nécessaire au fonctionnement harmonieux de l'articulation

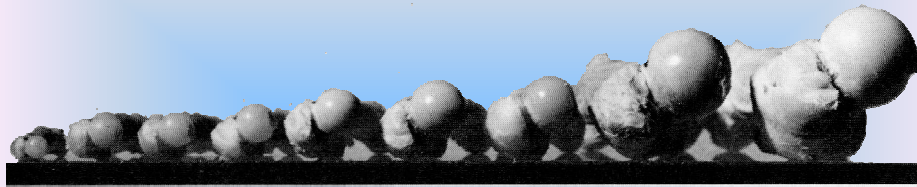
⇒ Si trop importante ⇒ augmentation des pressions intra-articulaires

⇒ A) = situation normale

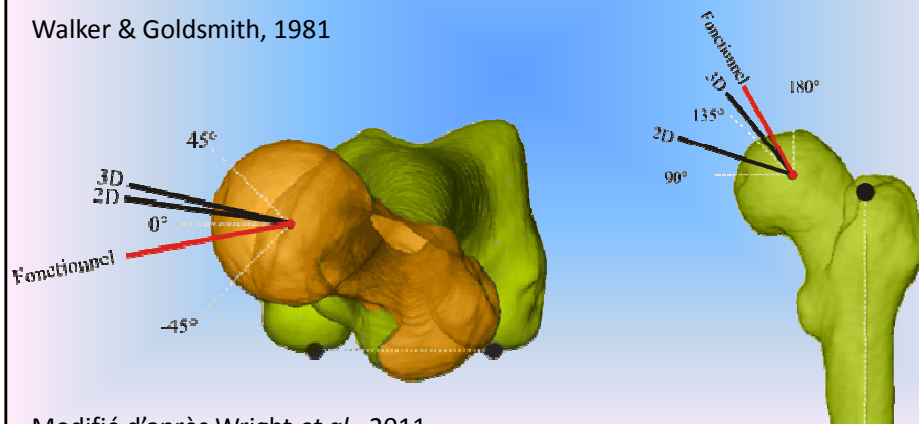
⇒ B) = Limite élasticité zone orbiculaire de la capsule

⇒ C) = Dysplasie – correspond à un acetabulum plat

Extrémité Sup. Fémur



Walker & Goldsmith, 1981



Modifié d'après Wright *et al.*, 2011

Wright *et al.*, *Functional and Anatomic Orientation of the Femoral Head*. Clin Orthop Relat Res (2011) 469:2583–89

2D et 3D = axes anatomiques de la tête fémorale (2D) et de l'ensemble Tête+Col (3D)

Axe fonctionnel = axe tenant compte de la densité de l'os sous-chondral + épaisseur du cartilage au niveau de la Tête

⇒ Mouvements couplés favorisés

⇒ Flex + Rot. Int + ABD

⇒ Ext + Rot. Ext + ADD

L'angle de torsion évolue avec l'âge

=>Commence à diminuer dès 28 sem. In Utero (max 22°, 17° à la naissance)

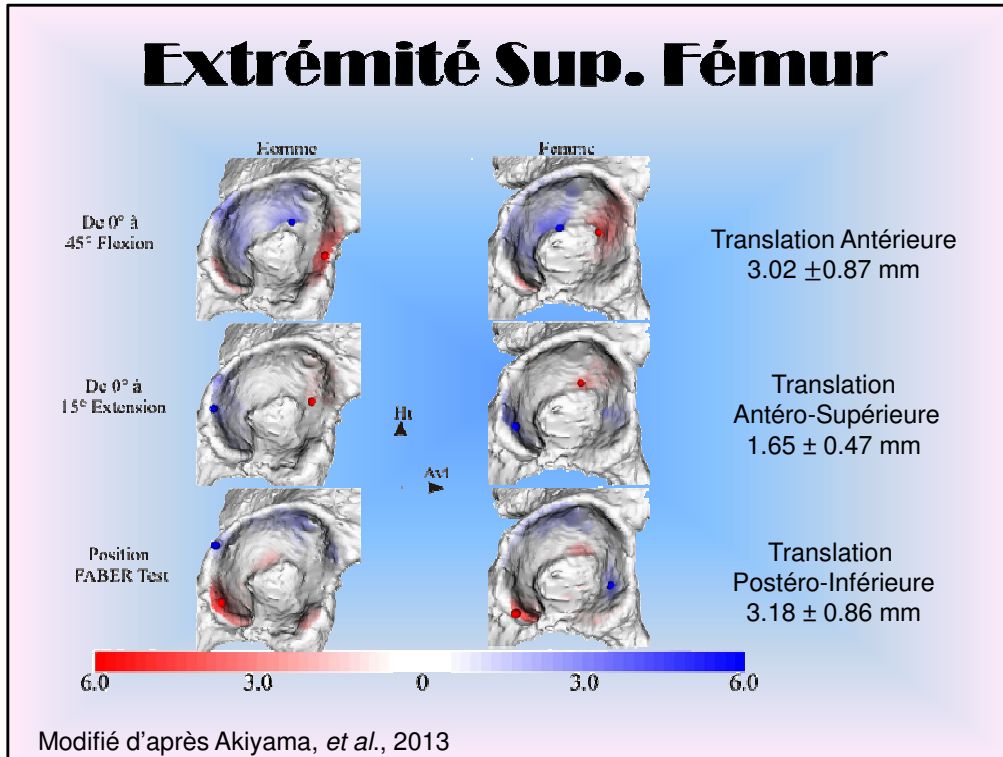
=>Pas de corrélation entre angle de torsion et croisement des M. Inf. In Utero (30%

Droite sur Gauche, 24% Gauche sur Droite et 46% sans croisement – croisement aléatoire)

Walker & Goldsmith, *Morphometric study of the fetal development of the human hip joint: significance for congenital hip disease*. Yale J Biol Med. 1981 Nov-Dec;54(6):411-37.

Le Damany évoque la torsion fémorale intra-utérine comme cause possible de la luxation congénitale de Hanche dès 1908 (*Le Mécanisme de la torsion et de la détorsion du fémur. Le mécanisme de la luxation congénitale de la hanche.*, Bulletins et Mémoires de la Société d'anthropologie de Paris, 1908 ; 9(1) : 732-36.)

Extrémité Sup. Fémur



Akiyama, *et al.*, *In vivo hip joint contact distribution and bony impingement in normal and dysplastic human hips* ; J Orthop Res. 2013 Oct;31(10):1611-9

En rouge = compression

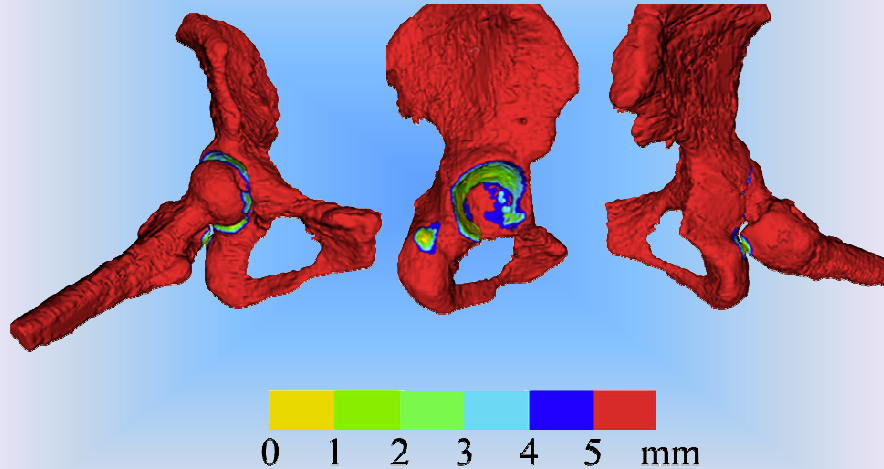
En Bleu = decompression

Instabilité Coxo-fémorale associée avec

- Age
- Sphéricité Tête Fémorale
- Sphéricité Acetabulum

DOCUMENT EN LECTURE SEULE

Extrémité Sup. Fémur



Modifié d'après Akiyama, *et al.*, 2013

Attention : (ici Femme, non dysplasique)

Dans quelques cas, même en l'absence de dysplasie, il y a contact entre Ischion et Grand Trochanter dans position du FABER test => Risque de faux positif sur test ostéo Downing

Position potentiellement traumatisante si répétée (par ex. Pendant rapports) ou maintenue dans le temps (par ex. Allongé, jambes croisées pdt une sieste ; position du lotus en yoga)

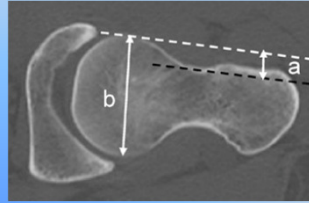
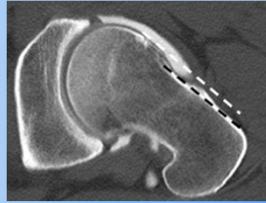
Augmente risque lésion labrum chez danseuse par appui sur ischion et tension capsulaire antéro-supérieure dans les mouvements d'ouverture de hanche

DOCUMENT EN LECTURE SEULE

Extrémité Sup. Fémur

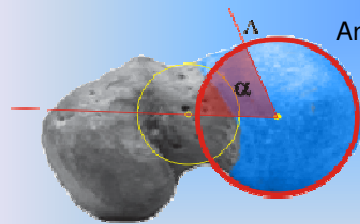
Offset Cervico-céphalique

Effet Came :
 $a < 7\text{mm}$
 ou
 $a/b < 0,15$

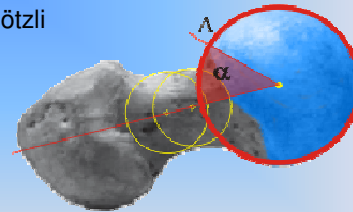


Normal

Serra-Tosio, 2011



Angle de Nötzli



Type CAME
 $\alpha \geq 55^\circ$

Type Normal
 $\alpha < 50^\circ$

Modifié d'après Nötzli, 2002 ; Bouma *et al.*, 2014

La position de la tête fémorale / au col influe sur la pathologie dégénérative de la hanche
 => lésion labrum +++ mais aussi coxarthrose

Notion introduite par Goodman *et al.*, *Subclinical slipped capital femoral epiphysis. Relationship to osteoarthritis of the hip.* J Bone Joint Surg Am. 1997 Oct;79(10):1489-97

Nötzli *et al.*, *The contour of the femoral head-neck junction as a predictor for the risk of anterior impingement ;* J Bone Joint Surg Br. 2002 May;84(4):556-60. a montré l'importance de ce positionnement et a défini le premier la valeur de l'angle α

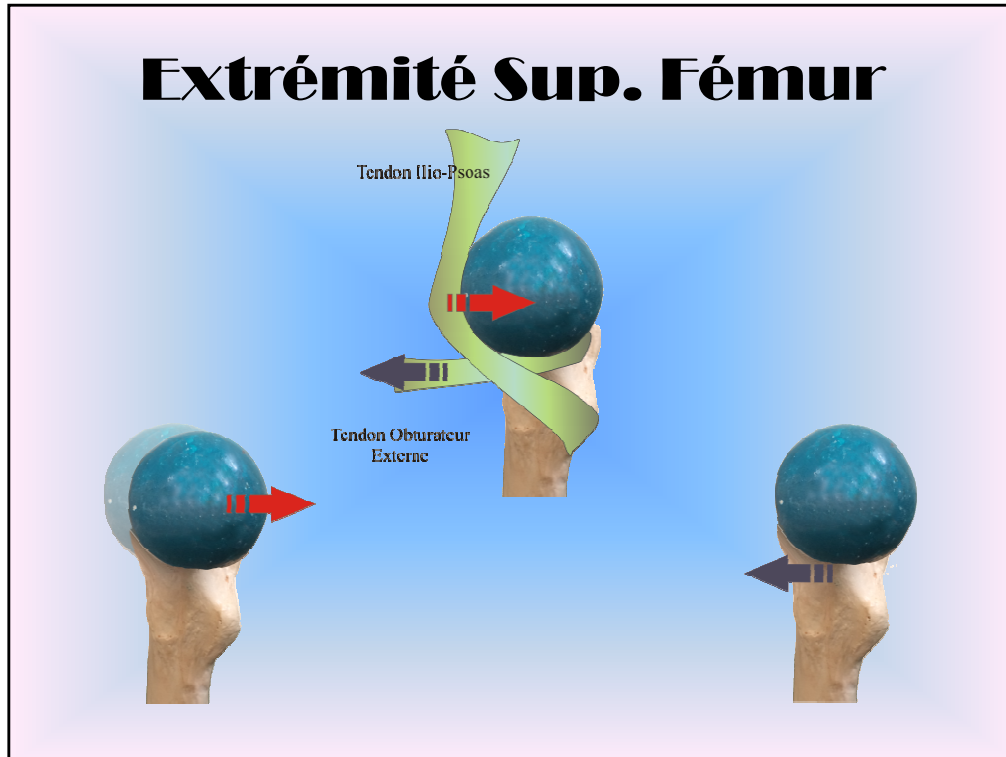
"Le point A est le point antérieur où la distance depuis le centre de la tête excède le rayon de la surface sous-chondrale de la tête fémorale" (Nötzli)

Le type Came diminue l'amplitude de Rotation Interne (contact osseux prématuré)

Bouma *et al.*, *Where is the neck? Alpha angle measurement revisited.* Acta Orthopaedica 2014; 85 (2): 147-151

DOCUMENT EN LECTURE SEULE

Extrémité Sup. Fémur



Au niveau anat, tendon m. Obturateur Ext croise la partie post. du Col avec composante antériorisation ; Tendon Ilio-psoas croise la Tête avec composante postériorisation

⇒ Si tension Obturateur > tension Ilio-Psoas = glissement ant. Col / Tête

⇒ Si tension Obturateur < tension Ilio-Psoas = glissement post. Tête / Col

⇒ Formation d'un Bump cervical

⇒ Apparition Epiphysiolyse vraie

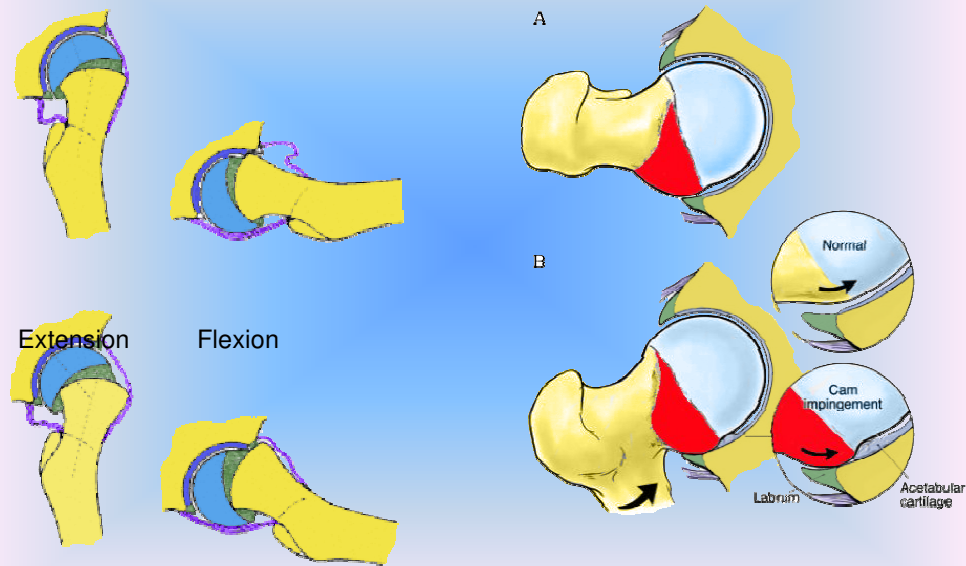
⇒ Si tensions équilibrées = torsion femur sous ensemble {Col+Tête} = Normale

À noter :

- sensibilité ++ Obturateur Ext. et Psoas aux influences viscérales et gynécologiques
- Sur Hanche mature, déséquilibre = pb centrage de la Tête dans Acétabulum

DOCUMENT EN LECTURE SEULE

Extrémité Sup. Fémur



Modifié d'après Leunig *et al.*, 2000 ; Byrd 2010

Le Bump cervical = conséquence d'une épiphysiolyse méconnue de la tête fémorale
Épiphysiolyse méconnue concernerait environ 8% de la population; multiplie les risques
coxarthrose par 3 (Goodman, *et al.*, 1997)

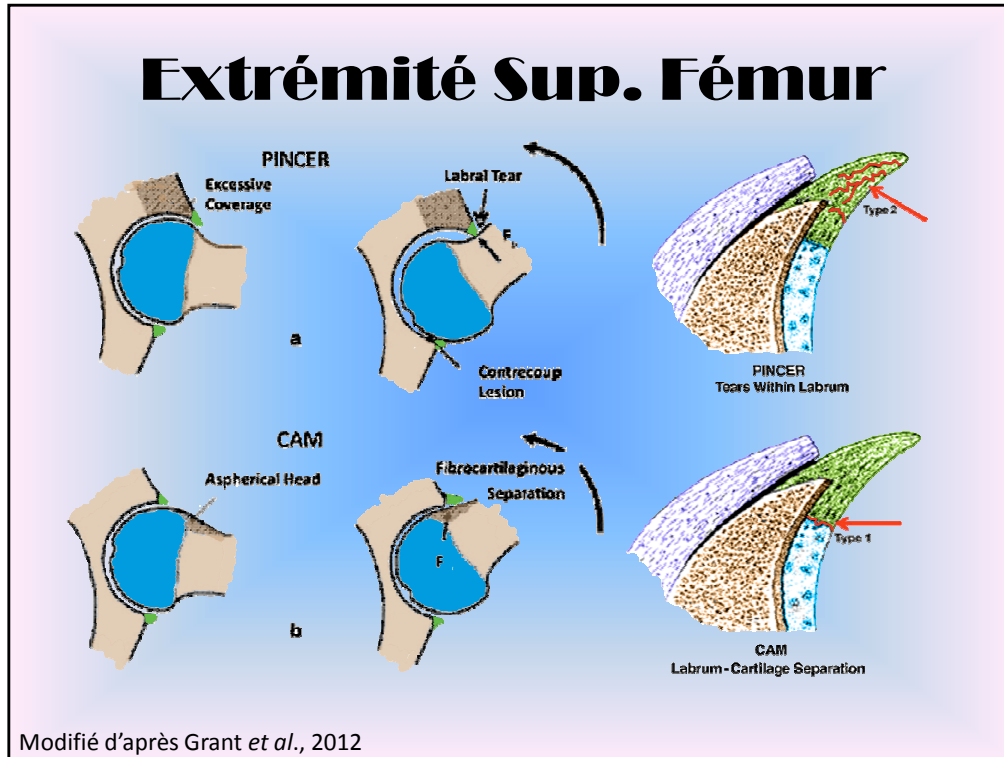
- ⇒ Cicatrisation et croissance avec production d'un défaut osseux antérieur
- ⇒ Déformation de type Came de la tête fémorale

Leunig *et al.*, *Slipped capital femoral epiphysis: early mechanical damage to the acetabular cartilage by a prominent femoral metaphysis*. Acta Orthop Scand. 2000 Aug;71(4):370-5.

Byrd, *Femoroacetabular impingement in athletes, part 1: cause and assessment*. Sports Health. 2010 Jul;2(4):321-33.

DOCUMENT EN LECTURE SEULE

Extrémité Sup. Fémur



Modifié d'après Grant *et al.*, 2012

2 types de lésions du Labrum :

➤ Type Came ou Bump osseux

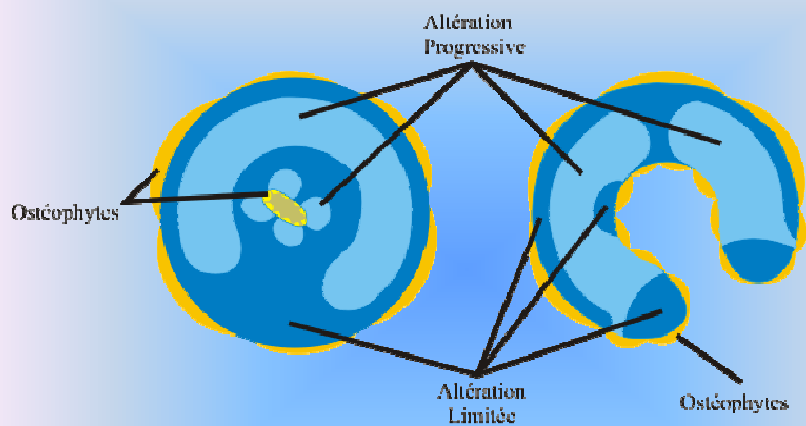
- ⇒ Angle $\alpha > 55^\circ$ (trop important) ou séquelle épiphysiolyse durant croissance
- ⇒ Écrasement du Labrum sur le col : dilacération du Labrum à sa partie distale
- ⇒ **Ne pas confondre avec dysfonction Hanche en R.I.**

➤ Type Pince

- ⇒ Angle de couverture trop important – diminution des amplitudes
- ⇒ **Ne pas confondre avec dysfonction Hanche** postero-interne ou antero-externe
- ⇒ Fissuration du Labrum à la jonction cartilage acétabulaire/Labrum
- ⇒ Présence d'une contre-coup acétabulaire postéro-inférieur avec lésions cartilagineuses d'apparition tardives
- ⇒ Risque de lésions structurelles (fractures ou arrachement Ligtaire) du mur postérieur de l'acétabulum, en particulier chez le sportif (Krych *et al.*, *Is Posterior Hip Instability Associated with Cam and Pincer Deformity?* Clin Orthop Relat Res (2012) 470:3390–97.)

Grant *et al.*, *The labrum: structure, function, and injury with femoro-acetabular impingement.* J Child Orthop (2012) 6:357–372

Extrémité Sup. Fémur



Dès 20 ans :

- Altérations progressives précoces
- Micro-ostéophytose à évolution tardive
- Hommes plus que Femmes

10% des coxo-fémorales à partir de 50 ans

Modifié d'après Byers *et al.*, 1970 ; 1976

Micro-ostéophytose fovéale et périphérique dès 20 ans

⇒ Évoluent peu jusqu'à 50 ans puis croissance rapide

⇒ Toutes les lésions n'évoluent pas – en particulier les ostéophytes

Atteintes cartilagineuse = début en péri-fovéal puis croissant sur la tête fémorale

Lésions plus complexes sur acétabulum

Zone balayée par Lig. Rond moins touchée sur Tête + Acétabulum

Peu de relation avec le genre, surtout relation avec la taille

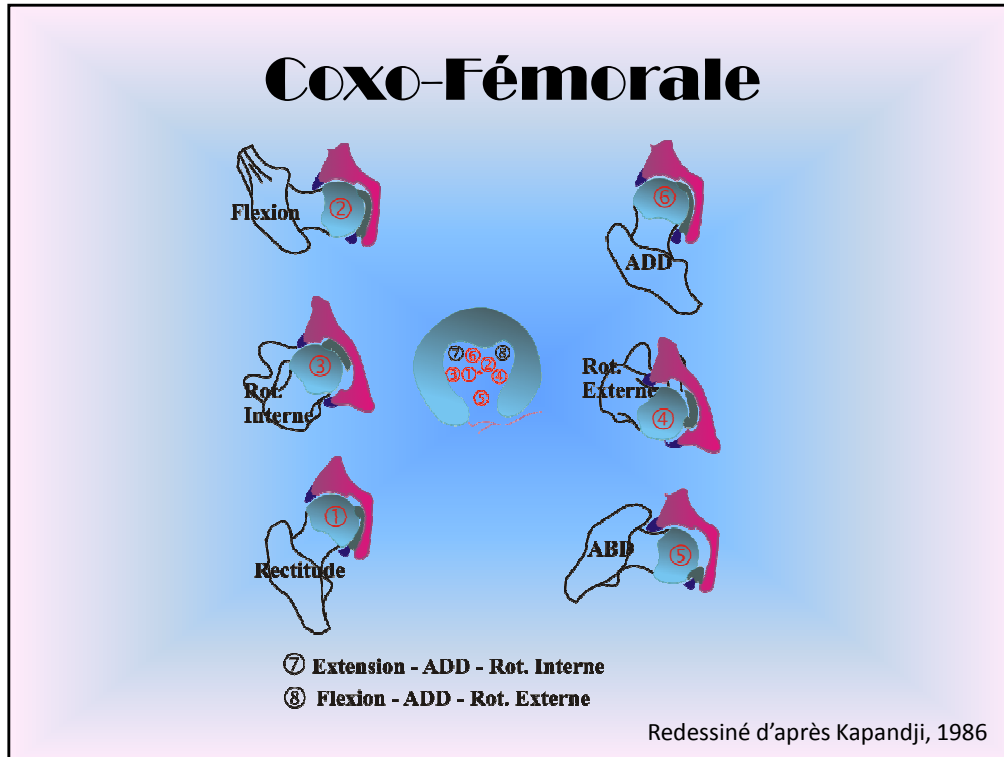
10% des hanches touchées dès 50 ans – Fréquence croissante jusqu'à 70 ans

Évolution des lésions cartilagineuse en 5 phases

- (1) Fines granularités
- (2) effilochage, fissuration, desquamation superficielle
- (3) Perte du cartilage
- (4) Ossification du site de la perte cartilagineuse (réparation fibreuse)
- (5) Exposition os sous-chondral

Byers *et al.*, *A post mortem study of the hip joint*. Ann. rheum. Dis. (1970) 29, 15

Byers *et al.*, *A post mortem study of the hip joint III. Correlations between observations*. Ann. rheum. Dis. (1976), 35, 122



Rôle du Lig Rond reste mal compris

Décrit comme Lig suspenseur de la Hanche par Savory en 1874

Revue des avancées : O'Donnell *et al.*, *The ligamentum teres—its increasing importance*. Journal of Hip Preservation Surgery, 2014

Structure analogue Lig Croisé antérieur du Genou

Innervation nociceptive et proprioceptive, essentiellement au centre du lig – terminaisons libres à la base (Haversath *et al.*, *The distribution of nociceptive innervation in the painful hip: a histological investigation*. Bone Joint J B 2013; 95: 770–6)

Gray AJ, Villar RN. *The ligamentum teres of the hip: an arthroscopic classification of its pathology*. Arthroscopy 1997; 13: 575–8.

- Tension max en Flex – ADD – RE
- Rôle possible circulation liquide synovial (effet essuie-glace)

Martin RL, Palmer I, Martin HD. *Ligamentum teres: a functional description and potential clinical relevance*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2012; 20: 1209–14

- Tension max en FLEX – RE – ABD (= attaque talon au sol)
- Tension max en EXT – RI – ADD (= décollément orteils)

=> Rôle stabilisateur et proprioceptif du Lig Rond lors de périodes du cycle de marche à fortes contraintes

Limite l'ADD (de 3,5° environ) mais pas les autres composantes de mobilité (Demange MK, Kakuda CMS, Pereira CAM *et al.* *Influence of the femoral head ligament on hip mechanical function*.

Acta Orthop Bras 2007; 15: 187–90

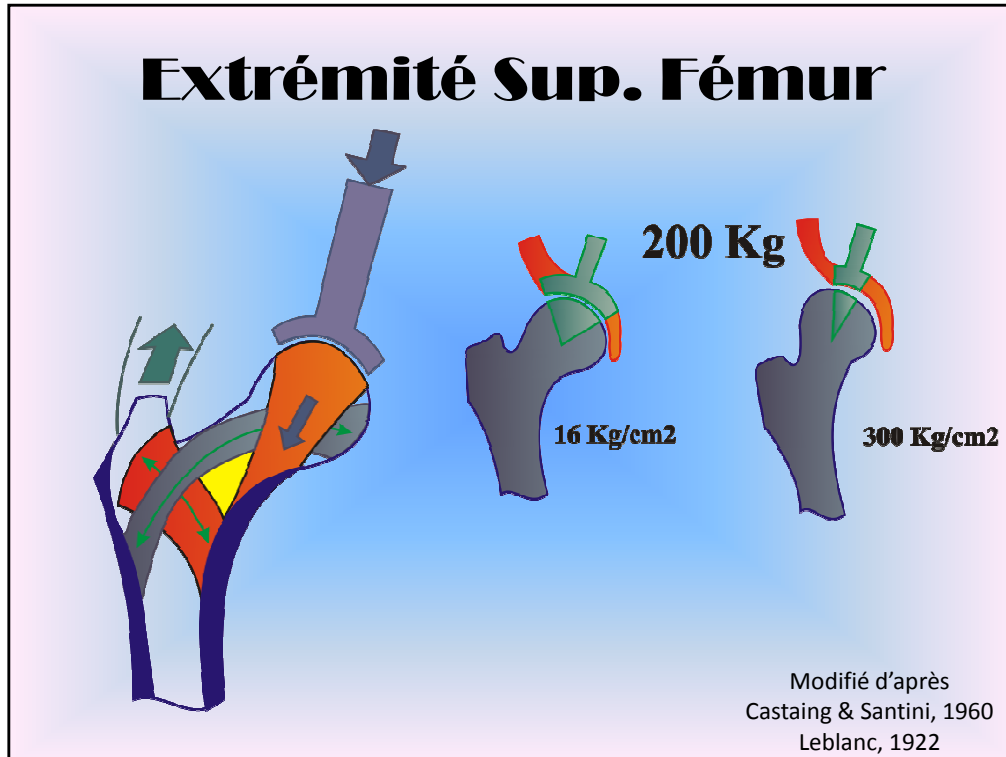
Sur hanche en FLEX (100°)– ABD (20°) Ligt Rond augmente la stabilité articulaire au niveau antéro-inférieur => recentrage de la tête fémorale

Kivlan B, Clemente FR, Martin RL *et al.* *Function of the ligamentum teres during multi-planar movement of the hip joint.* Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2013; 21: 1664–8

Attention : positions de test du Ligt Rond (Flex 70°, Abd 30°, RE puis RI) très proche de celles utilisées pour le Downing Test => risques d'erreurs et/ou de confusions

Downing Test douloureux :

- ⇒ Suspecter lésion Ligt Rond ou impaction Trochanter/Ischion
- ⇒ Imagerie + Cs orthopédiste nécessaires



Leblanc, *Note sur l'architecture du tissu spongieux de la partie supérieure du fémur chez l'homme*. Bulletins et Mémoires de la Société d'anthropologie de Paris, 1922 ; 3(1) : 90-98

La Hanche travaille comme une grue :

- Les contraintes en compression entraînent :
 - Un épaissement cortical interne = Eperon de MERKEL
 - Un développement de trabécules ancrées sur la corticale interne et s'évasant en éventail vers le pôle inférieur de la tête fémorale.
- Les contraintes de tension entraînent :
 - Le développement de trabécules allant de la corticale externe au pôle inférieur de la tête fémorale,
 - Le développement de trabécules allant de la corticale interne au Grand Trochanter.

L'ensemble forme un système ogival.

Architecture trabéculaire

- ⇒ Absorption des contraintes par élasticité et plasticité osseuse
- ⇒ Spécifique à l'activité locomotrice dominante (Fajardo *et al.*, *Nonhuman Anthropoid Primate Femoral Neck Trabecular Architecture and Its Relationship to Locomotor Mode*. Anat. Rec., 2007; 290: 422-36.)

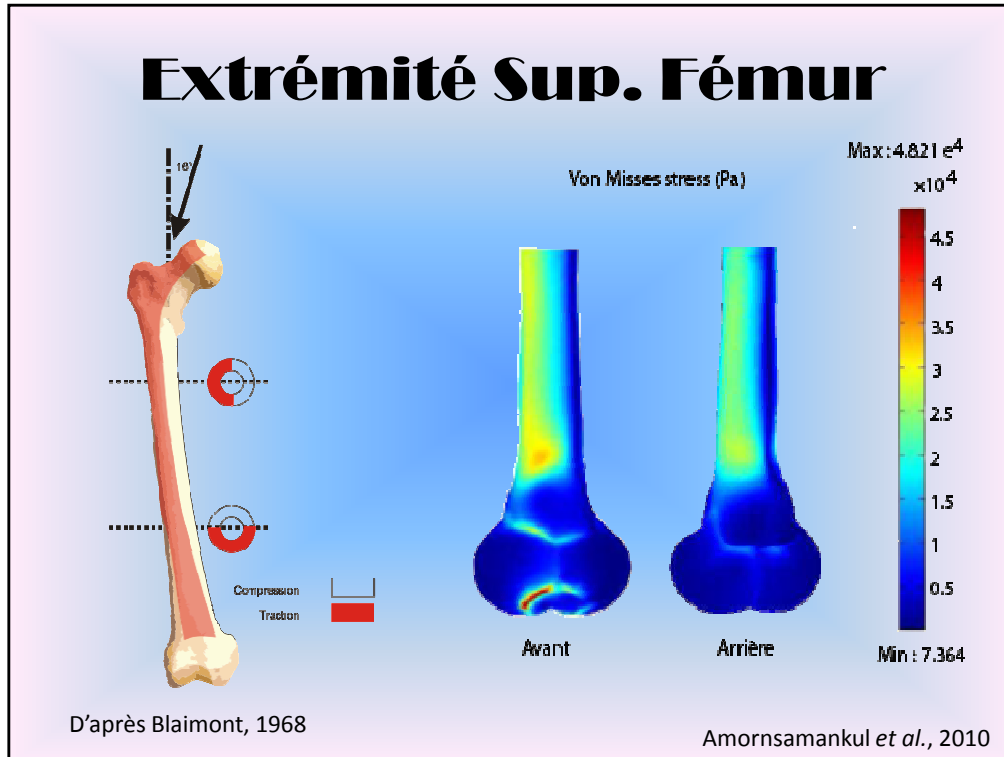
Compression => épaissement cortical interne = Éperon de Meckel

En Jaune = Zone de moindre résistance, en particulier si ostéoporose = zone fracturaire du

Col

Variation +++ imp. de la pression intra-articulaire selon coxa Vara ou coxa Valga

Extrémité Sup. Fémur

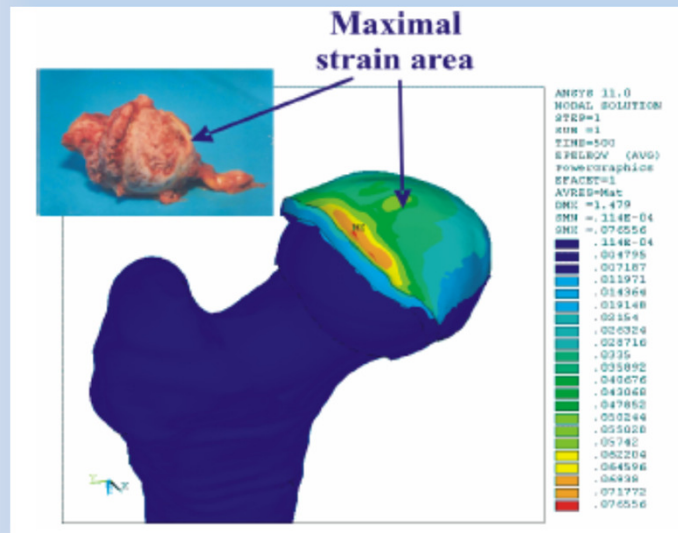


Distribution des contraintes à l'intérieur du Fémur

- Contraintes sur la Tête diluée sur toute la longueur du fut fémoral
 - Répartition non homogène
 - ⇒ en compression vers l'extérieur puis le devant
 - ⇒ En traction sur l'intérieur puis l'arrière (Blaimont, 1968, *Contribution à l'étude biomécanique du fémur humain. Etude mécanique du fémur normal et prothésé. Vérification des lois de Wolff. Rôle du remaniement haversien dans l'adaptation de l'os aux sollicitations mécaniques* (Unpublished doctoral dissertation). Université libre de Bruxelles, Faculté de Médecine – Médecine, Bruxelles.)
- Pic de pression au niveau Fémoro-tibial lors de la Marche
 - Ici, simulation pour un poids corporel de 70Kg => Zone Externe +++
 - À partir de 100 Kg, implication de l'ensemble de l'échancrure condylienne (Amornsamankul et al., *Three-Dimensional Simulation of Femur Bone and Implant in Femoral Canal using Finite Element Method*. International Journal Of Mathematics And Computers In Simulation; 2010, 4:4, 171-8)

Von Mises Stress = critère de l'énergie de distorsion élastique
 = combinaison de tous les vecteurs de force agissant dans les 3 plans de l'espace à un point précis
 = mesuré en Pascal

Extrémité Sup. Fémur



Greco et al., 2010

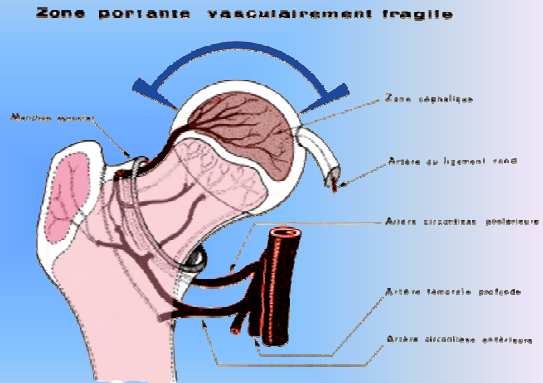
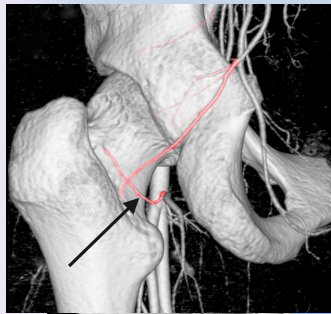
Greco et al., Numerical simulations of the 3D virtual model of the human hip joint, using finite element method. Rom J Morphol Embryol. 2010;51(1):151-5.

Résultats comparables à ceux de Thomas D. Brown & Albert B. Ferguson (1980) *Mechanical Property Distributions in the Cancellous Bone of the Human Proximal Femur*, Acta Orthopaedica Scandinavica, 51:1-6, 429-437

Le max de pression se situe au niveau supéro-externe de la tête fémorale, en regard du Labrum

DOCUMENT EN LECTURE SEULE

Extrémité Sup. Fémur



Modifié d'après Castaing & Santini, 1960

Modifié d'après Zlotorowicz *et al.*, 2011 ; 2012

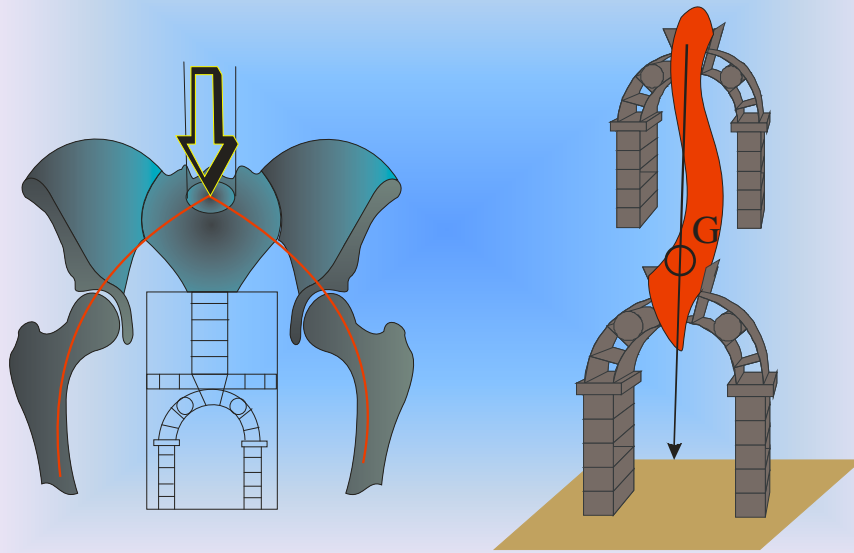
- Dépendance vasculaire de l'Art. Circonflexe Post. , branche de l'Art. Fémorale Profonde
- Pas de suppléance possible avant l'âge de 2-3 ans
 - Apport négligeable de l'Art. du Ligt Rond avant 20-30 ans et après 40 ans (Castaing & Santini, 1979)

Zlotorowicz *et al.*, *Imaging the vascularisation of the femoral head by CT angiography.* J Bone Joint Surg Br. 2012 Sep;94(9):1176-9.

Zlotorowicz *et al.*, *Anatomy of the medial femoral circumflex artery with respect to the vascularity of the femoral head.* J Bone Joint Surg Br 2011 Nov;93-B:1471-4

DOCUMENT EN LECTURE SEULE

Coxo-Fémorale



Redessiné d'après Castaing & Santini, 1979

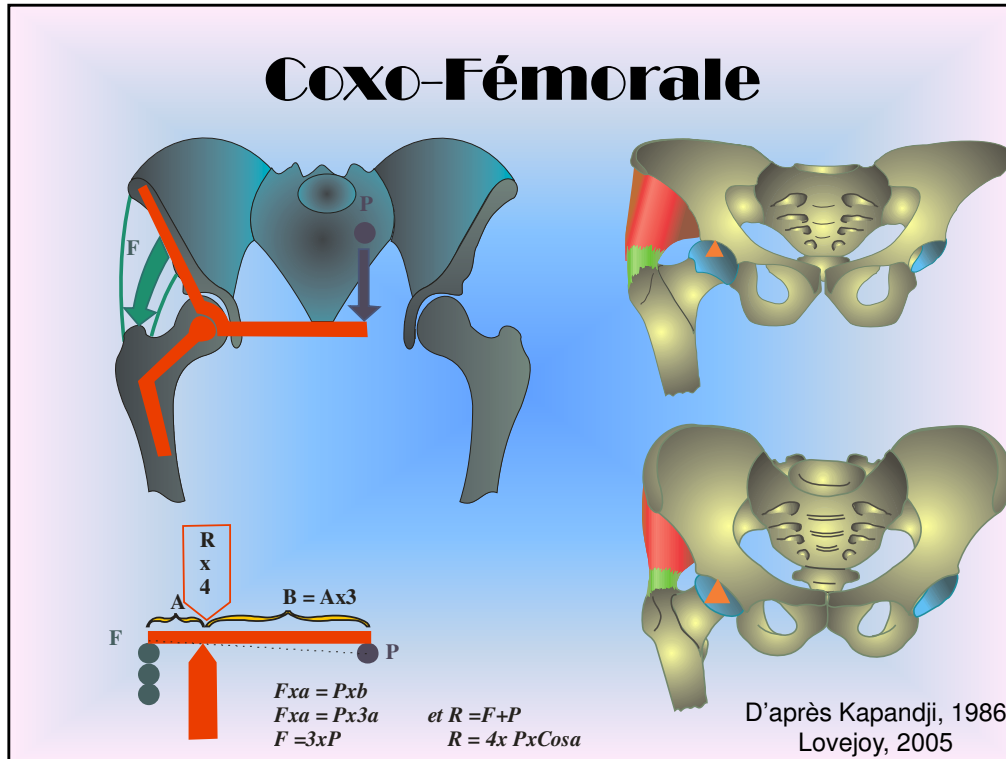
En appui bilatéral, le bassin fonctionne en voute romane supportant une colonne => système stable

À la marche, un seul point d'appui

- ⇒ nécessité de conserver l'équilibre de la colonne
- ⇒ Pb de gestion du CdG
 - ⇒ Équilibre os coxal/ fémur fixe
 - ⇒ Équilibre colonne/ fémur fixe
 - ⇒ Assurer la dynamique contro-latérale
- ⇒ Macro-ajustements au niveau de la coxo-fémorale,
- ⇒ Micro-ajustements au niveau S.I. et Symphyse

DOCUMENT EN LECTURE SEULE

Coxo-Fémorale



Équilibre transversal = Balance de Pauwels (*Biomechanics of the Locomotor Apparatus*, Springer, 1980)

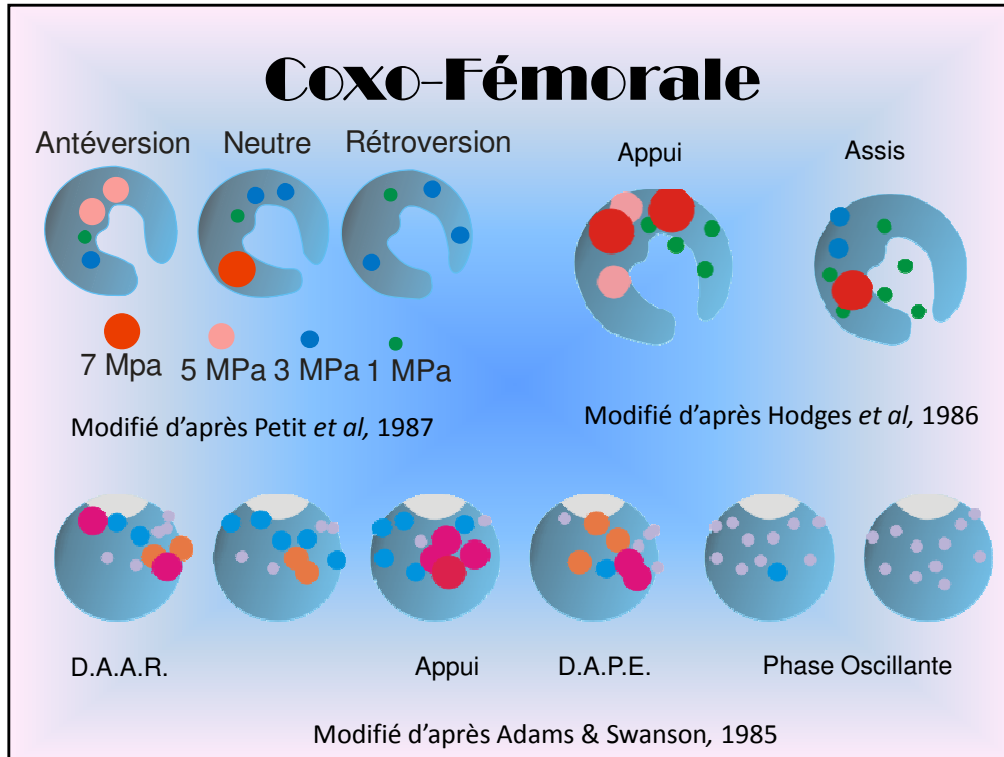
Modèle toujours valide

Chez Homme moderne, on considère que $B = 3A$ environ (à moduler compte-tenu inclinaison du bassin lors de la Marche)

- ⇒ Bassin globalement adaptable et mobile permettant de rapprocher l'axe mécanique du M. Inf de l'axe du Corps (donc déplacement du CdG faible)
- ⇒ Utilisation du moment d'inertie du Tronc pour diminuer les dépenses énergétiques
- ⇒ Pression relativement importante coxo-fémorale mais
 - ⇒ Tête fémorale + importante
 - ⇒ Système complexe capsule + Labrum + liquide synovial diminuant les contraintes
 - ⇒ Système complexe d'orientation trabéculaire diminuant les contraintes => système différent des autres primates et plus efficace, différents de ses prédécesseurs supposés
 - ⇒ Système complexe d'orientation des différents segments de l'extrémité sup. du Fémur à maturation tardive adaptant la structure au schéma fonctionnel de Marche => variations inter-individuelles, ethniques et socio-culturelles

Chez Lucy (A. Afarensis), A plus grand car col allongé et B plus petit car sacrum étroit => Situation favorable à la coxo-fémorale avec peu d'expression articulaire, bassin très stable

mais nécessite adaptation par le Tronc



Pression acétabulaire intra-articulaire

- Petit *et al.*, 1987, *Experimental Study of the Hip Biomechanics Using Prescale Films*. In *Biomechanics: Basic and Applied Research - Selected Proceedings of the Fifth Meeting of the European Society of Biomechanics*, September 8–10, 1986, Berlin, F.R.G., Springer. variation selon la position du Bassin (étude cadavérique),
- Krebs *et al.*, *Exercise and gait effects on in vivo hip contact pressures*. *Phys Ther.* 1991 Apr;71(4):301-9. variation selon les exercices => stimulation croissance cartilage
- Hodges *et al.*, 1986 = analyse in vivo selon les activités de la vie courantes (Hodges *et al.*, *Contact pressures in the human hip joint measured in vivo*. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 1986 May; 33: 2879-83.)
 - Noter la pression niveau arrière-fond en position assise
- Pour Daniel *et al.*, 2008, (*Hip contact stress during normal and staircase walking: the influence of acetabular anteversion angle and lateral coverage of the acetabulum*. *J Appl Biomech.* 2008 Feb;24(1):88-93.) variation pression selon antéversion et angle de couverture acetabulum
 - Augmentation pression à la montée (x1,5) et descente (x8) escaliers +++ si angle antéversion trop important et couverture trop petit
- Pour Anderson *et al.*, 2010, (*Effects of idealized joint geometry on finite element predictions of cartilage contact stresses in the hip*. *J Biomech.* 2010 May 7;43(7):1351-7) variation selon une dynamique et selon la forme de la tête fémorale

Adams & Swanson, *Direct measurement of local pressures in the cadaveric human hip joint during simulated level walking*. *Ann Rheum Dis.* 1985 Oct;44(10):658-66.

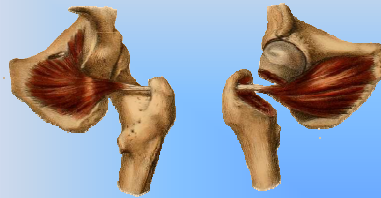
=> analyse sur cadavre de la pression au niveau de acetabulum et de la tête

fémorale

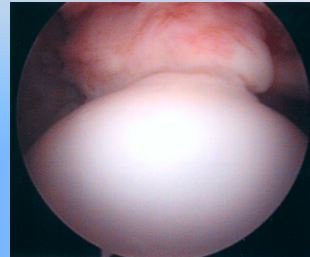
⇒ Présente les variations de pression en fonction des déplacements de la tête sous acetabulum au cours de la marche

Toutes les analyses donnent des résultats à peu près similaire en intensité et localisation

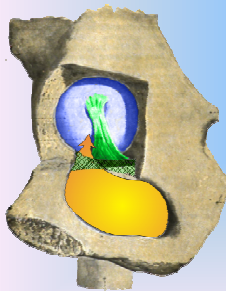
Coxo-Fémorale



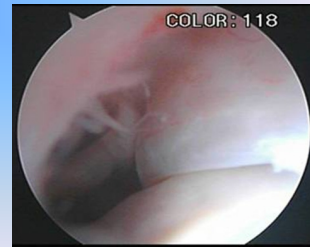
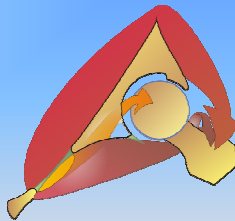
Modifié d'après Bourgerie & Bernard,



A



Modifié d'après Fick, 1904



B

Paquet graisseux entre Obturateur externe et Membrane obturatrice se continuant dans l'arrière-fond cotyloïdien

Régulation de la pression intra-articulaire synoviale + régulateur de la pression cartilagineuse :

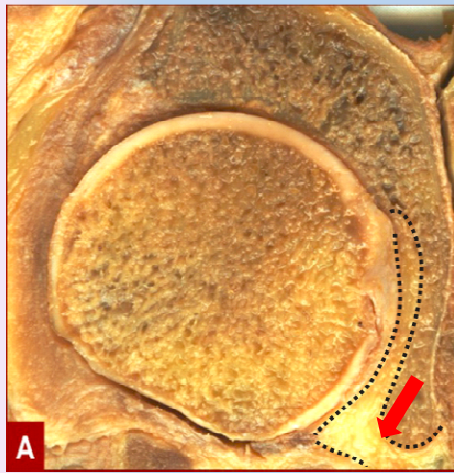
- ⇒ En phase de suspension (Photo A), décoaptation relative des surfaces articulaires
 - ⇒ Le paquet graisseux suit la décoaptation = équilibrage pression synoviale – évite tout phénomène de dégazage intra-articulaire nocif à la trophicité du cartilage
- ⇒ En phase d'appui (Photo B), compression des surfaces articulaires l'une contre l'autre
 - ⇒ Le paquet graisseux est impacté contre la tête fémorale dont il épouse la forme par la contraction du muscle Obturateur Externe – amortissement de l'impact lors de la prise d'appui ++

Le couple Obturateur forme une couple agoniste, réalise un hamac sous-fémoral qui suspend le col (et donc la tête) lors de la phase oscillante = maintient de la coaptation articulaire

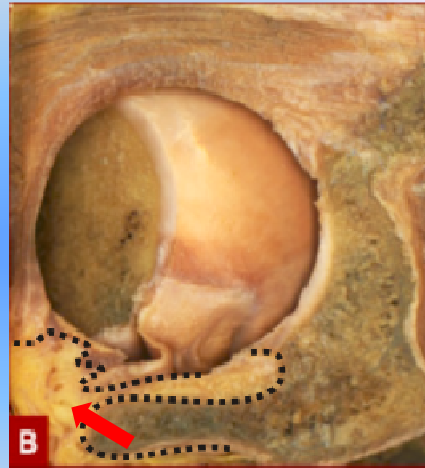
=> soulage la zone orbiculaire de la capsule (rôle anti-décoaptation) dont il partage l'innervation nociceptive

La communication de la bourse séreuse sous-obturatrice externe (6% des cas) est associée à des lésions du Labrum et du cartilage (Kassarjian *et al.*, *Obturator externus bursa: prevalence of communication with the hip joint and associated intra-articular findings in 200 consecutive hip MR arthrograms*. Eur Radiol (2009) 19: 2779–82.)

Coxo-Fémorale



Vue de profil



Vue de l'Arrière-fond (sectionné)

Modifié d'après Canga *et al.*, 2010

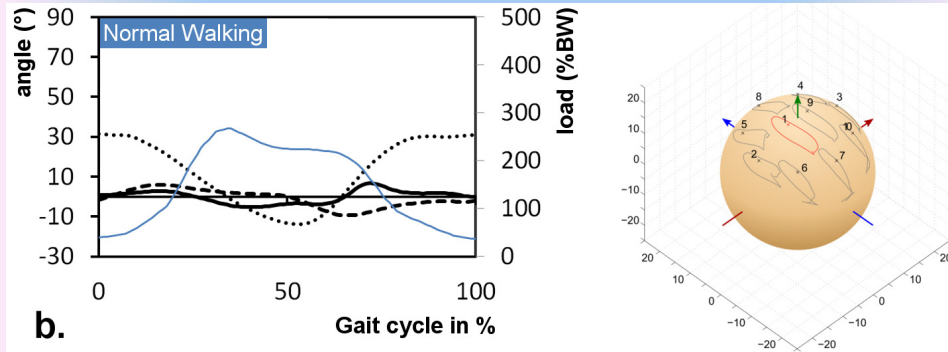
Canga *et al.*, *Ligamentum teres of the hip: Anatomy, pathology, and Treatment*. European Congress Of Radiology, 2010

Coupes anatomiques de la coxo-fémorale figurant la continuité du paquet graisseux sous-obturateur (surligné en noir)

COPIE NON AUTORISÉE

DOCUMENT EN LECTURE SEULE

Coxo-Fémorale



... Ext/Flex -- Abd/Add — I/E — Load

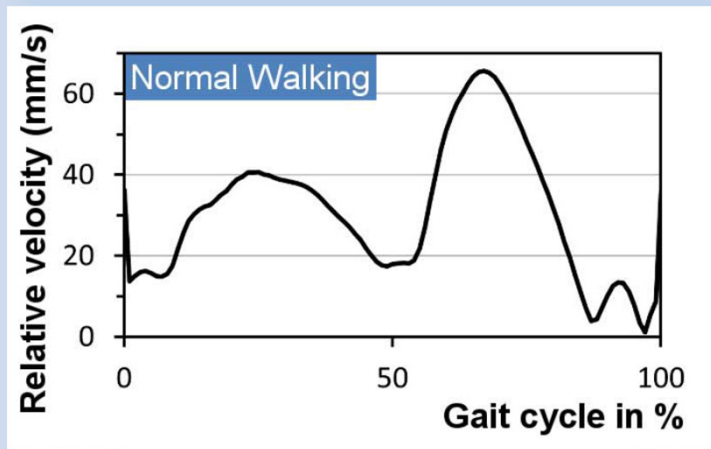
Sonntag *et al.*, 2013

Les points de contacts entre acétabulum et tête fémorale présentent une course elliptique lors du cycle de marche
⇒ Explique pourquoi les défauts cartilagineux sont d'abord ovoïdes et non linéaires

Sonntag *et al.*, *Hard-on-Hard lubrication in the artificial hip under dynamic loading condition*. PLOSone, 2013 Aug; 8(8): e71622

DOCUMENT EN LECTURE SEULE

Coxo-Fémorale



Pic de vitesse relative > 22 Km/h

Sonntag et al, 2013

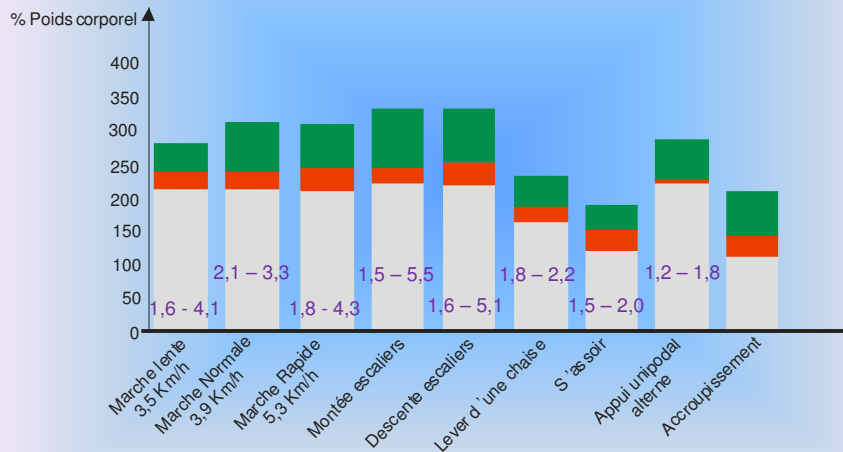
Vitesse de mobilité différentielle des surfaces articulaires l'une / à l'autre
Pour mémoire, vitesse de marche moyenne = 4,5 Km/H

COPIE NON AUTORISÉE

OST

DOCUMENT EN LECTURE SEULE

Coxo-Fémorale



D'après Johnston et al, 1998; Bergmann et al, 2001; Byrne et al, 2010

Bergmann *et al.*, *Hip contact forces and gait patterns from routine activities*. J Biomech. 2001 Jul;34(7):859-71.

Johnston JD, Noble PC, Hurwitz DE, Andriacchi TP. *Biomechanics of the hip*. In: Callaghan J, Rosenberg AG, Rubas HE, Eds. *The Adult Hip*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins 1998; pp. 81-90.

Byrne *et al.*, *Anatomy & Biomechanics of the Hip*. The Open Sports Medicine Journal, 2010, 4, 51-57

En Rouge = Moyenne

En Vert = Max – en Blanc = Mini

Johnston et al., 1998 :

Trébucher = 7,8 – 9,7 x poids corporel

Jogging – course = 4,3-5,0 x poids corporel

Bregmann et al., 2001 : (en % du poids corporel)

Marche normale = 238%

Montée escaliers = 251%

Descente escaliers = 260%

Station bipodale = 80-100%

Course à pied = 500%

Trébucher = 800%

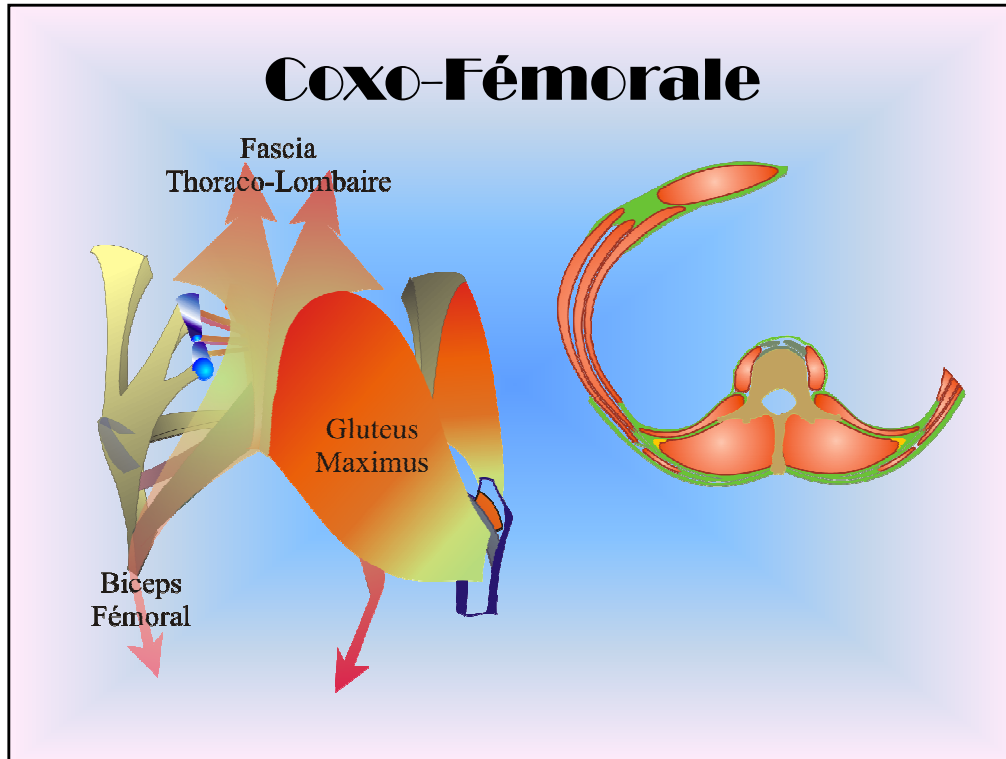
Marche avec 2 béquilles = 150%

Faire du vélo = 240%

Soulever Bassin en position couchée = 300%

Soulever M. Inf. En position couchée = 150%

Toute chaussure augmente les forces exercées sur l'articulation par rapport à la même activité effectuée nu-pied (Bergmann *et al.*, *Influence of shoes and heel strike on the loading of the hip joint*. J Biomech. 1995 Jul;28(7):817-27.)



Bassin en équilibre/coxo-fémorale

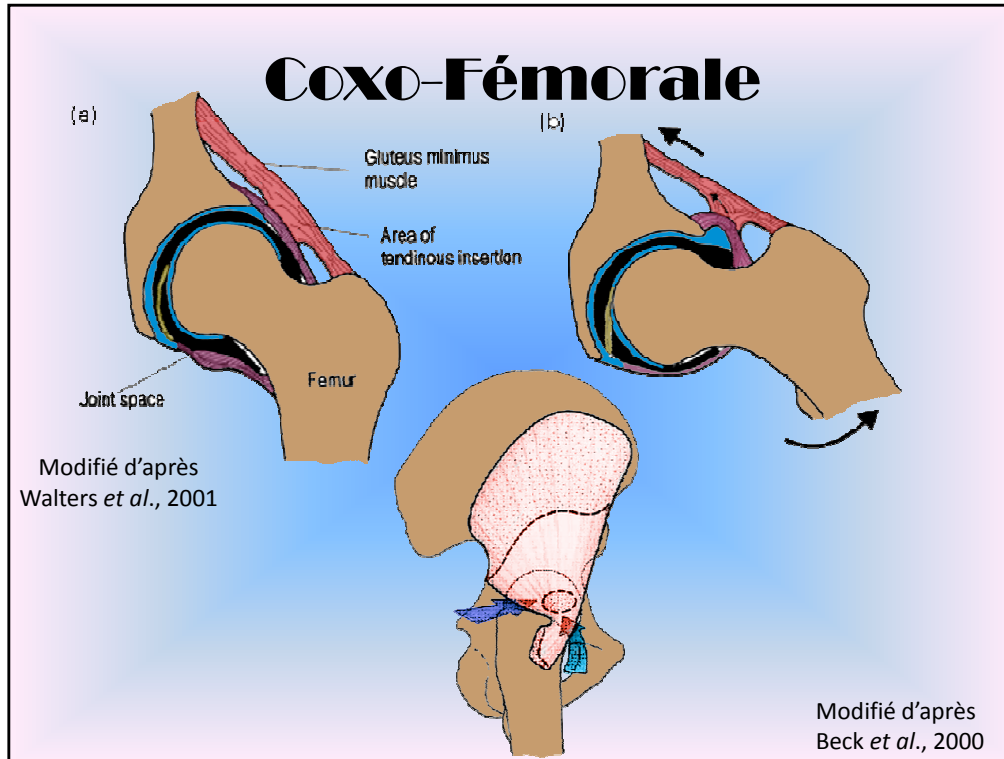
=> Rôle du Grd Fessier dans le contrôle de la version pelvienne

=> Rôle agoniste avec Ilio-Psoas (point d'appui sur Tête Fémur)

Relation Biceps Fémoral-Grd Fessier-Fascia Thoraco-lombaire => l'avancée du pas favorise l'érection du rachis et la stabilisation de la charnière lombo-sacrée

Modification de l'orientation de l'ischion dans l'espace=> Transfert au Triceps Sural de la propulsion

DOCUMENT EN LECTURE SEULE



Beck *et al.*, *The anatomy and function of the gluteus minimus muscle*. J Bone Joint Surg Br. 2000 Apr;82(3):358-63.

Walters *et al.*, *Gluteus minimus: observations on its insertion*. J. Anat. (2001) 198 : 239-42

Rôle du Petit Fessier :

⇒ Tenseur de la capsule art.

⇒ Diminue les contraintes sur Labrum

⇒ Protège Labrum en l'éversant avant contact osseux

⇒ Coaptateur de la Tête/ Arrière-fond

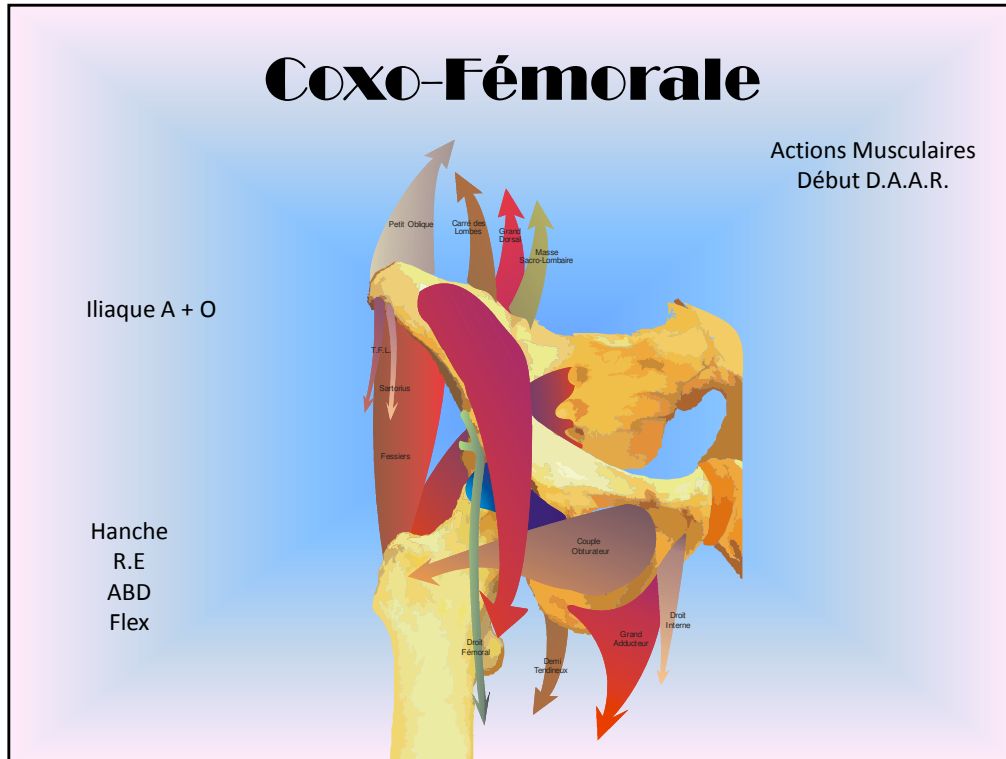
⇒ Recentre Tête vers mur postérieur du cotyle

⇒ Diminue risque de conflits avec tendon Ilio-Psoas et Droit Ant.

DOCUMENT EN LECTURE SEULE

Coxo-Fémorale

Actions Musculaires
Début D.A.A.R.



En début de D.A.A.R

Coxo-fémorale en position relative

- Flexion
- ABD
- Rot. Ext.

⇒ Couverture Cotyle Max

⇒ Tension Lignt Rond Max

⇒ Compression Paquet graisseux sous-obturateur Externe

⇒ Contrôle de la pression intra-articulaire +++ alors qu'il existe un pic de pression instantané dû impact au sol

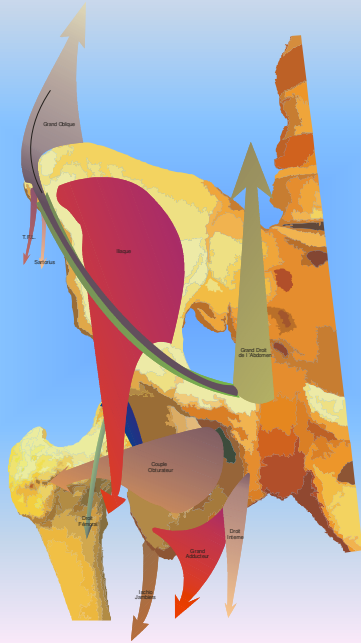
DOCUMENT EN LECTURE SEULE

Coxo-Fémorale

Actions Musculaires
Fin du D.A.P.E.

Iliaque P + F

Hanche
R.I.
ADD
Ext.



En début D.A.P.E.

Coxo-fémorale en position relative

- Extension
- ADD
- Rot. Int.

⇒ Couverture Cotyle Max

⇒ Tension Lignt Rond Max

⇒ Compression Paquet graisseux sous-obturateur Externe

⇒ Contrôle de la pression intra-articulaire +++ alors qu'il existe un pic de pression instantané dû poussée sur sol

DOCUMENT EN LECTURE SEULE

Actions Musculaires

Muscle	Couple Relatif (en % du couple total)		
	Sagittal	Frontal	Transversal
Carré fémoral	17 (Flex)	-84 (ADD)	52 (RE)
Biceps Fémoral (longue portion)	-93 (Ext)	-36 (ADD)	10 (RE)
Court adducteur	32 (Flex)	-95 (ADD)	5 (RE)
Droit fémoral	99 (Flex)	13 (ABD)	1 (RE)
Gracile	20 (Flex)	-98 (ADD)	8 (RE)
Grand adducteur (faisc. Inférieur)	2 (Flex)	-100 (ADD)	4 (RE)
Grand adducteur (faisc. Supérieur)	26 (Flex)	-93 (ADD)	26 (RE)
Grand fessier (Inser. Ligne Âpre)	-71 (Ext)	-56 (ADD)	43 (RE)
Grand fessier (Inser. Tractus iliotibial)	-33 (Ext)	40 (ABD)	86 (RE)
Iliaque	98 (Flex)	-7 (ADD)	-19 (RI)
Jumeau inférieur	7 (Flex)	-47 (ADD)	88 (RE)
Jumeau Supérieur	-9 (Ext)	-11 (ADD)	99 (RE)
Long adducteur	45 (Flex)	-89 (ADD)	-3 (RI)
Moyen fessier	-45 (Ext)	89 (ABD)	6 (RE)
Obturateur externe	22 (Flex)	-76 (ADD)	61 (RE)

Modifié d'après Klein & Sommerfeld, 2008

Inman (Inman, *Functional aspects of the abductor muscles of the hip*. J Bone Joint Surg Am. 1947 Jul;29(3):607-19.)

Pression due au tonus musculaire :

- en appui bipodal = 1,4-1,9 x poids corporel
- En appui unipodal = 2,4-2,9 x poids corporel

Lengsfeld *et al.*, *Size and direction of hip joint forces associated with various positions of the acetabulum*. J Arthroplasty. 2000 Apr;15(3):314-20.

Pressel & Lengsfeld, *Functions of hip joint muscles*. Med Eng Phys. 1998 Jan;20(1):50-6.

- ⇒ Contraintes musculaires surestimées si ablation du Grd Fessier dans les études => Rôle dans contrôle de la pression intra-articulaire
- ⇒ Contraction du Droit Fémoral diminue les contraintes
- ⇒ Augmentation des contraintes si déplacement latéral, cranial et postérieur de l'acetabulum
 - ⇒ Évolution de l'acetabulum vers une position médiale, caudale et antérieure chez homo
 - ⇒ Influence des remplacement prothétiques de Cotyle sur l'ensemble lombo-pelvien + M. Inf => risques de douleurs séquellaires si défaut de pose

Actions Musculaires

Muscle	Couple Relatif (en % du couple total)		
	Sagittal	Frontal	Transversal
Obturateur interne	-4 (Ext)	-21 (ADD)	98 (RE)
Pectiné	50 (Flex)	-87 (ADD)	1 (RE)
Petit fessier	-32 (Ext)	94 (ABD)	11 (RE)
Piriforme (Ligt. Sacrotubéral)	-35 (Ext)	56 (ABD)	75 (RE)
Piriforme (Sacrum)	-25 (Ext)	40 (ABD)	88 (RE)
Psoas majeur	99 (Flex)	-8 (ADD)	-13 (RI)
Sartorius	88 (Flex)	48 (ABD)	5 (RE)
Semi-membraneux (tendon direct)	-95 (Ext)	-30 (ADD)	-2 (RI)
Semi-membraneux (tendon récurrent)	-96 (Ext)	-26 (ADD)	-6 (RI)
Semi-tendineux	-96 (Ext)	-28 (ADD)	0
Tenseur Fascia Lata	74 (Flex)	67 (ABD)	-4 (RI)

Modifié d'après Klein & Sommerfeld, 2008

COPIE NON AUTORISÉE

DOCUMENT EN LECTURE SEULE

Inversions Musculaires

Muscle :	Action :	Lieu d'inversion :	Nouvelle Action :
Moyen ADD	Fléchisseur	Flex = 70°	Extenseur
Petit ADD	Fléchisseur	Flex = 150°	Extenseur
Droit Interne	Fléchisseur	Flex = 40°	Extenseur
T.F.L.	Fléchisseur	Flex = 120°	Extenseur
Carré Crural	Fléchisseur	Flex > 90°	Rot. Int. - ADD
		-20° à 0°	
Pyramidal	Rot. Ext.-Fléch.-ABD	> 0°	Extenseur
		< 60° / >60°	Rot. Int.-Ext.-ABD
Obturateur Interne		Flex = 60°	ABD
Obturateur Interne		Flex > 90°	ABD
Grand Fessier	ADD	Flex > 70°	ABD
Petit Fessier		Flex > 90°	Rot. Int. - ADD
Obturateur Interne + Pectiné		Rot. Int. Max.	Rot. Ext.
TFL + Moyen Fessier + Petit Fessier		Rot. Ext Max.	Rot. Int.

Kapandji, 1986

COPIE NON AUTORISÉE

DOCUMENT EN LECTURE SEULE

Inversions Musculaires

MUSCLE	COMPOSANTE SAGITTALE	COMPOSANTE TRANSVERSALE
Grand Adducteur (distal)	EXT en PN	
Grand Adducteur (proximal)	FLEX en PN	
Long Adducteur	FLEX en PN ; EXT à partir de 90° Flex	
Pectiné	FLEX en PN	RI en PN ; RE en Flex
Gracile	FLEX en PN ; EXT à partir de 30° Flex	
Droit Fémoral	ABD en PN	
Ilio-Psoas		RE en PN* RI en PN** RE à partir de 80° Flex ; à partir de Re*
Moyen Fessier		RI en Flex
Moyen Fessier (ant)		RI en PN
Moyen Fessier (post)		RE en PN ; RI à partir de 20° Flex
Petit Fessier	ADD en Flex	RI en Flex
Ischio-cruraux	ADD en PN	RE en PN
Grand Fessier	ADD en PN ; ABD à partir de 70° Flex	RE en PN ; RE réduit en Flex
Grand Fessier (lat)	ABD en PN	RI en Flex
Semi-membraneux		RI en PN

Klein & Sommerfeld, 2008

