

# Anatomie et biomécanique du coude et de la pronation-supination

C. Fontaine, C. Chantelot,  
C. Dos Remedios, G. Wavreille  
(Lille)

# Types géométriques des articulations du coude

- Art. huméro-ulnaire: ginglyme angulaire ou trochléenne (charnière)
  - Flexion-extension
- Art. radio-ulnaire proximale: ginglyme latéral ou trochoïde (pivot)
  - Rotation axiale (pronation-supination)
- Art. huméro-radiale: énarthrose ou art. sphéroïde
  - Flexion-extension et pronation-supination

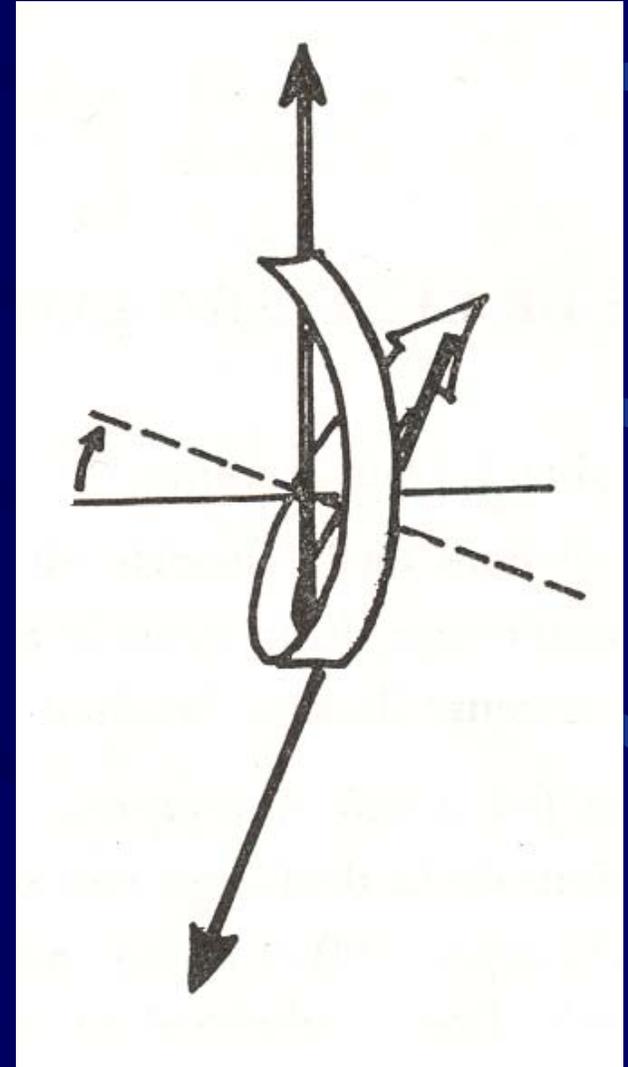
# Géométrie de la trochlée humérale

- Poulie de 300-320° de développement angulaire
- Joue médiale plus saillante, plus large, descendant plus bas que la latérale

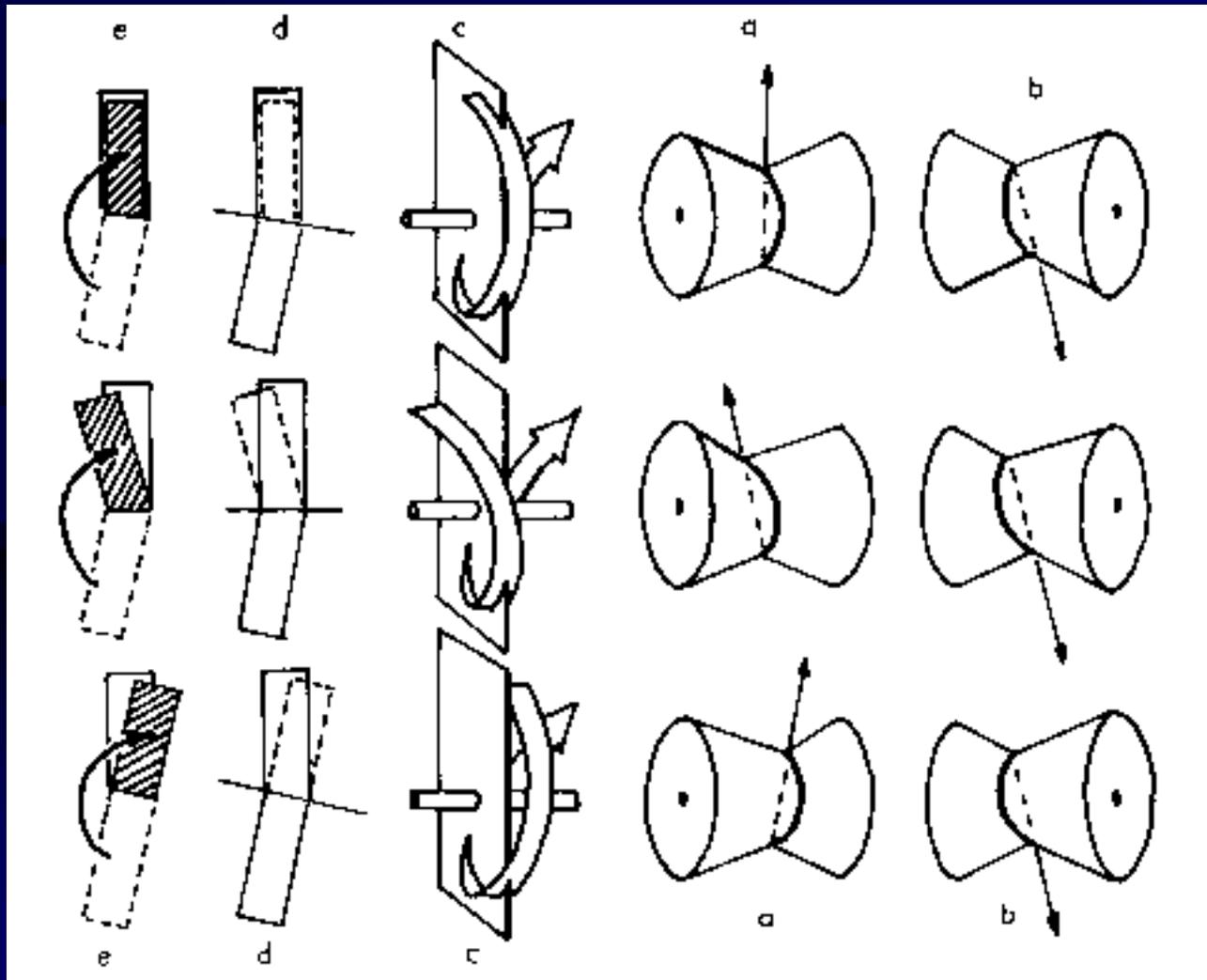


# Géométrie de la trochlée humérale

- Le sillon de la trochlée a une forme hélicoïdale, classiquement antéro-latéral puis postéro-médial, responsable du cubitus valgus en extension et de l'alignement bras/avant-bras en flexion

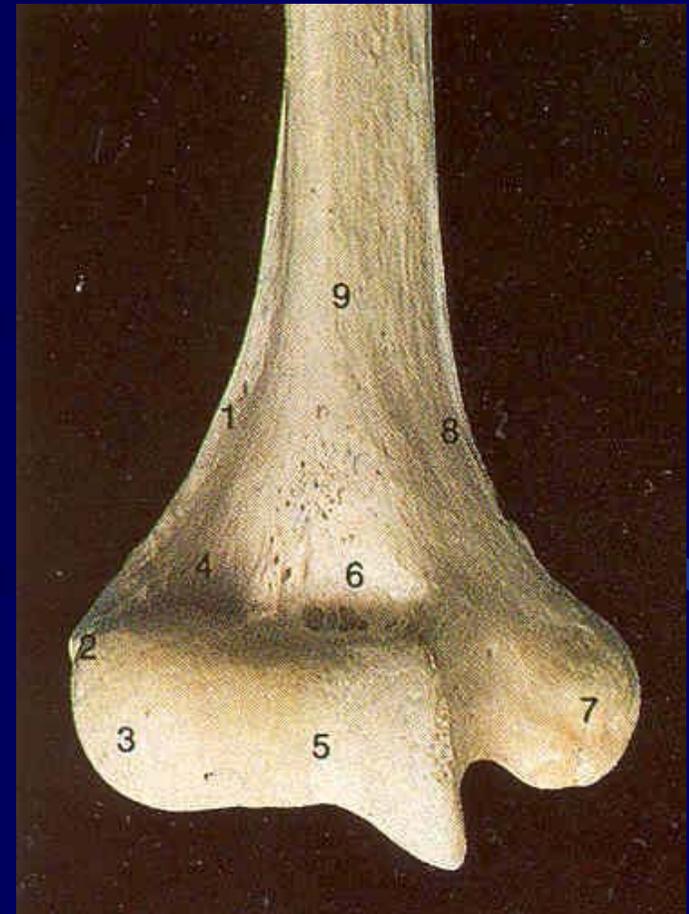


# Géométrie de la trochlée humérale



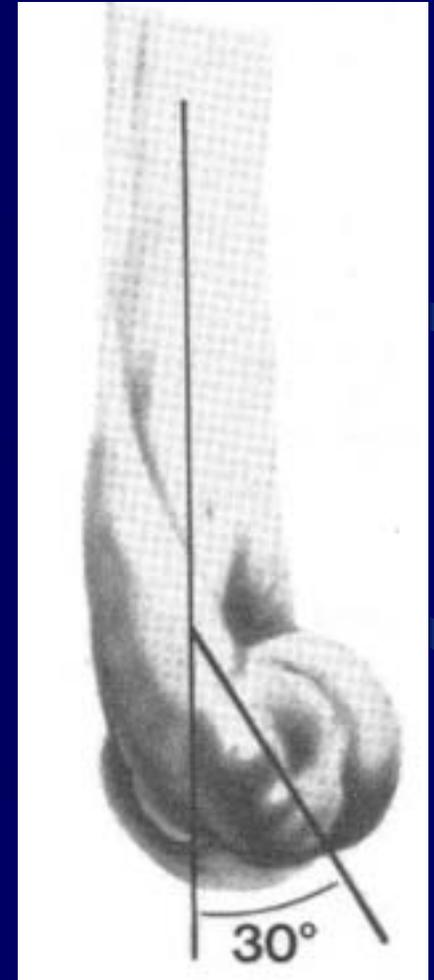
# Géométrie des surfaces articulaires humérales

- Capitulum:
  - Moitié de sphère ( $180^\circ$ ) recouverte de 2mm de cartilage à son sommet
- Zone capitulo-trochléaire articulaire avec le biseau de la tête radiale



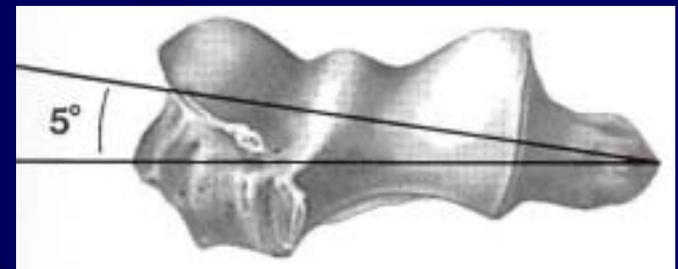
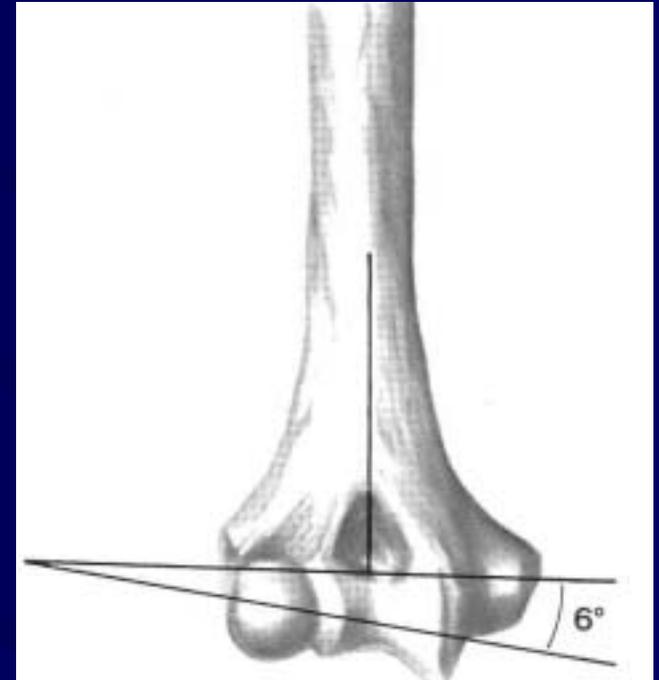
# Géométrie des surfaces articulaires humérales

- Antéversion de la palette humérale de  $30^\circ$  par rapport à l'axe longitudinal de l'humérus



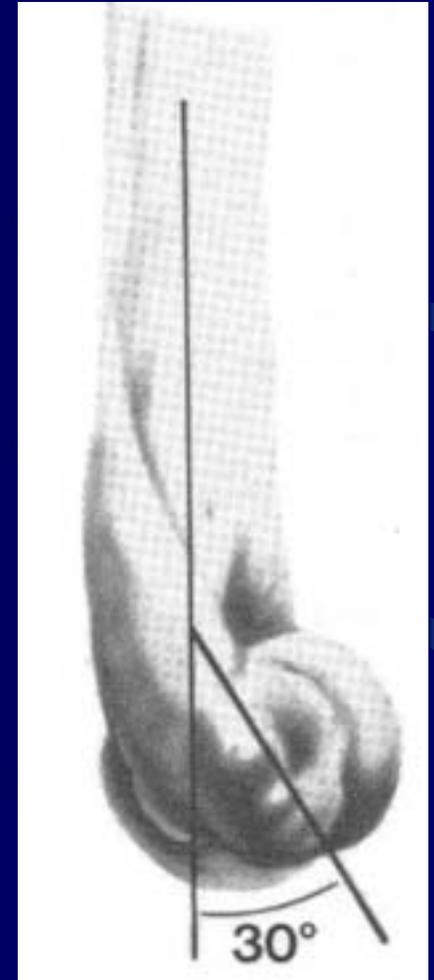
# Géométrie des surfaces articulaires humérales

- Centre des arcs concentriques de la trochlée et du capitulum alignés sur une droite faisant
  - 4-8° de valgus avec l'axe de la diaphyse humérale
  - 3-8° de rotation médiale avec la ligne bi-épicondylienne



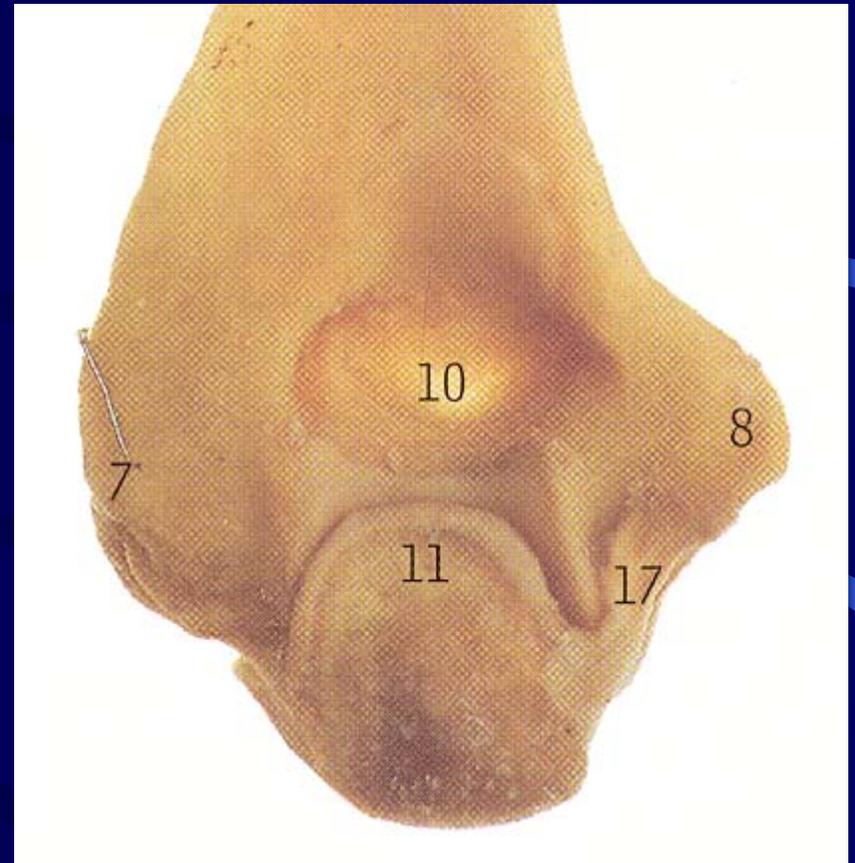
# Géométrie des surfaces articulaires humérales

- Centre des arcs concentriques de la trochlée et du capitulum aligné avec la surface de la corticale antérieure de l'extrémité distale de l'humérus



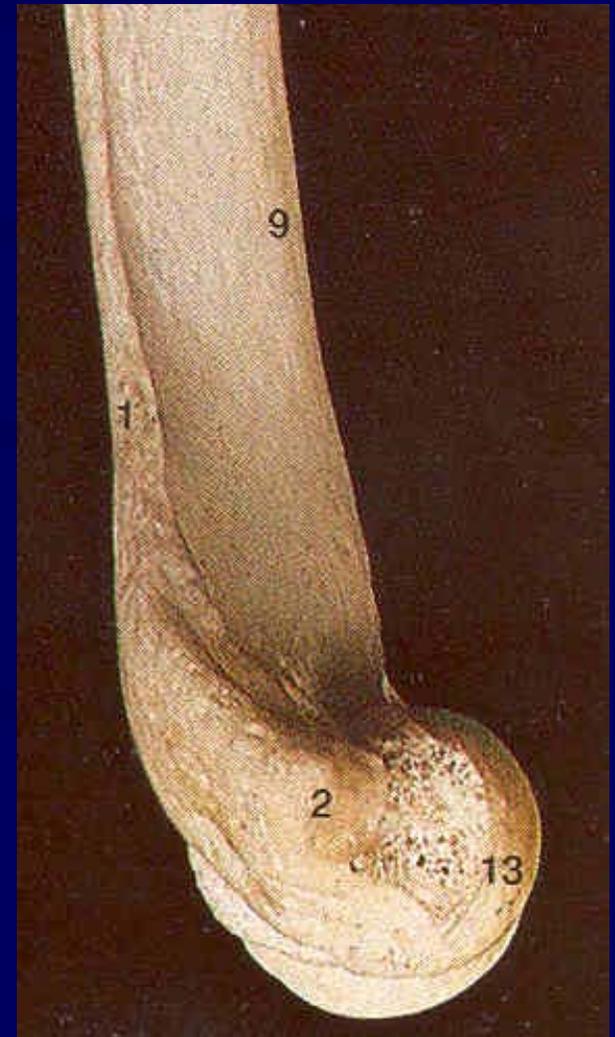
# Ostéologie de l'humérus distal

- Fossettes olécraniennes et coronoidiennes sont séparées par une fine lamelle osseuse dans environ 90% des cas



# Ostéologie de l'humérus distal

- Le bord latéral de l'humérus, entre triceps et brachio-radial, est un repère facilement palpable qui est de base à l'abord latéral du coude (column procedure)



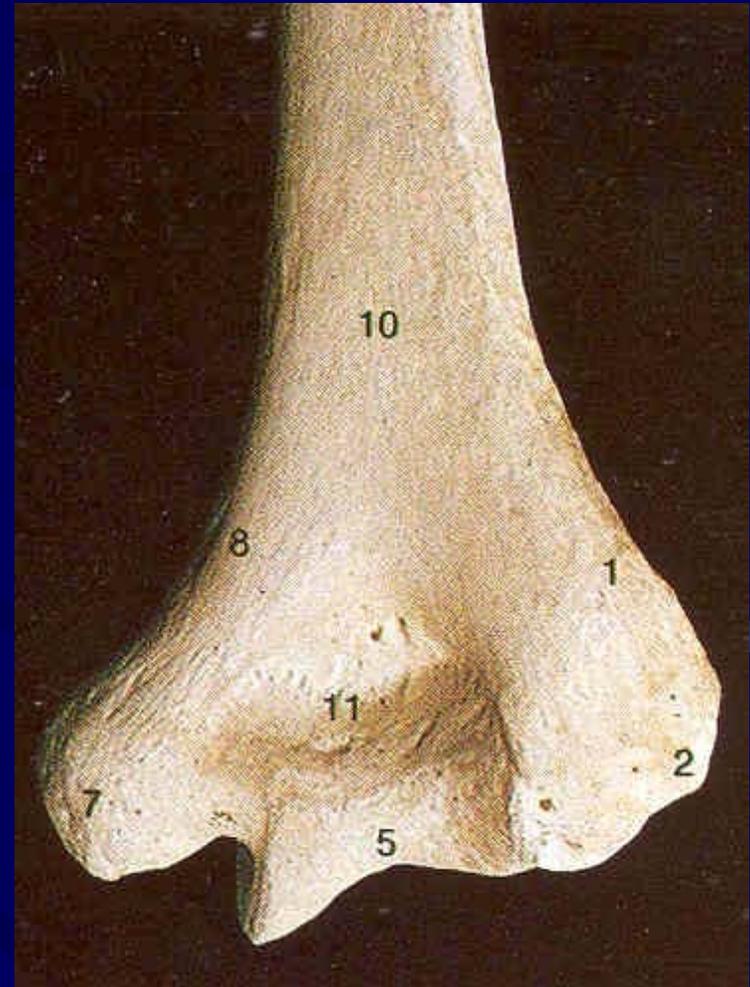
# Ostéologie de l'humérus distal

- La face postérieure du pilier (colonne supra-condyloire) latéral est plate

➔ Application aisée de plaques contournées

- Différence de taille des piliers

➔ Vulnérabilité du pilier médial



# Ostéologie du radius proximal

- Tête et col du radius
  - Fovéa articulaire avec le capitulum
  - Circonférence articulaire pour l'incisure radiale de l'ulna
  - Col rétréci

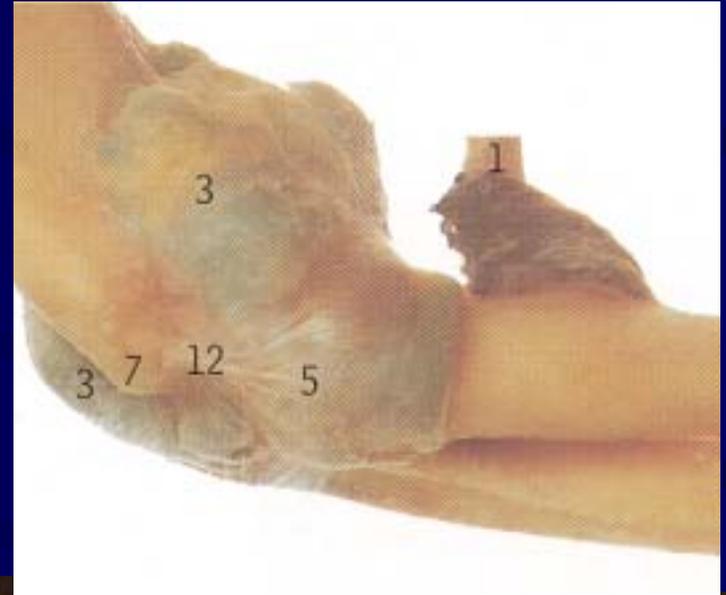


# Géométrie des surfaces articulaires radiales

- Fovéa radiale: valeur angulaire  $40^\circ$
- Circonférence articulaire:
  - seuls deux tiers ( $240^\circ$ ) s'articulent avec l'incisure radiale de l'ulna
  - Le tiers antéro-latéral ( $120^\circ$ ) est dépourvu de cartilage et d'os sous-chondral (siège habituel des fractures)

# Ostéologie du radius proximal

- Tubérosité radiale
  - Versant antérieur couvert par la bourse séreuse bicipito-radiale
  - Versant postérieur pour l'insertion distale du tendon du biceps brachial



# Géométrie des surfaces articulaires radiales

- La tubérosité du radius doit passer dans la partie haute, étroite de l'espace interosseux
- Elle doit s'écarter de l'ulna en supination
- 2 stratégies possibles
  - La tête radiale a une forme ovalaire dont le grand axe transversal coïncide avec celui de la tubérosité
  - L'angle cervico-diaphysaire est important

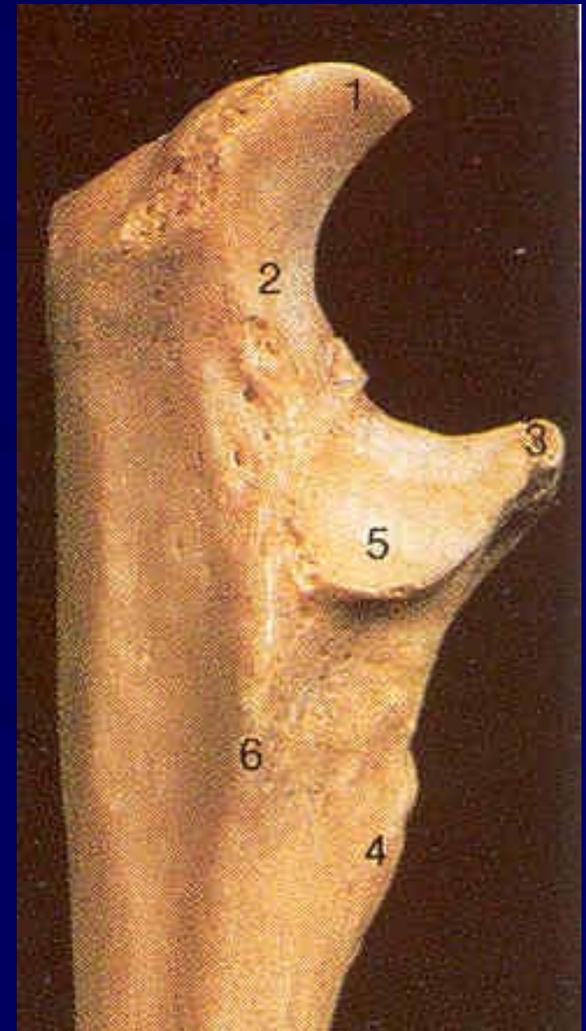
# Géométrie des surfaces articulaires radiales

- Col du radius fait  $15^\circ$  de divergence avec l'axe diaphysaire
- Cet angle varie avec la forme de la tête radiale
  - Tête ovale  angle faible
  - Tête ronde  angle important



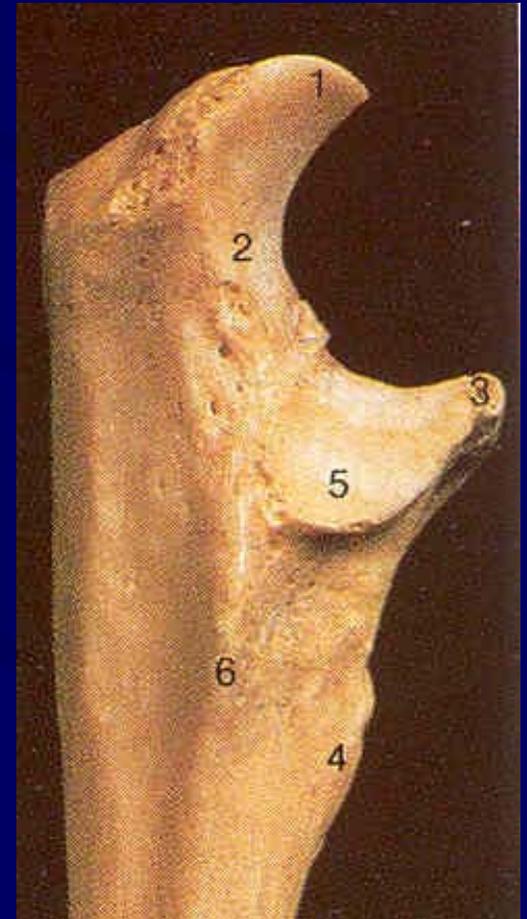
# Ostéologie de l'ulna proximal

- La crête supinatrice donne insertion au ligament collatéral latéral ulnaire (ulnar lateral collateral ligament)



# Géométrie des surfaces articulaires ulnaires

- Incisure radiale de l'ulna: 60-80° (moy. 70°) de développement angulaire



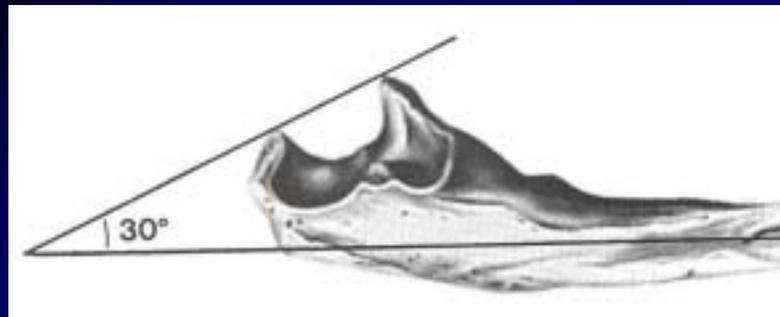
# Géométrie des surfaces articulaires ulnaires

- Incisure trochléaire divisée en
  - Partie antérieure coronoidienne
  - Partie moyenne dépourvue de cartilage
  - Partie postérieure olécranienne



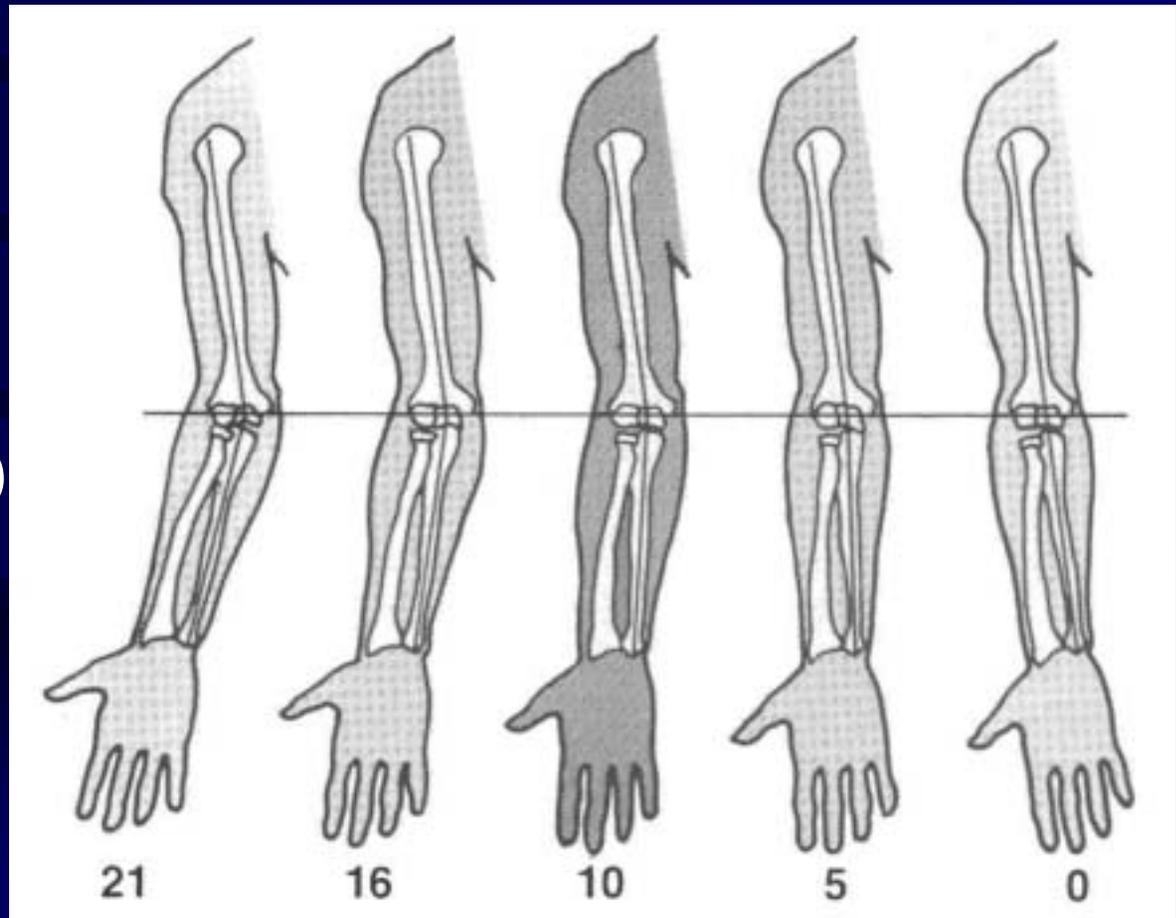
# Géométrie de l'incisure trochléaire de l'ulna

- Valeur angulaire 180-190° dans le plan sagittal
- Ouverture faisant avec le grand axe de l'os
  - 30° dans le plan sagittal
  - 1-6° (moy. 4°) dans le plan frontal



# Angle portant (carrying angle) ou cubitus valgus en ext. complète

- 11-14° chez l'homme
- 13-16° chez la femme
- 17,8° (Beals)



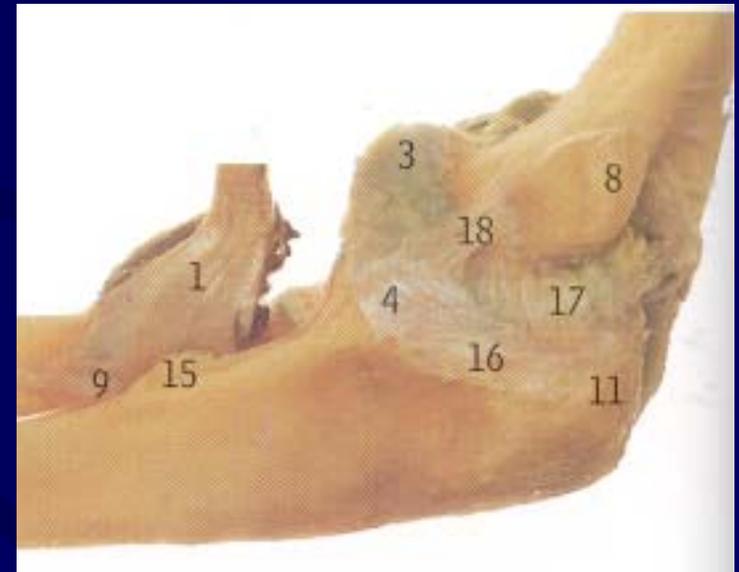
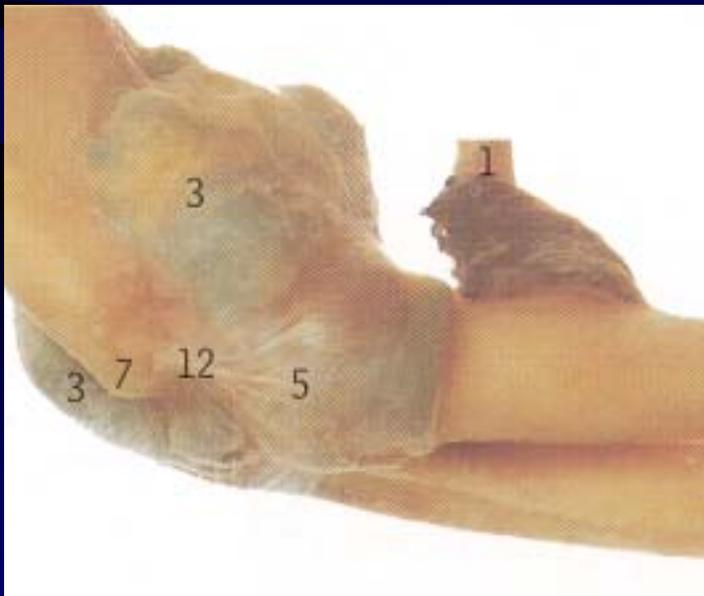
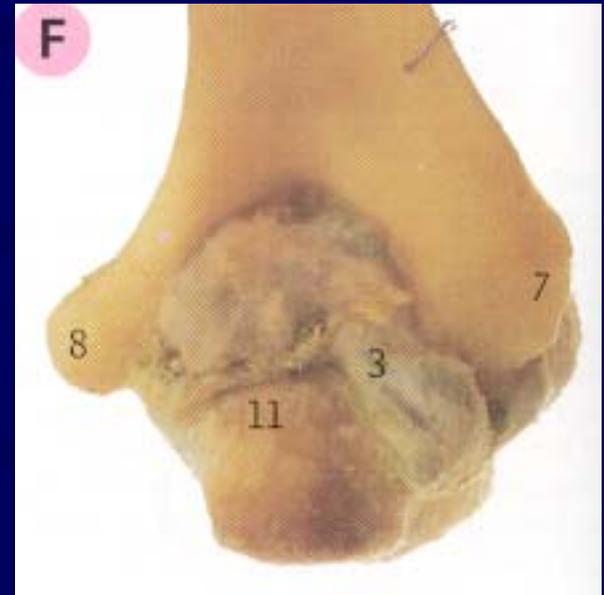
# Membrane synoviale

- Cavité synoviale unique
- Repli synovial huméro-radial, jamais fibrocartilagineux, parfois épaissi et inflammatoire (épicondylalgie ?), rarement circulaire



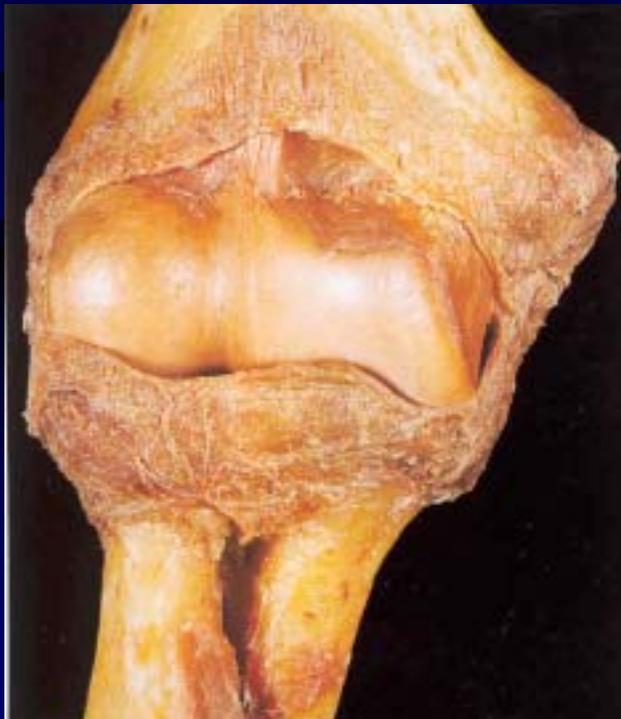
# Capacité articulaire

- En moyenne 25-30 ml
- Maximale à 80° de flexion (position antalgique)



# Capsule articulaire

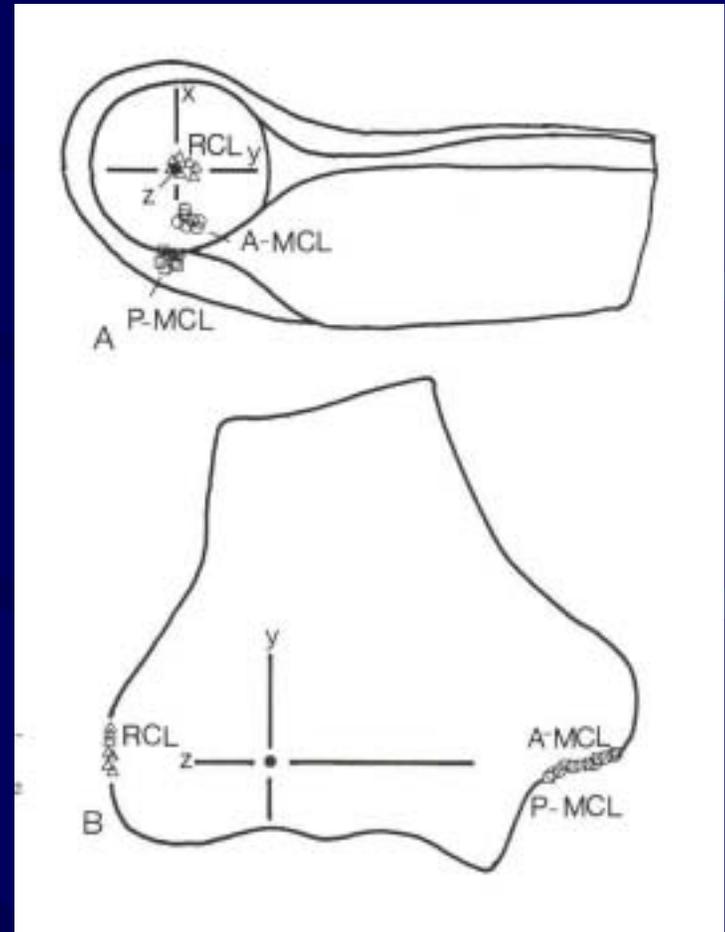
- Mince en avant et en arrière, renforcée par de petites bandes obliques
- Renforcée latéralement : lig. collatéraux



# Ligament collatéral médial

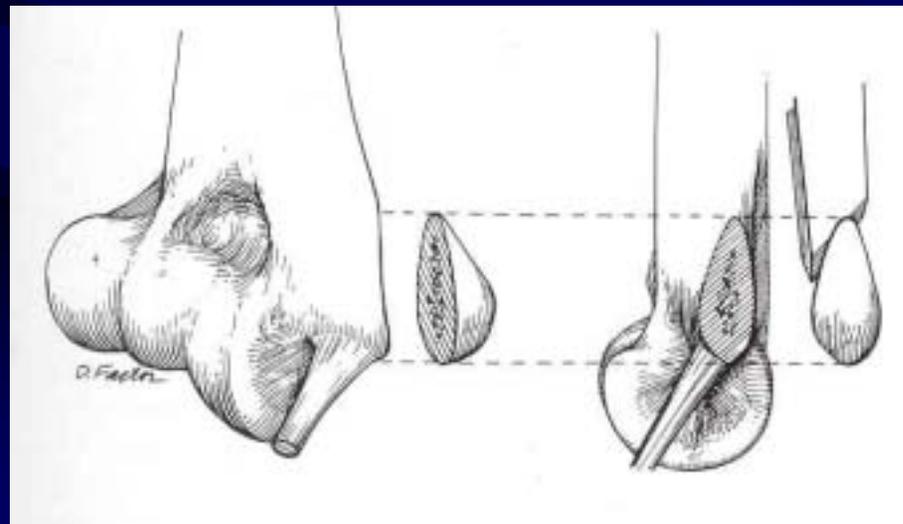
- Origine sur la face antéro-inférieure de l'épicondyle médial, pas de la trochlée humérale

➔ L'axe de flexion extension passe par l'épicondyle latéral et le bord antéro-inférieur de l'épicondyle médial



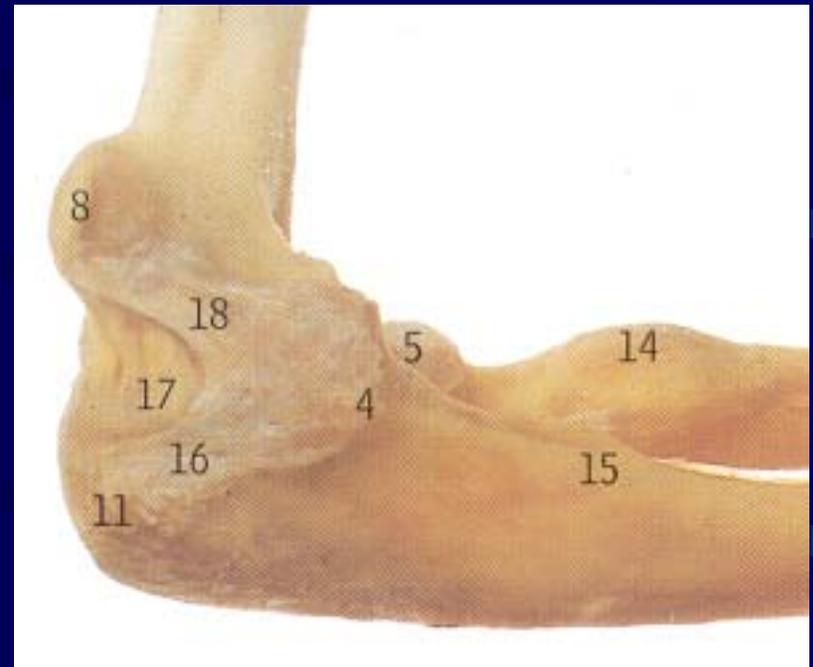
# Ligament collatéral médial

- Conséquence: une épicondylectomie oblique ménage l'insertion du lig.collatéral médial et décomprime le nerf ulnaire



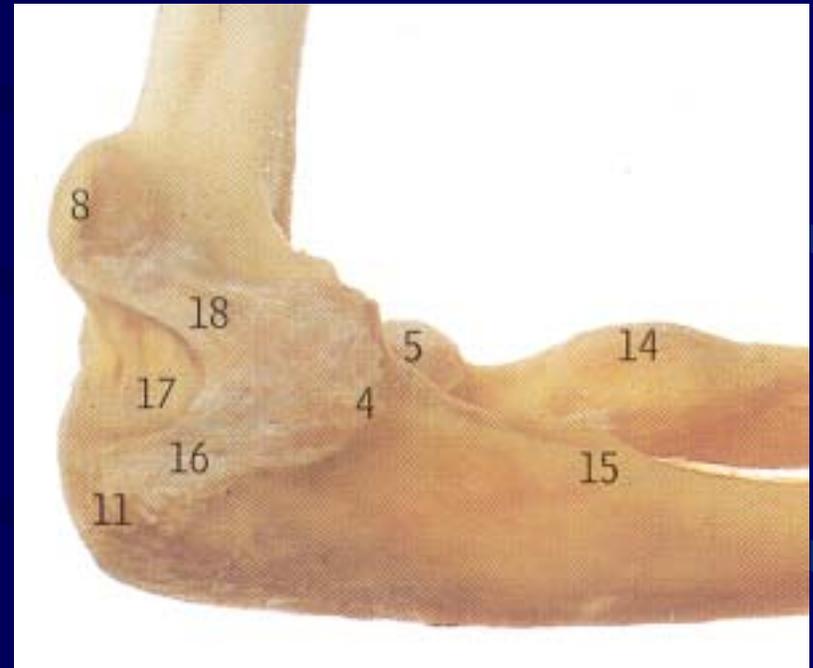
# Ligament collatéral médial

- Faisceau antérieur, le plus large et le plus fort (6mm x 6mm) né la face inférieure de l'épicondyle médial
  - fascicule antérieur extra-capsulaire ressemblant à une corde, se terminant sur une zone triangulaire à la face médiale du processus coronoïde
  - fascicule postérieur



# Ligament collatéral médial

- Faisceau postérieur entre bord postérieur de l'épicondyle médial et face médiale de l'olécrane (largeur 5-6 mm)
- Faisceau transverse ou ligament de Cooper



# Ligament collatéral médial

- La section isolée du faisceau postérieur ou celle du fascicule postérieur ne provoquent pas de laxité en valgus.
- La section isolée du fascicule antérieur, puis celle du reste du ligament, entraîne une instabilité, minimale en forte flexion et en forte extension, maximale entre 40 et 90°, en valgus (31°) et rotation interne (45°).
- Il n'y a jamais de mouvement anormal de la tête radiale

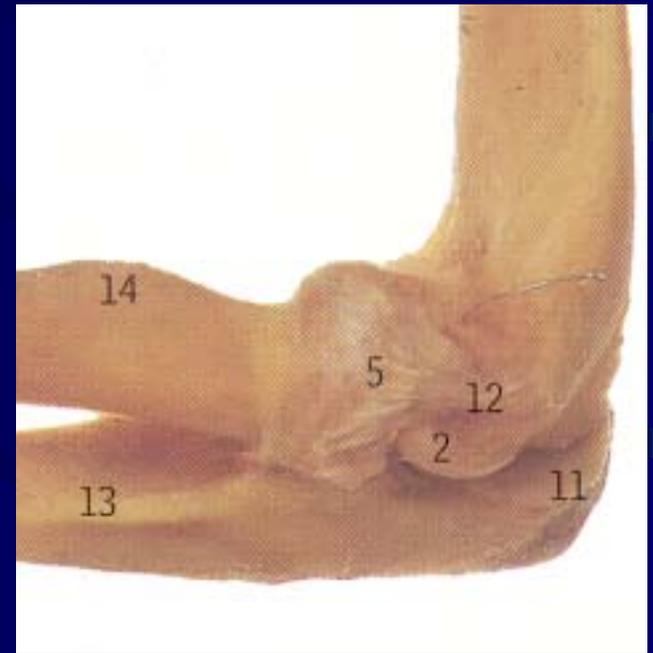
# Complexe ligamentaire collatéral latéral

- Ligament annulaire
  - tendu entre les deux bords de l'incisure radiale de l'ulna
  - recouvert de fibrocartilage à sa face profonde



# Complexe ligamentaire collatéral latéral

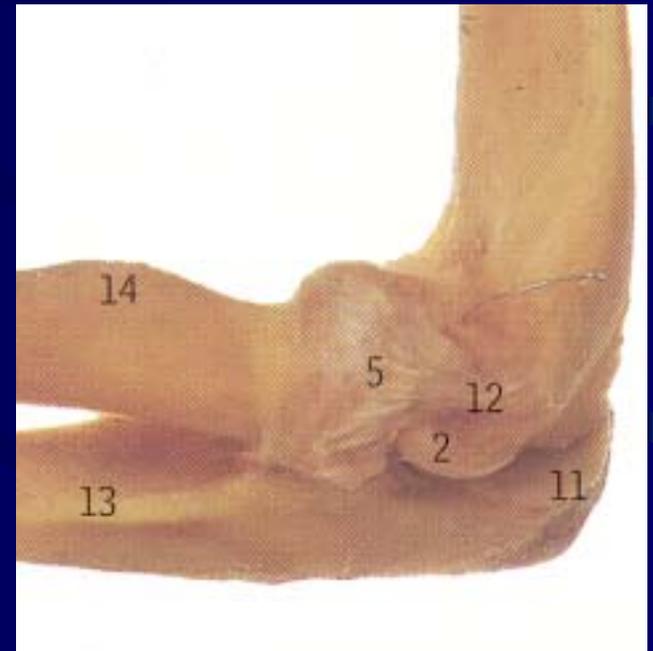
- Ligament collatéral latéral proprement dit :
  - fibres antéro-latérales issues de l'épicondyle médial, très près de l'axe de flexion-extension
  - s'épanouissant sur le ligament annulaire (LRCL)
  - donnant insertion à des fibres du m. supinateur



# Complexe ligamentaire collatéral latéral

## latéral

- Ligament collatéral latéral proprement dit :
  - fibres postérieures en bande, surcroisant le ligament annulaire, et se terminant sur l'ulna (LUCL) dont l'insertion terminale, au dessous de l'incisure radiale, sur la crête supinatrice, est séparée du ligament annulaire par un espace triangulaire



# Complexe ligamentaire collatéral latéral

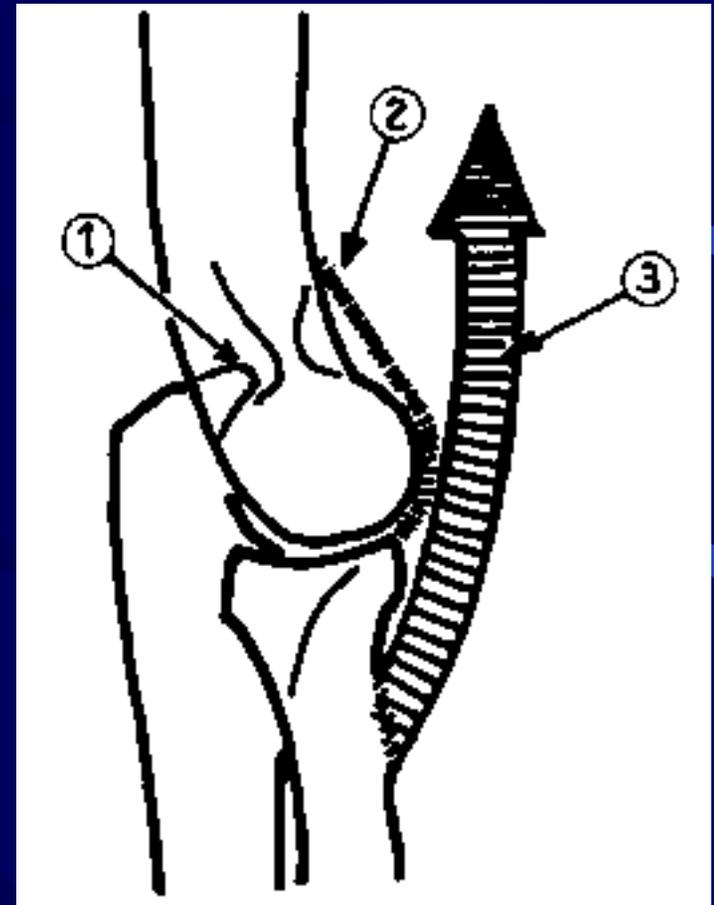
- La section isolée du ligament annulaire, de la capsule postéro-latérale ou du LUCL ne provoque pas de laxité en varus.
- Il faut sectionner tout le LCL pour obtenir une instabilité qui croît de l'extension à la flexion, elle donne un mouvement anormal de varus (8 -12-25°) et de rotation externe ou supination (21-37°), et une translation postérieure de la tête radiale maximale entre 80 et 100°

# Mobilité normale

- Flexion-extension: F  $150^\circ$ , E 0 à quelques degrés (secteur utile  $130^\circ / -30^\circ$ )
- Pronation-supination: P  $75^\circ$ , S  $85^\circ$  (secteur utile  $50^\circ / 50^\circ$ )
- Abduction-adduction: mouvements de valgus-varus de  $3-4^\circ$  au cours de la flexion-extension

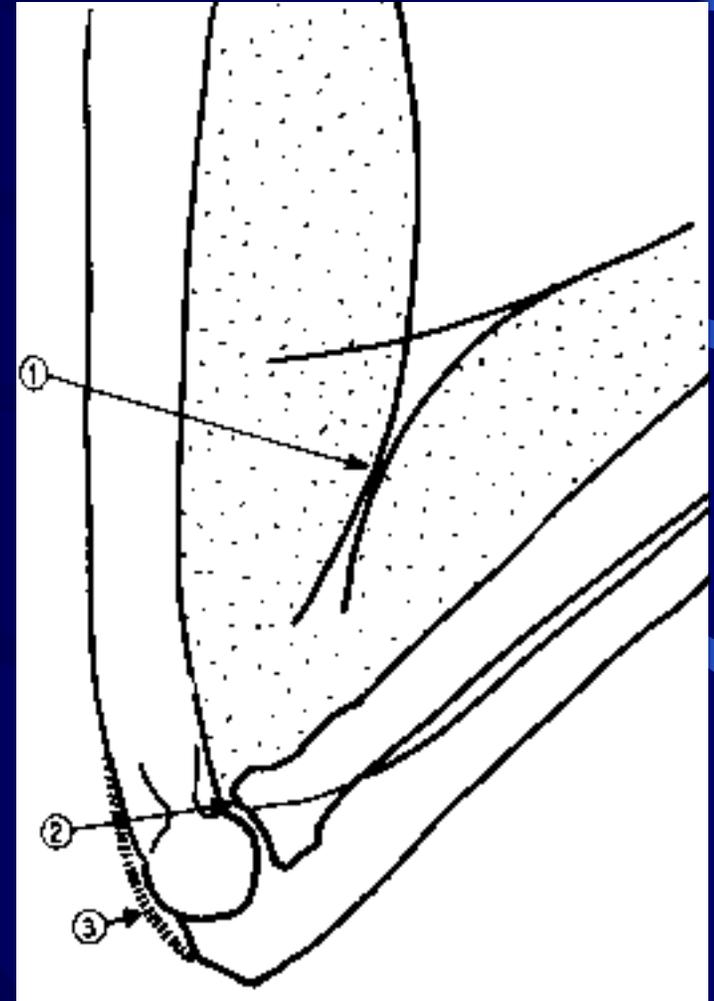
# Facteurs limitant l'extension

- Contact olécrane / fossette olécranienne
- Tension de la capsule antérieure et du faisceau antérieur du lig. collatéral médial
- Tension des muscles fléchisseurs



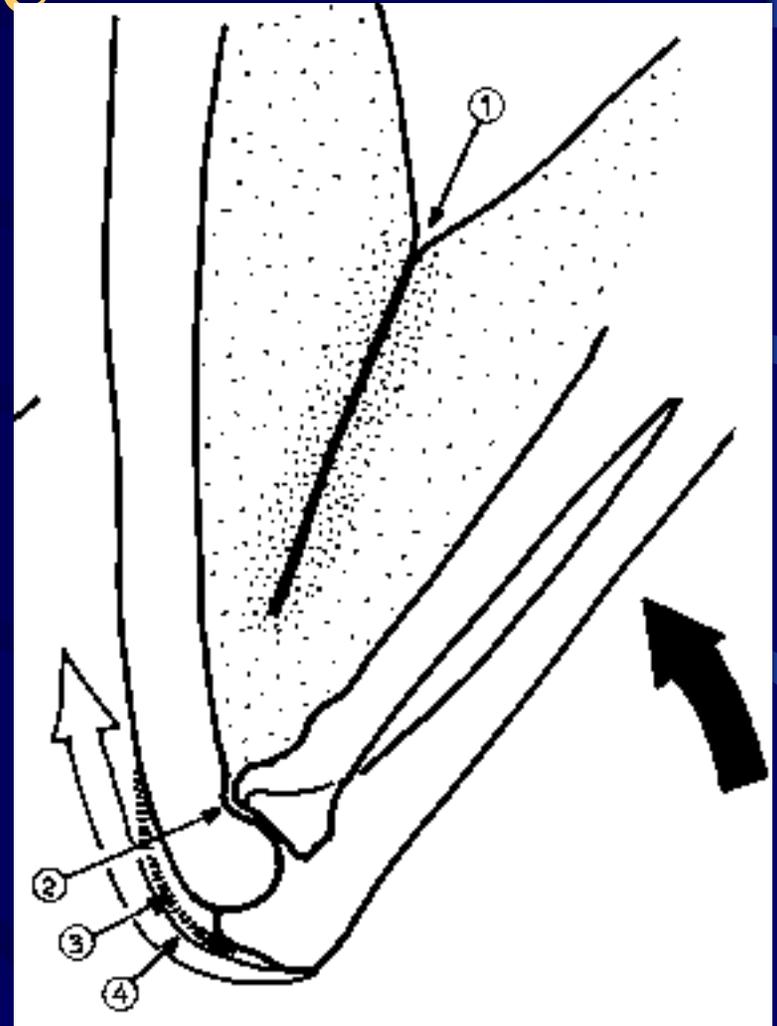
# Facteurs limitant la flexion active

- Contact des masses des muscles antérieurs
- +/- Contact processus coronoïde et tête radiale dans leurs fossettes
- +/- Tension de la capsule postérieure



# Facteurs limitant la flexion passive

- Contact processus coronoïde et tête radiale dans leurs fossettes
- Tension de la capsule postérieure
- Tension du tendon du triceps

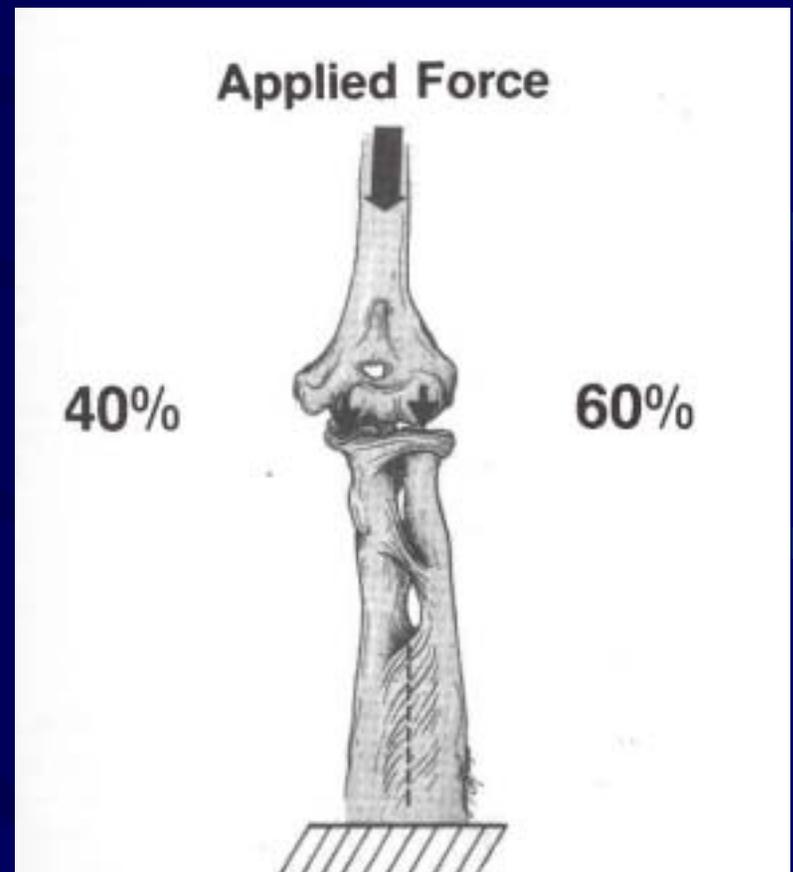


# Facteurs limitant la pronation- supination au coude

- Résistance passive des antagonistes (Braune et Flugel)
- Ligament carré de Dénucé (Spinner et Kaplan)
- Contact des muscles de la loge antérieure (surtout FPL, FDP) au cours de la pronation

# Force de compression traversant le coude

- En extension complète
  - Position neutre en varus valgus: 40%-60%
  - En valgus: 88%-12%
  - En varus: 7%-93%



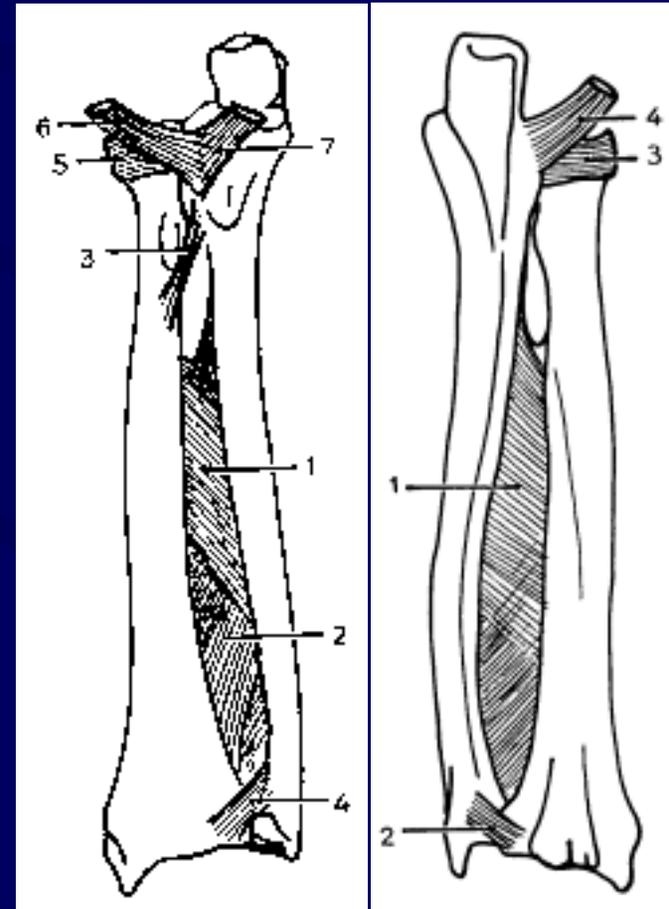
# La membrane interosseuse

- Tendue entre les bords interosseux du radius et de l'ulna
- Bord proximal concave 3 cm sous la tubérosité radiale, croisé par les vx. interosseux postérieurs
- Deux tiers proximaux épais
- Tiers distal mince



# La membrane interosseuse

- Dans la partie proximale épaisse, 2 couches croisées (Winslow)
  - En avant, fibres OA obliques en bas et en dedans
  - En arrière, fibres OB obliques en bas et en dehors regroupées en 1 ou 2 fascicules ( lig. interosseux radio-ulnaire oblique de Rouvière et lig. radio-ulnaire oblique inférieur)

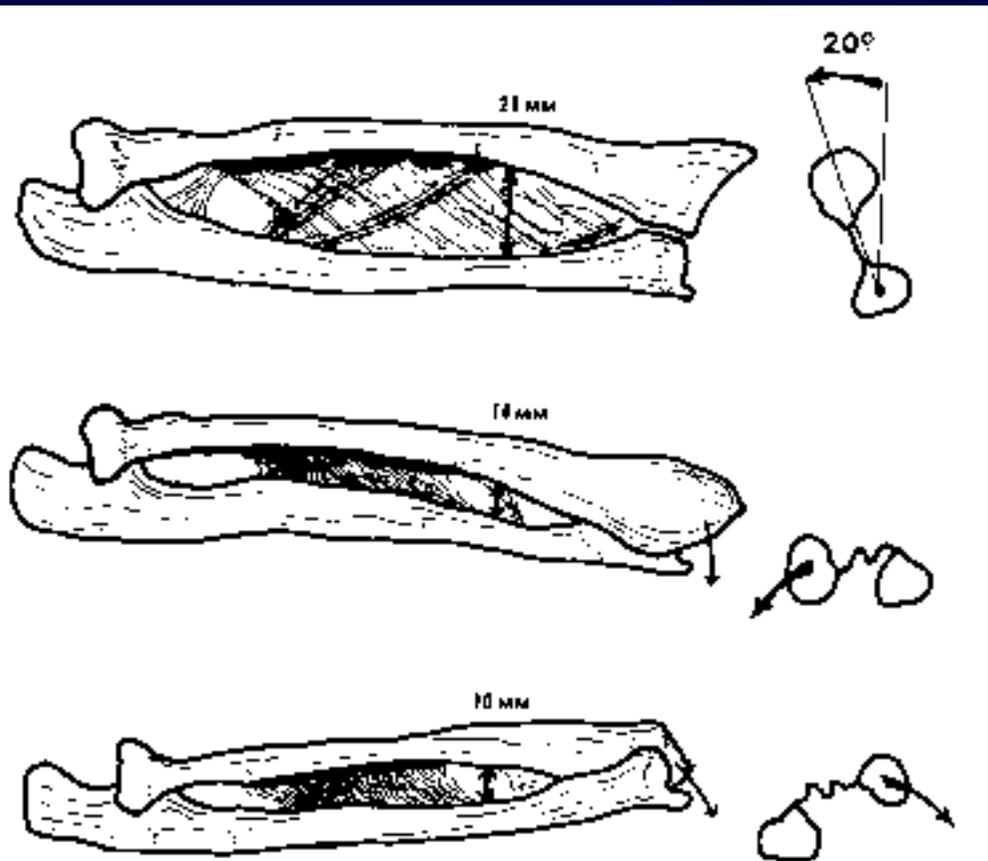


# La membrane interosseuse

- Dans la partie distale fine
  - Fibres transversales +++
  - Quelques fibres obliques
  - Renforcement par le carré pronateur



# L'espace interosseux antébrachial



- 20° de supination
  - Largeur de l'EIOA maxima: 20 mm
  - Toutes fibres tendues
- Supination complète
  - Largeur de l'EIOA : 14 mm
  - Fibres OA tendues
  - Fibres OB détendues
- Pronation complète
  - Largeur de l'EIOA minima: 10 mm
  - Fibres OB tendues
  - Fibres OA détendues

# La membrane interosseuse

- Supination complète
  - Largeur de l'EIOA : 14 mm
  - Fibres OA tendues
  - Fibres OB détendues
- Pronation complète
  - Largeur de l'EIOA minima: 10 mm
  - Fibres OB tendues
  - Fibres OA détendues



# La membrane interosseuse

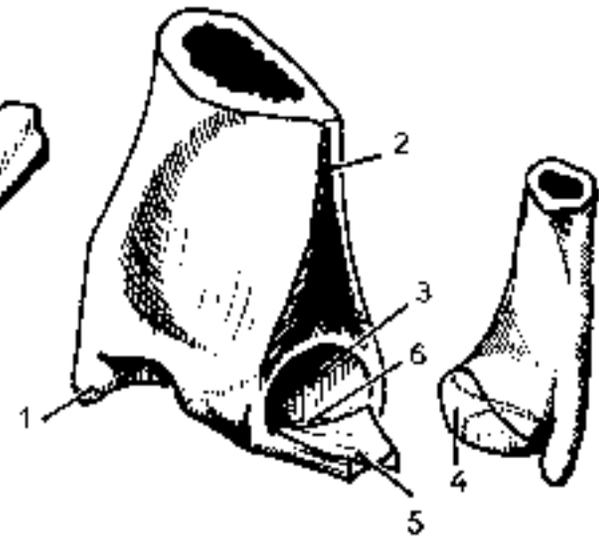
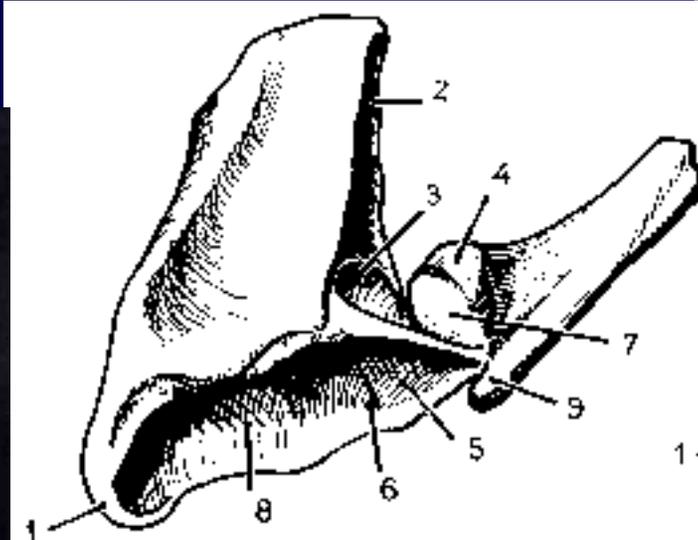
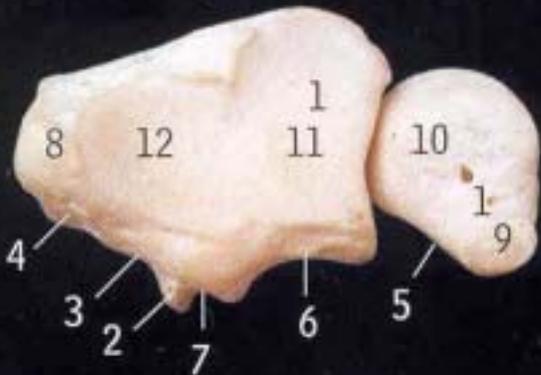
- Donne insertion aux muscles de l'avant-bras
  - En avant
    - Fléchisseur profond des doigts en dedans
    - Long fléchisseur du pouce en dehors
  - En arrière, de haut en bas
    - Long abducteur du pouce
    - Court extenseur du pouce
    - Long extenseur du pouce
    - Extenseur propre de l'index

# La membrane interosseuse

- Rôle dans la transmission des forces
  - Appliquées du poignet vers le coude, du radius vers l'ulna
  - Appliquées du coude vers le poignet, de l'ulna vers le radius

# Articulation radio-ulnaire distale

- Incisure ulnaire du radius
- Tête de l'ulna
- Disque articulaire
- Lig. radio-ulnaire distaux ant. et post.



# L'extrémité distale du radius

- Surface carpienne du radius
  - Prolongée en dedans par le disque articulaire
  - Divisée par une crête en deux surfaces
    - Latérale ou scaphoïdienne
    - Médiale ou lunarienne

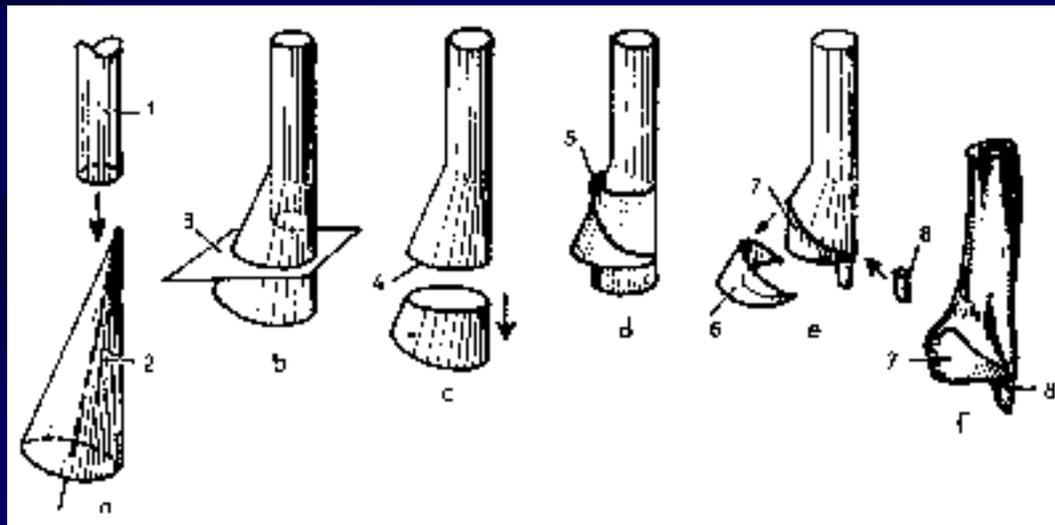


- Incisure ulnaire



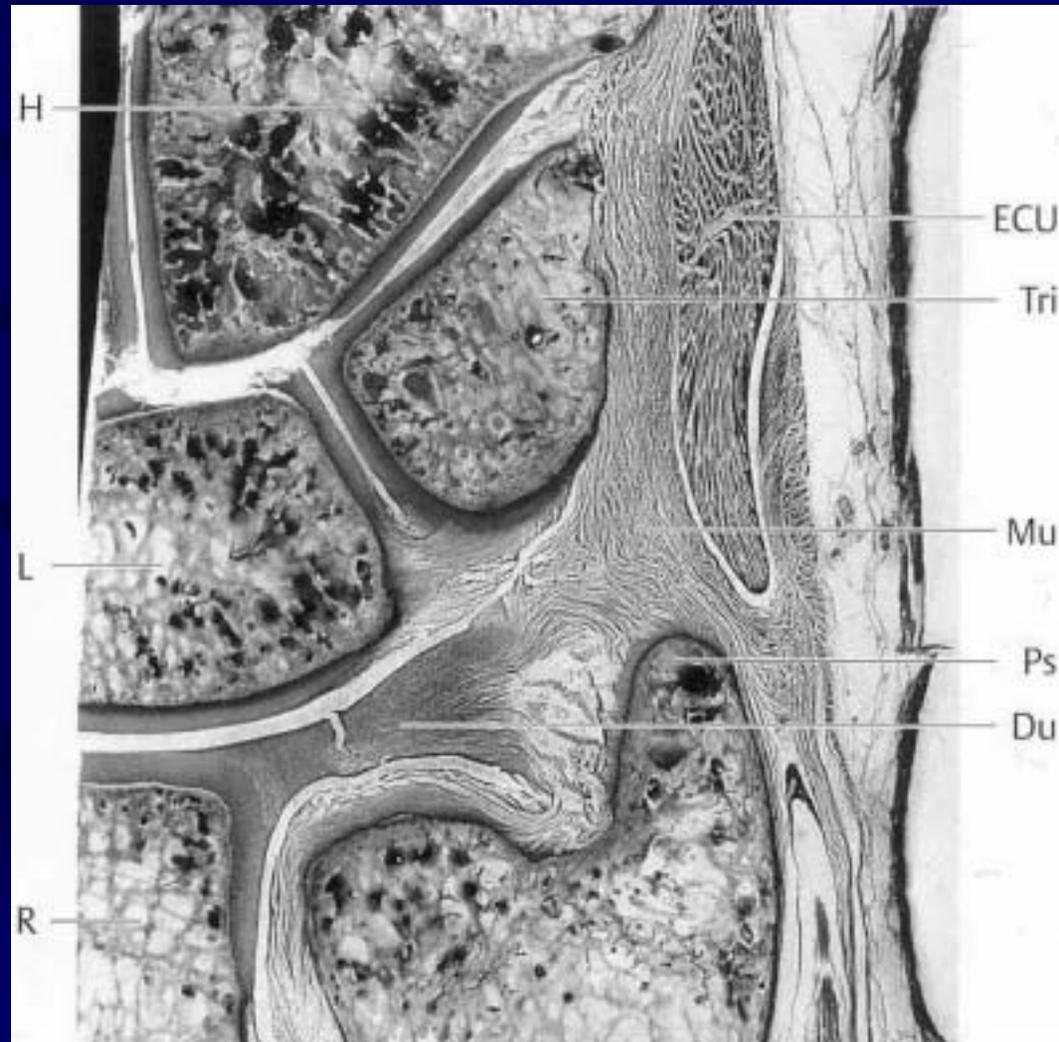
# L'extrémité distale de l'ulna

- Col
- Tête: segment de cylindre vertical déjeté en dehors
- Processus styloïde déjeté en arrière et en dedans



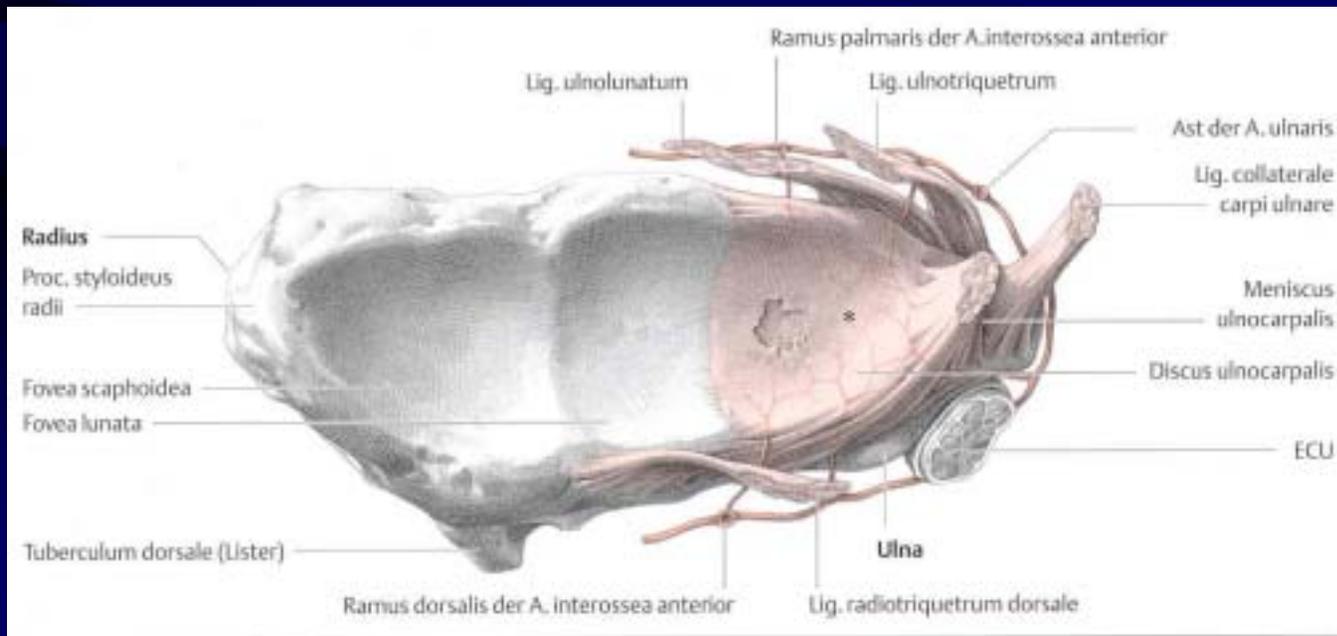
# Le disque artriculaire RUD

- Insertions sur
  - La base du processus styloïde ulnaire
  - Le bord séparant surface carpienne et incisure ulnaire du radius



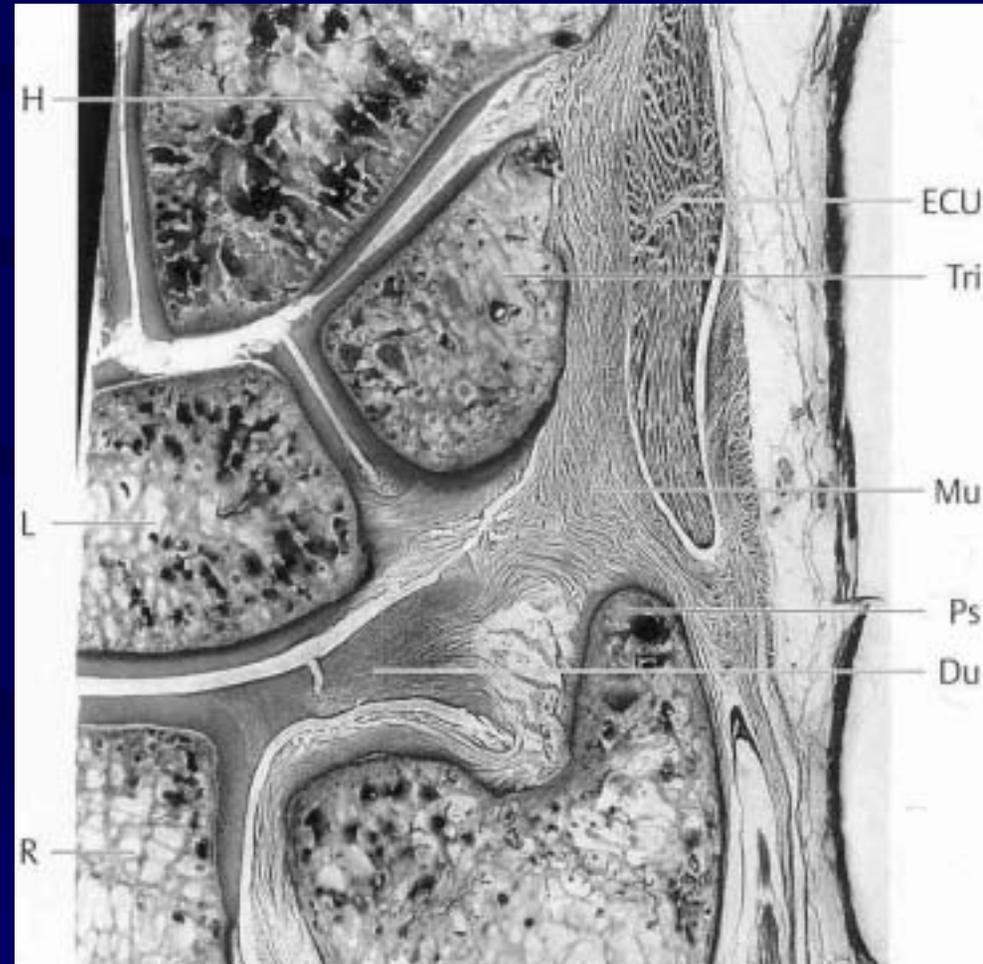
# Le disque articulaire RUD

- Fibrocartilage
- Vascularisation de la partie périphérique
- Nutrition de la partie centrale par le liquide synovial RC et RUD



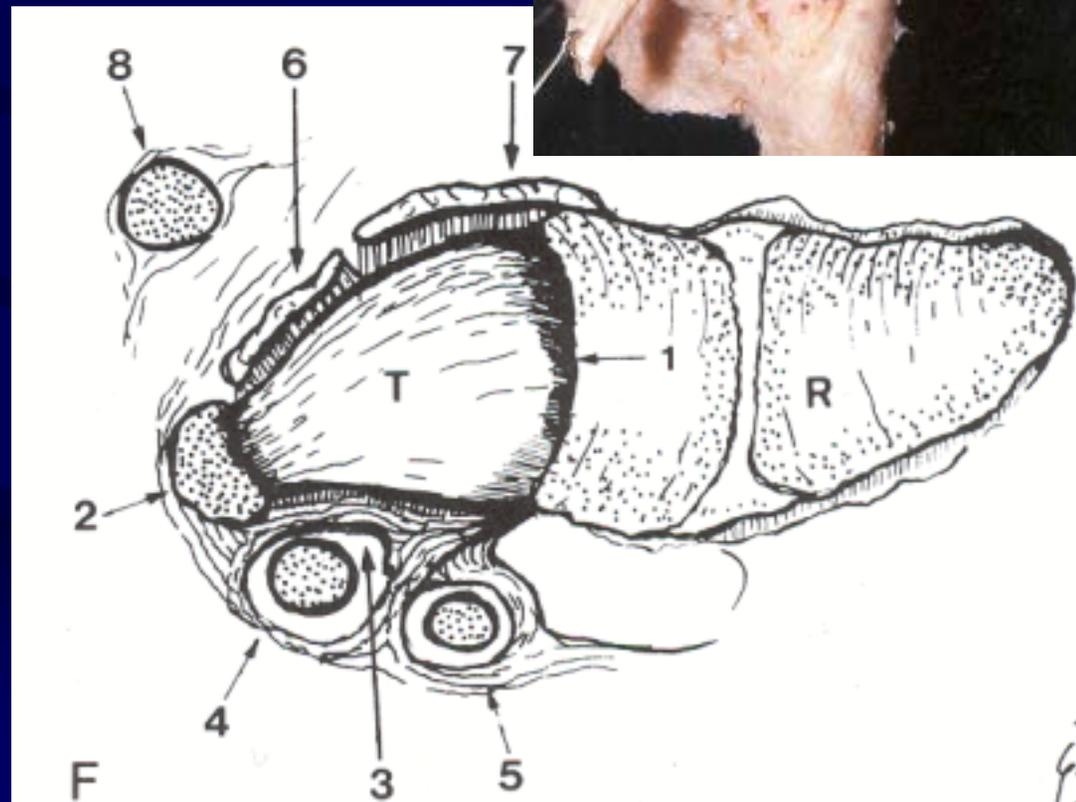
# Le TFCC (Triangular Fibro-Cartilaginous Complex)

- Disque articulaire RUD ou lig. de la tête de l'ulna
- Ligaments RUD palmaire et dorsal
- Ligaments ulno-carpiens
- Gaine de l'extenseur ulnaire du carpe



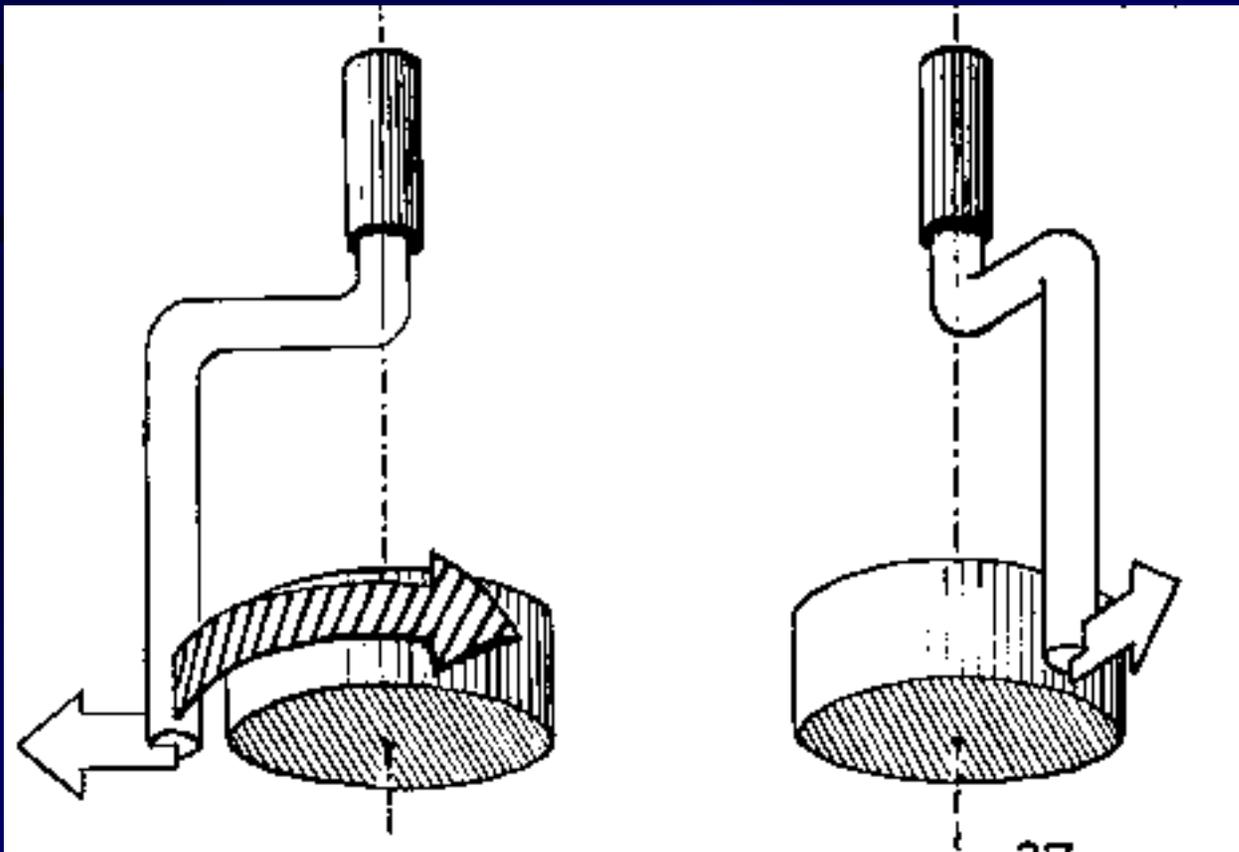
# La gaine de l'extenseur ulnaire du carpe

- 2 épaisseurs
  - Gaine propre profonde, adhérant au bord dorsal du disque articulaire et au lig radio-ulnaire distal post.
  - Rétinaculum des extenseurs



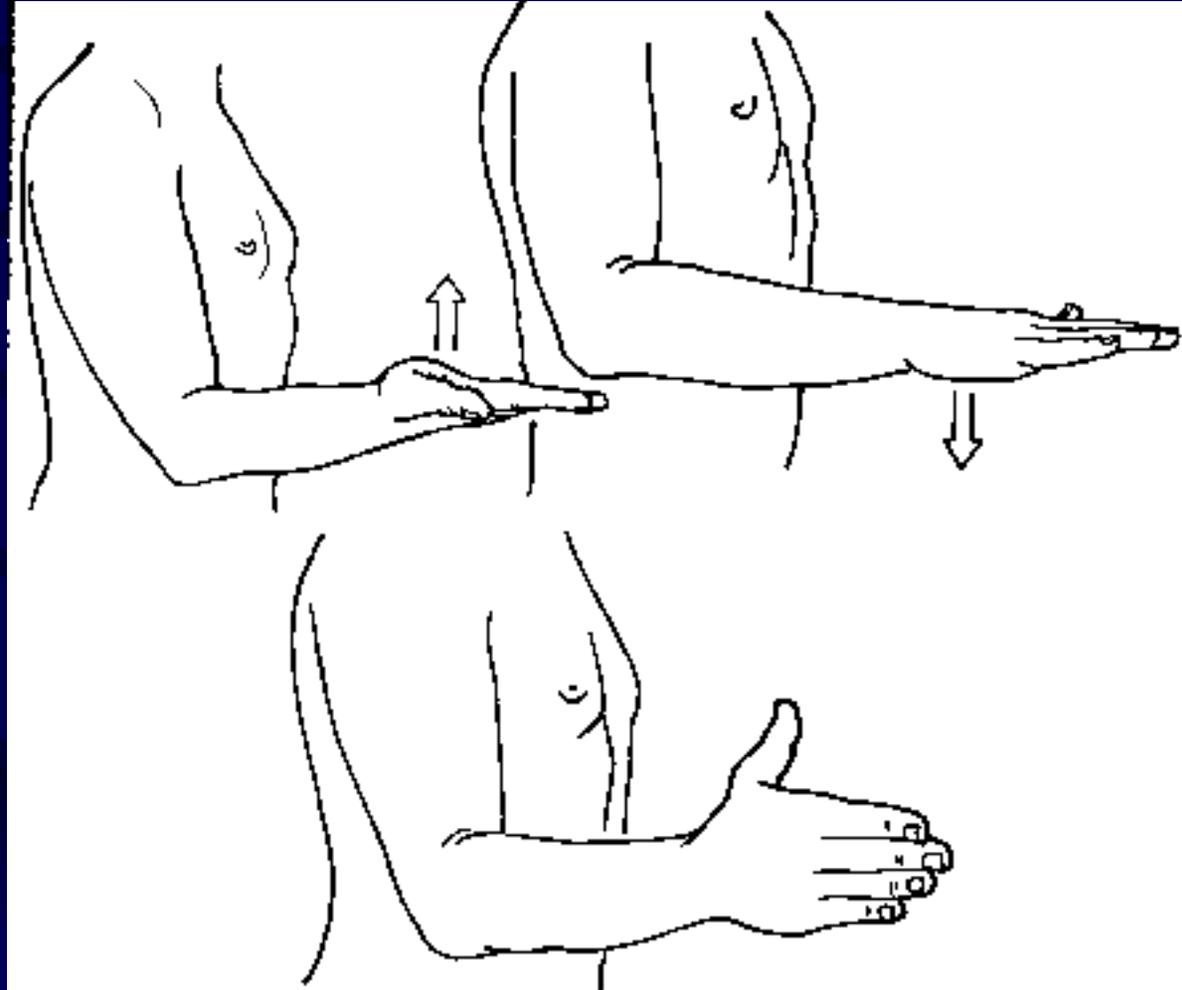
# Pronation-supination

- Rotation des os de l'avant-bras autour d'un axe grossièrement longitudinal selon le mécanisme de la manivelle



# Pronation-supination

- Position de référence:
  - coude fléchi à  $90^\circ$  (pour neutraliser les rotations de la scapulo-humérale)
  - Pouce levé vers le plafond

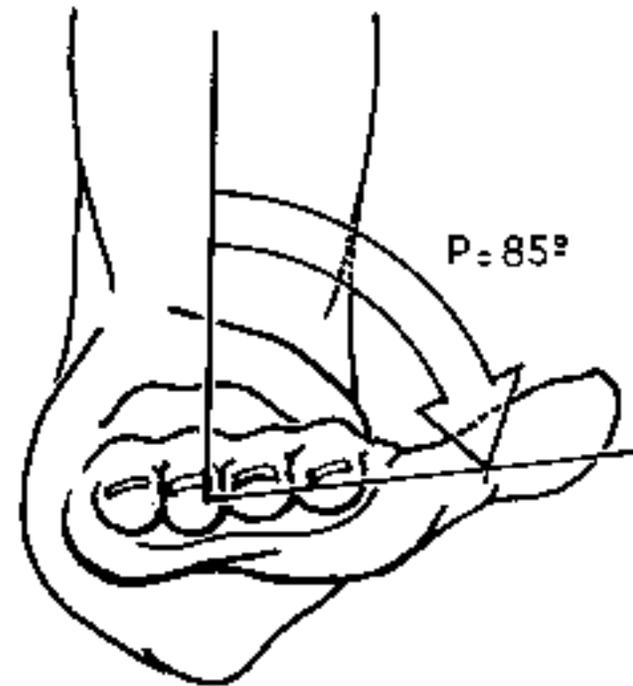
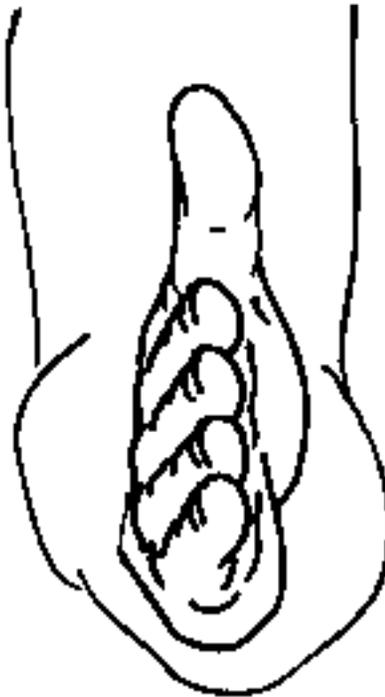
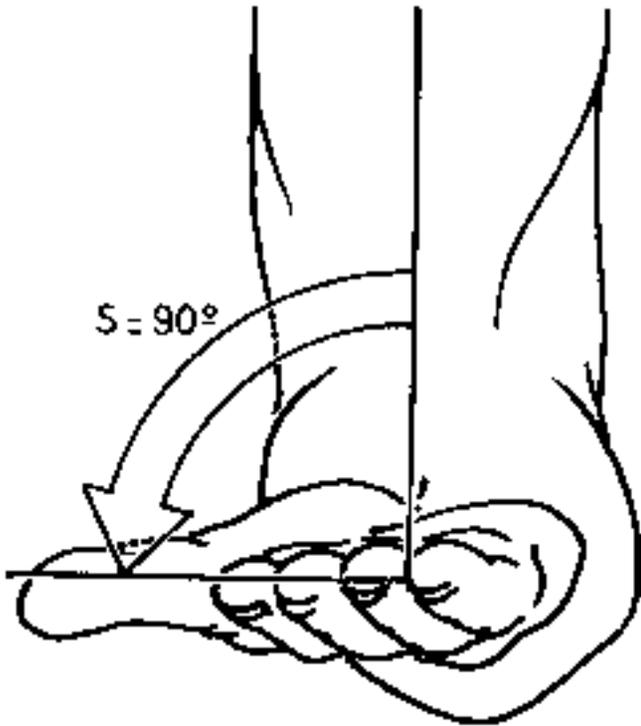


# Pronation-supination

- Amplitudes globales cliniques (Kapandji)

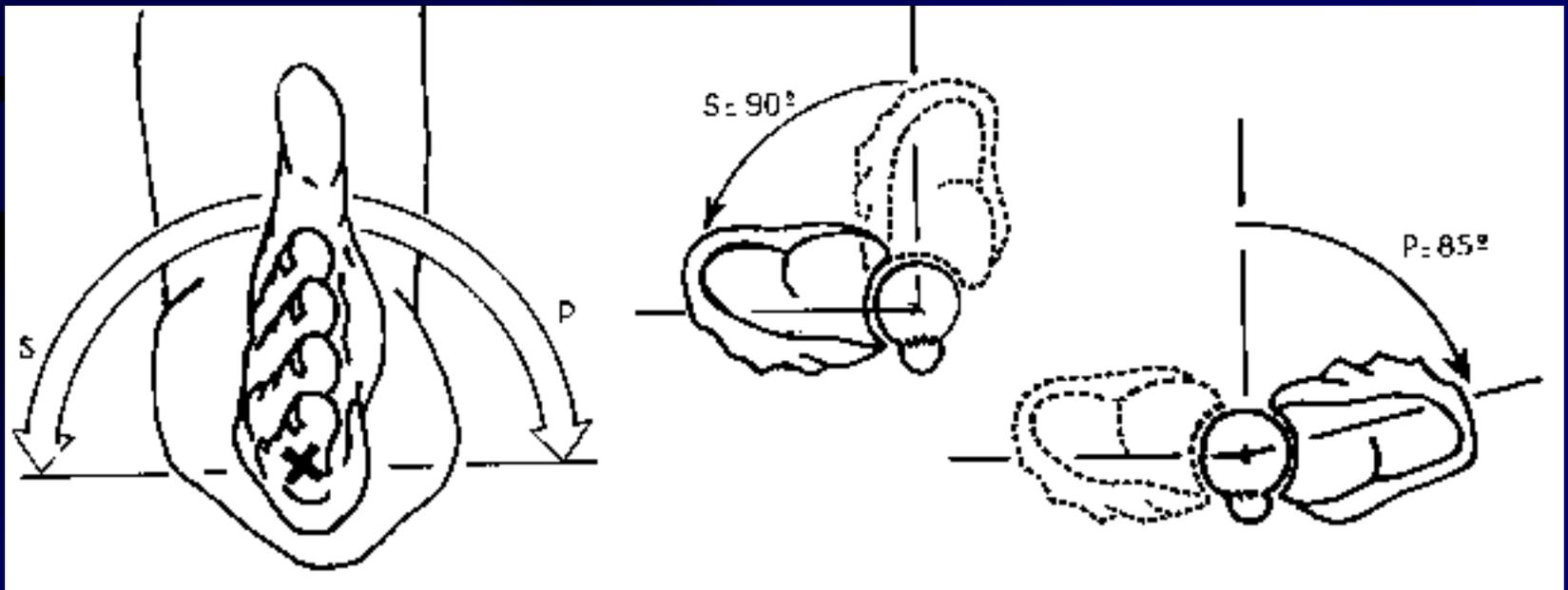
Supination  $90^\circ$

Pronation  $85^\circ$



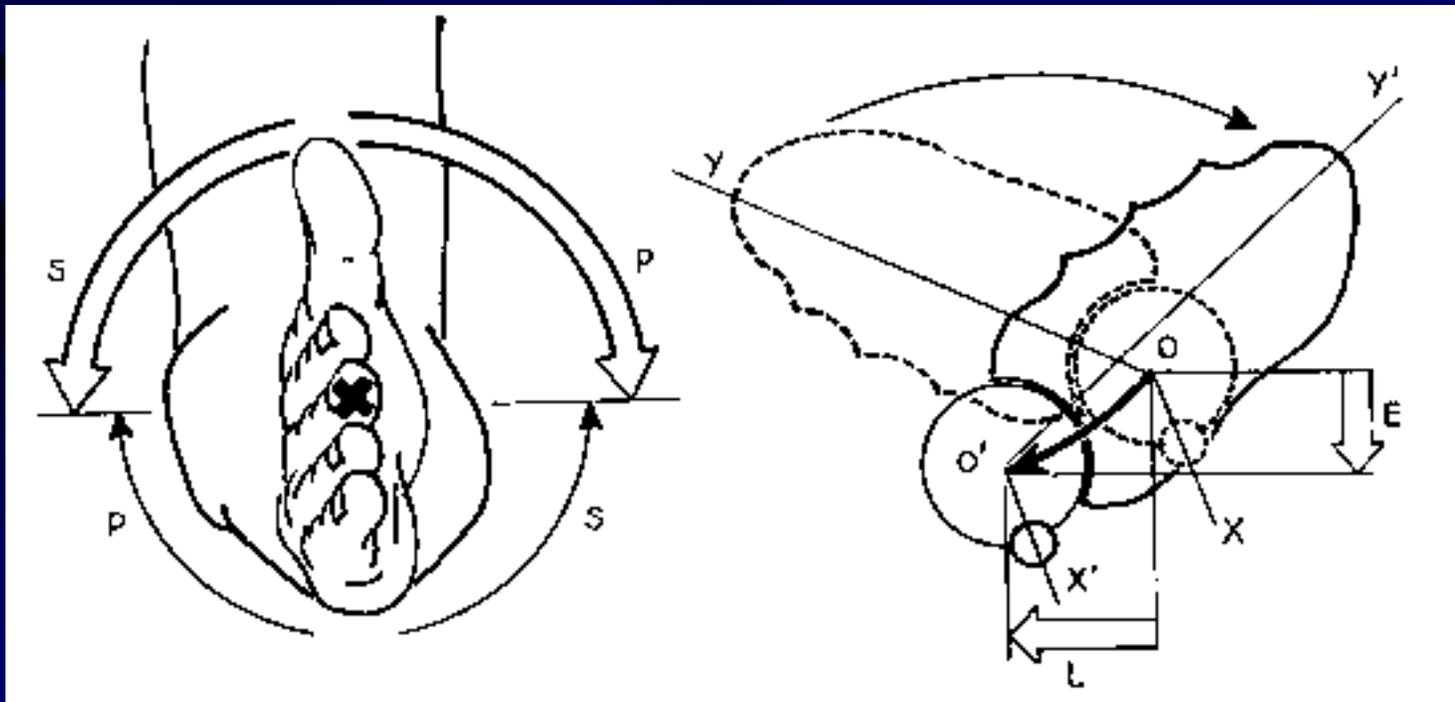
# Pronation-supination: Axe longitudinal

- 1ère hypothèse
- Rotation pure de l'extrémité distale du radius autour de la tête de l'ulna



# Pronation-supination: Axe longitudinal

- 2ème hypothèse
- Rotation du radius autour de l'ulna  $150^\circ$
- Abduction (et dorsalisation) de l'ulna de  $8^\circ$  (Ray)



# Pronation-supination: mouvements longitudinaux satellites dans la RUD

- Pronation

- Descente et déplacement dorsal de la tête ulnaire

 Diminution de l'index RUD (ulnar variance) en incidence paume-plaque

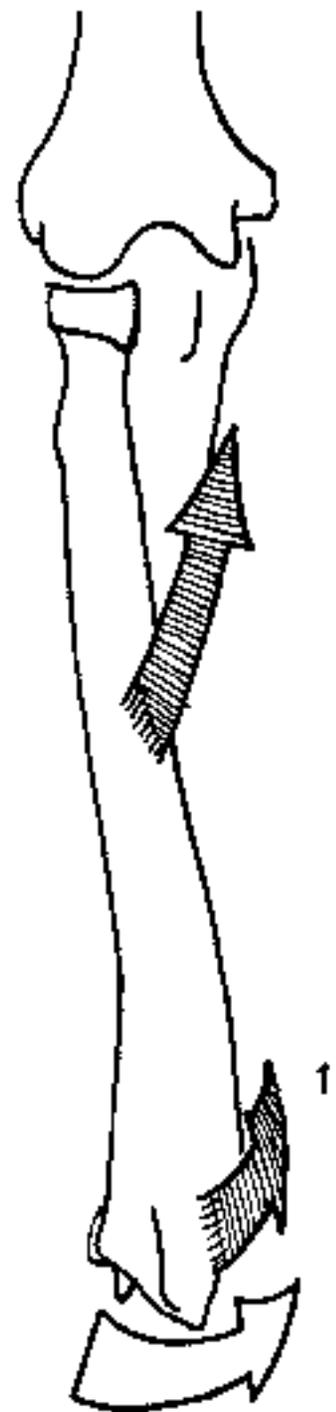
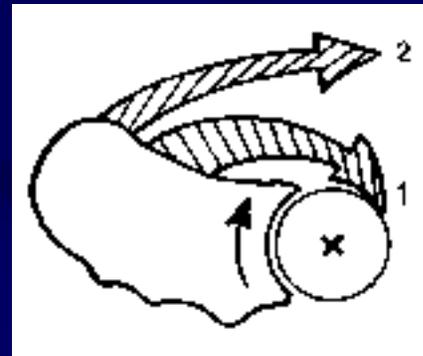
- Supination

- Ascension et déplacement palmaire de la tête ulnaire

 Augmentation de l'index RUD (ulnar variance) en incidence dos-plaque

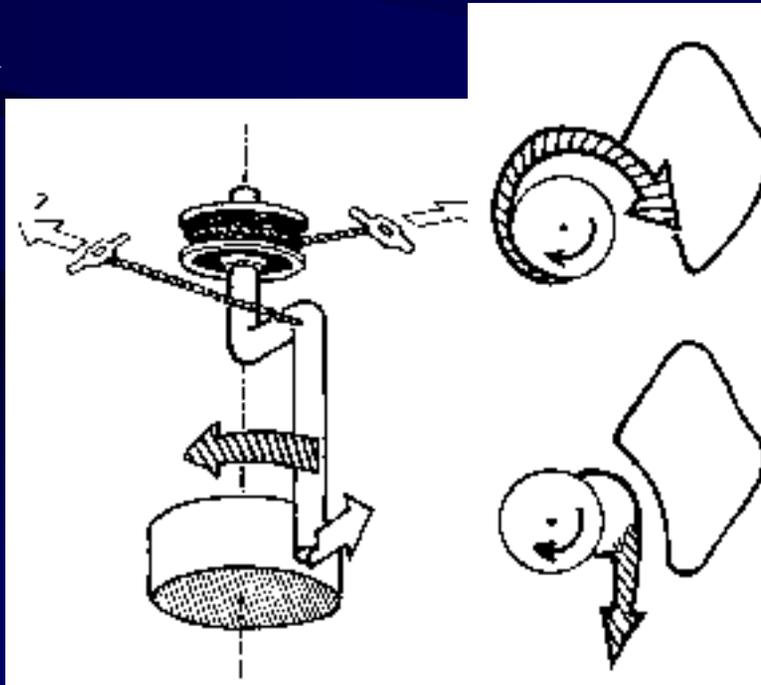
# Pronation-supination: muscles moteurs de la pronation

- 2 muscles antérieurs rapprochant les faces antérieures des deux os de l'avant-bras
  - Rond pronateur
  - Carré pronateur



# Pronation-supination: muscles moteurs de la supination

- 2 muscles agissant sur le radius et utilisant le principe de la manivelle
  - Biceps brachial
  - Supinateur



# Pronation-supination: conditions osseuses

- Respect des caractéristiques respectives des deux os de l'avant-bras
    - Longueur
    - Axe longitudinal
    - Courbures, notamment courbure pronatrice du radius
-  Ostéosynthèse anatomique des fractures des deux os de l'avant bras +++

# Pronation supination: conditions articulaires

- Respect de l'art radio-ulnaire proximale (ou neutralisation par résection de la tête du radius)
- Respect de l'art radio-ulnaire distale (ou neutralisation par résection de la tête ulnaire ou Sauvé-Kapandji)
- Respect de la membrane interosseuse

# Pronation-supination: conditions neuro-musculaires

- 2 muscles pronateurs innervés par le même nerf
  - Rond pronateur et carré pronateur: nerf médian
- 2 muscles supinateurs innervés par 2 nerfs différents
  - Supinateur: nerf radial
  - Biceps brachial: nerf musculo-cutané

# Paralysie de la pronation

- Causes
  - Paralysie obstétricale
  - Poliomyélite
  - Tétraplégie traumatique
- Conséquences
  - Rétraction de la membrane interosseuse
  - Subluxation ou luxation palmaire de la tête de l'ulna
  - Subluxation ou luxation palmaire de la tête du radius
  - Modification de la courbure du radius

# Paralysie de la supination

- Causes
  - Paralysie obstétricale
  - Poliomyélite
  - Hémiplégie spastique
- Conséquences
  - Rétraction de la membrane interosseuse
  - Subluxation ou luxation dorsale de la tête de l'ulna

# Possibilités de compensation des déficits

- Un déficit de pronation peut être compensé par une abduction de l'épaule, il est mieux supporté
- Un déficit de supination ne peut être compensé et est mal toléré