

Biomécanique du Coude

Pr. Gilbert VERSIER
Service de chirurgie orthopédique
HIA Begin 94160 SAINT-MANDE

L'iconographie est notamment issue des ouvrages de Mr Netter et Kapandji

PLAN

1- définition

2- rappels anatomiques

3- mouvements élémentaires

4- biomécanique

de la flexion – extension

de la pronosupination

Définition

Trois articulations avec une capsule et une synoviale commune:

- **huméro-cubitale: trochléenne (1° de liberté)**
- **huméro-radiale: condylienne (2° de liberté)**
- **radio-cubitale supérieure: trochoïde inversée (1° de liberté)**

L'huméro-cubitale et l'huméro-radiale sont destinées à la flexion-extension.

L'huméro-radiale et la radio-cubitale supérieure sont destinées à la prono-supination.

Elles assurent l'orientation de la main dans l'espace

Rappels anatomiques

- 1- Ostéologie
- 2- Moyens d'union passif
- 3- Moyens d'union actif

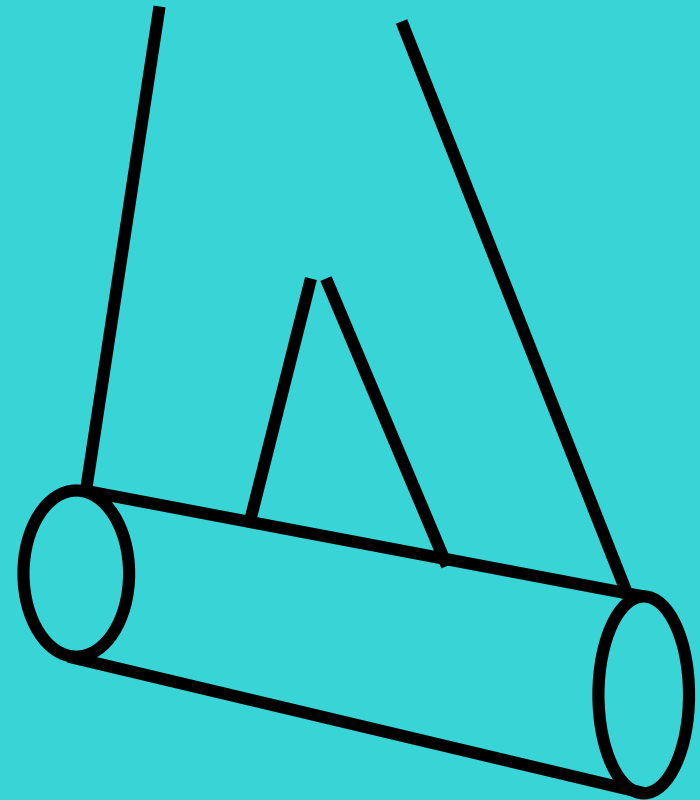
Ostéologie

1- extrémité inférieure de l'humérus



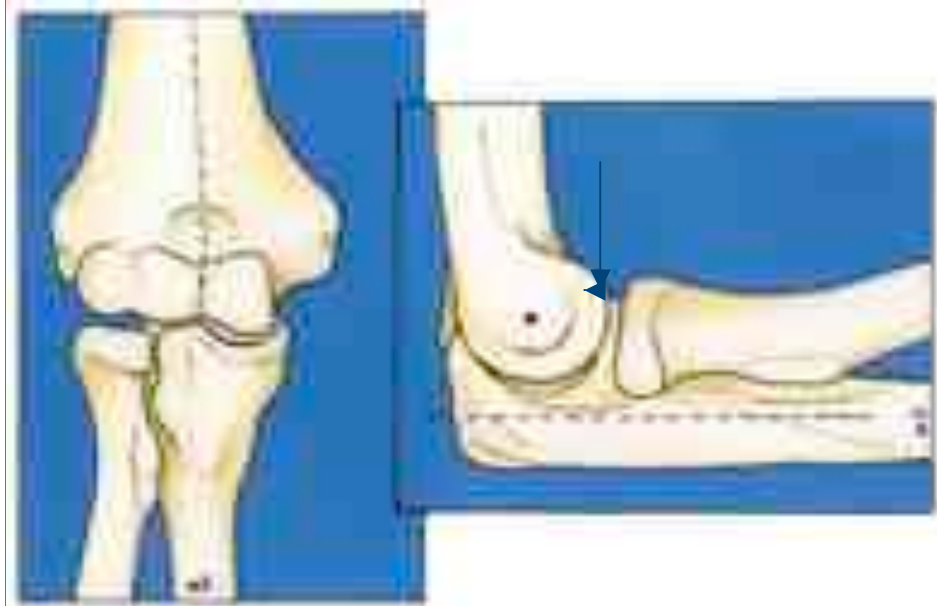
Extrémité distale de l'humérus ou palette

- 1 rouleau articulaire
- 2 piliers
- 2 fossettes



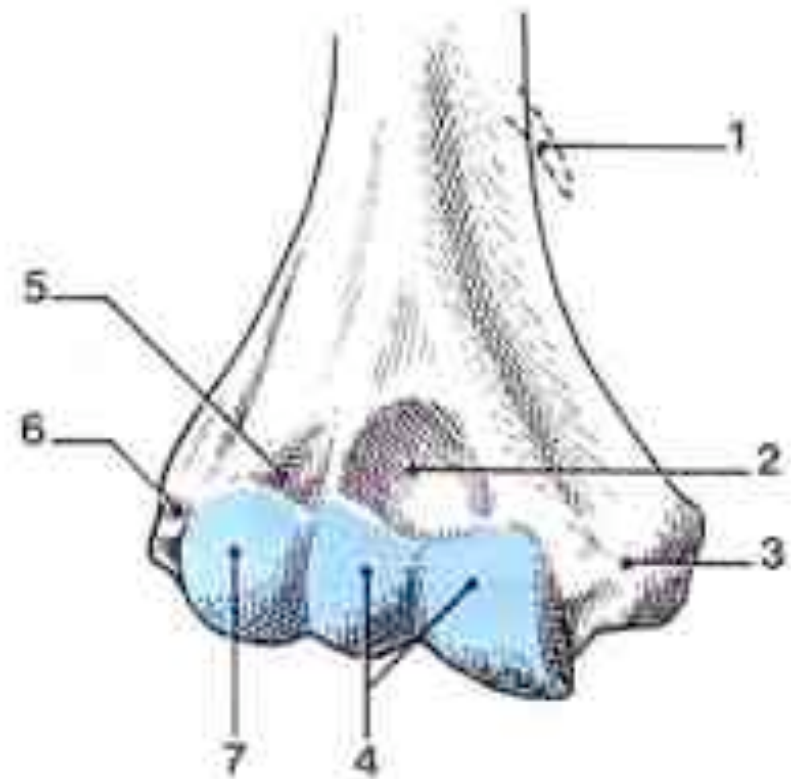
Rouleau condylo-trochléen

- **Condyle**
- **Trochlée humérale**
 - **Forme de poulie**
 - **VI>VE**
 - **Gorge poulie oblique en bas et en DH**
 - **Arc d'hélice +/- 330°**
- **Projection antérieure de 30°**



Vue antérieure coude droit

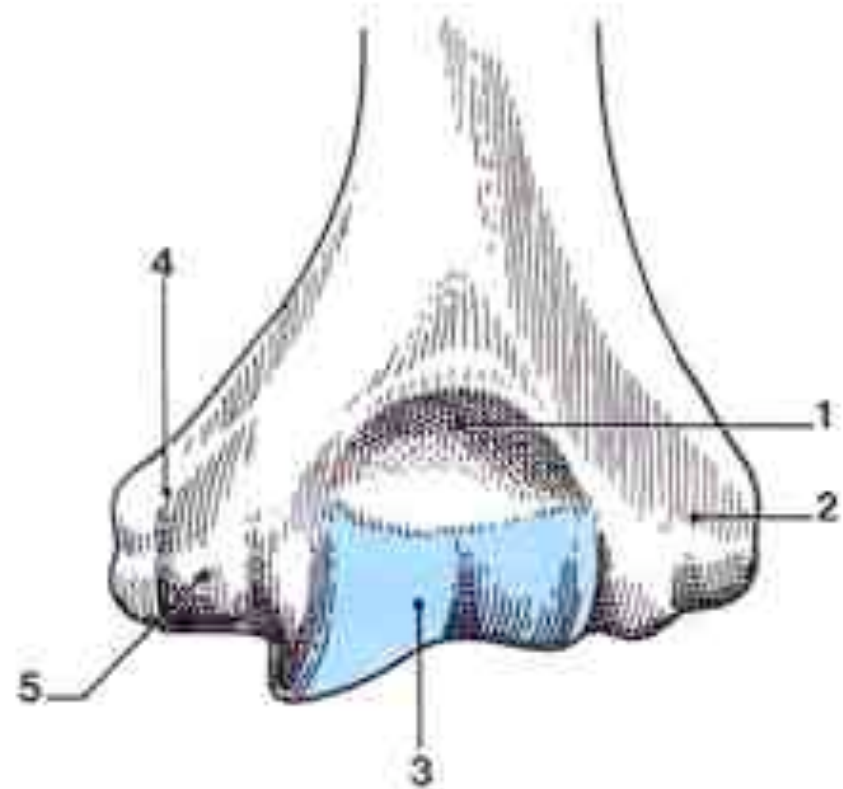
- 1 – jonction diaphyso-métaphysaire
- 2 - Fosse coronoïdienne
- 3 - Epitrochlée
- 4 - Trochlée
- 5 - Fossette radiale
- 6 - Epicondyle
- 7 - Capitelum



Epiphyse distale de l'humérus

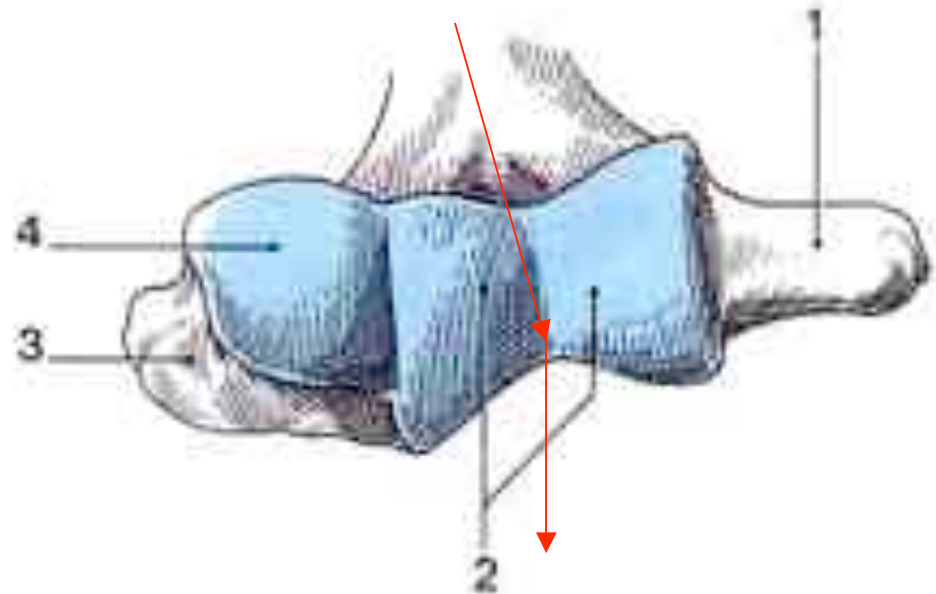
Vue postérieure

- 1 – Fossette olécraniennne
- 2 – Epicondyle
- 3 – Trochlée
- 4 – Epitrochlée
- 5 – Sillon du nerf cubital



Epiphyse distale de l'humérus Vue inférieure

- 1- Epitrochlée
- 2 – Trochlée
- 3 – Epicondyle
- 4 - Capitulum

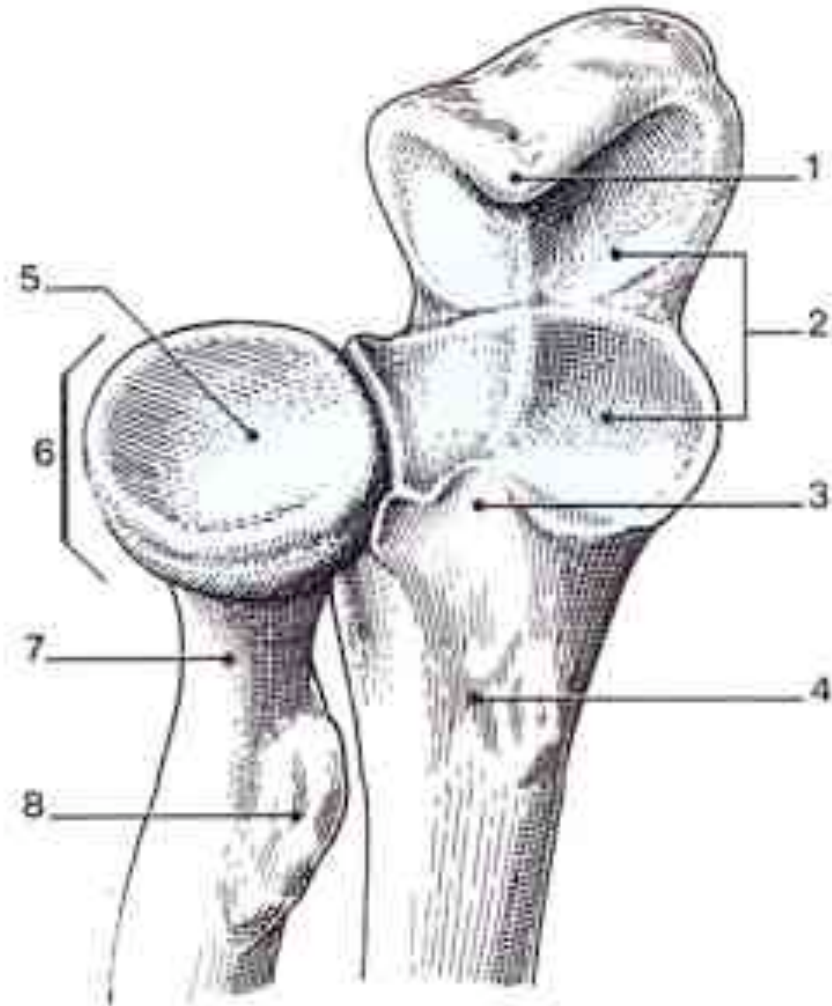


Valgus physiologique(Valeur 9° à 15°)



Extrémités supérieures du radius et du cubitus (vue antéro-supérieure)

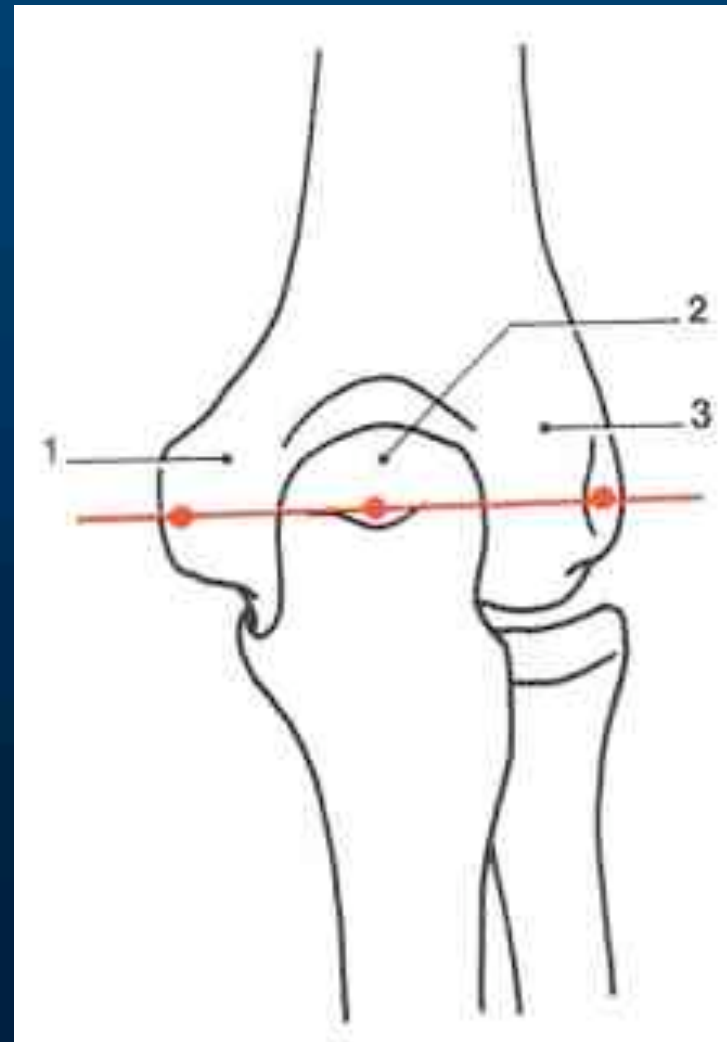
- 1 – Bec olécranien
- 2 – cavité sigmoïdienne
- 3 – Processus coronoïde
- 4 – Tubérosité cubitale
- 5 – Fossette radiale
- 6 – Tête radiale
- 7 – Col du radius
- 8 – Tubérosité radiale



Repères anatomiques du coude

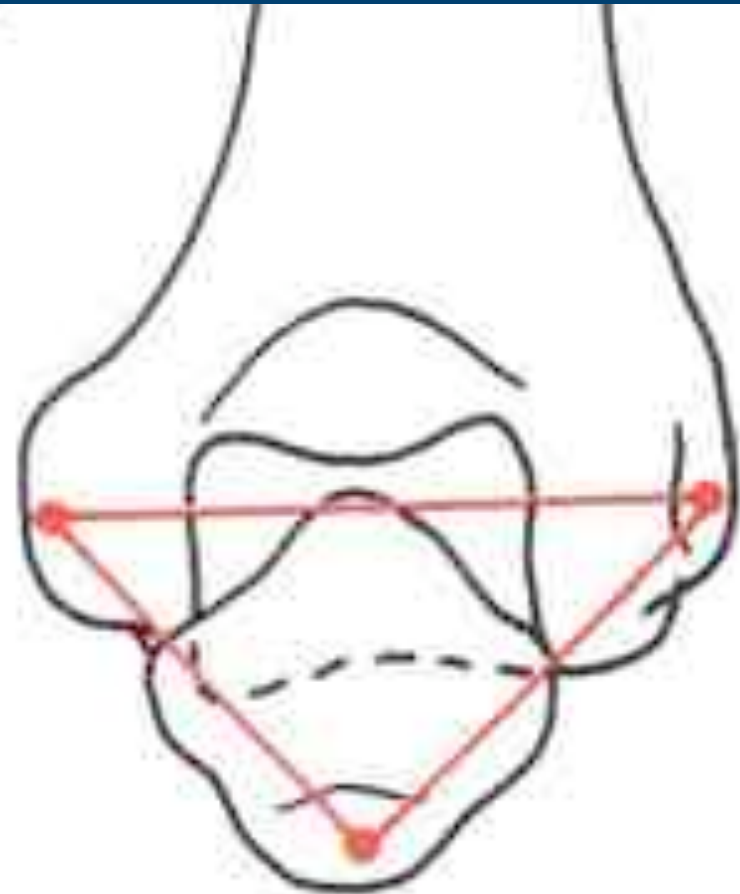
- Coude en extension
- Epitrochlée, épicondyle et olécrane sont dans le même plan

Ligne de Malgaigne



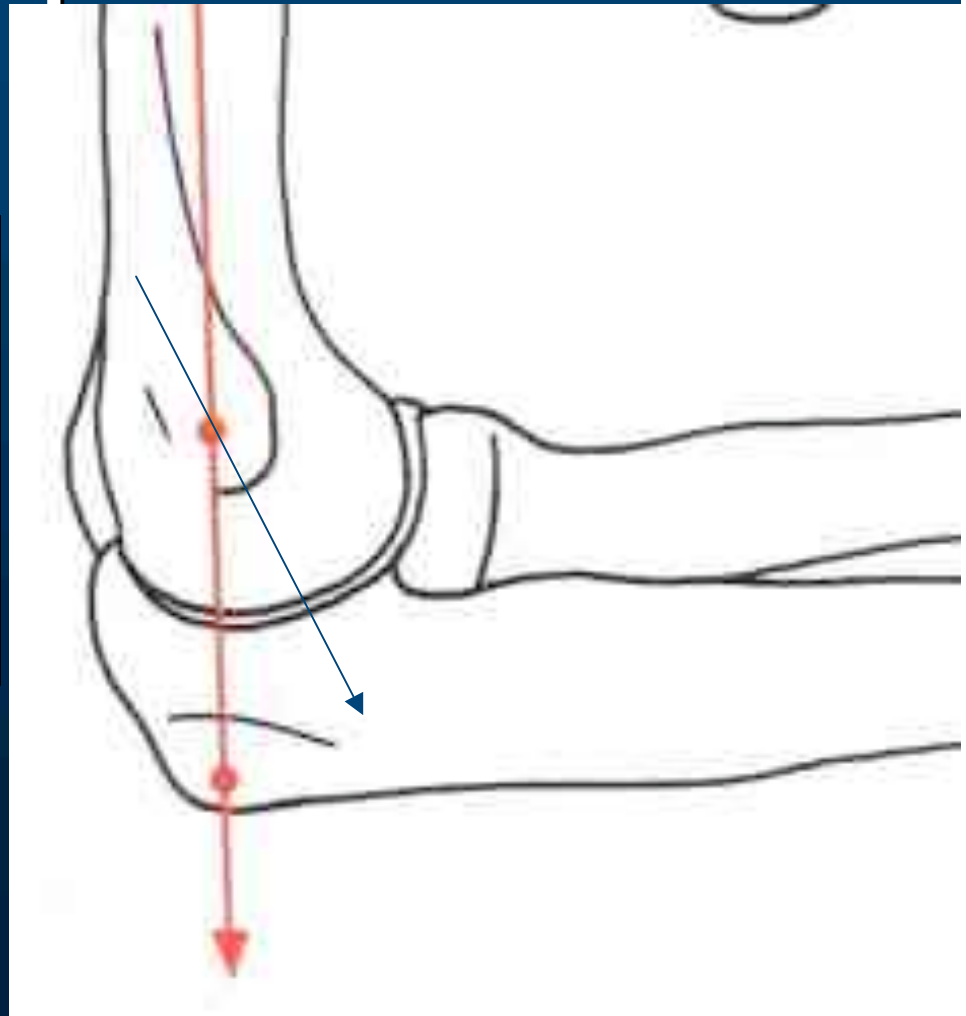
Repères anatomiques du coude

- **Coude à 90° de flexion**
- **Triangle de Nélaton**
 - Base supérieure avec olécrane en bas



Repères anatomiques du coude

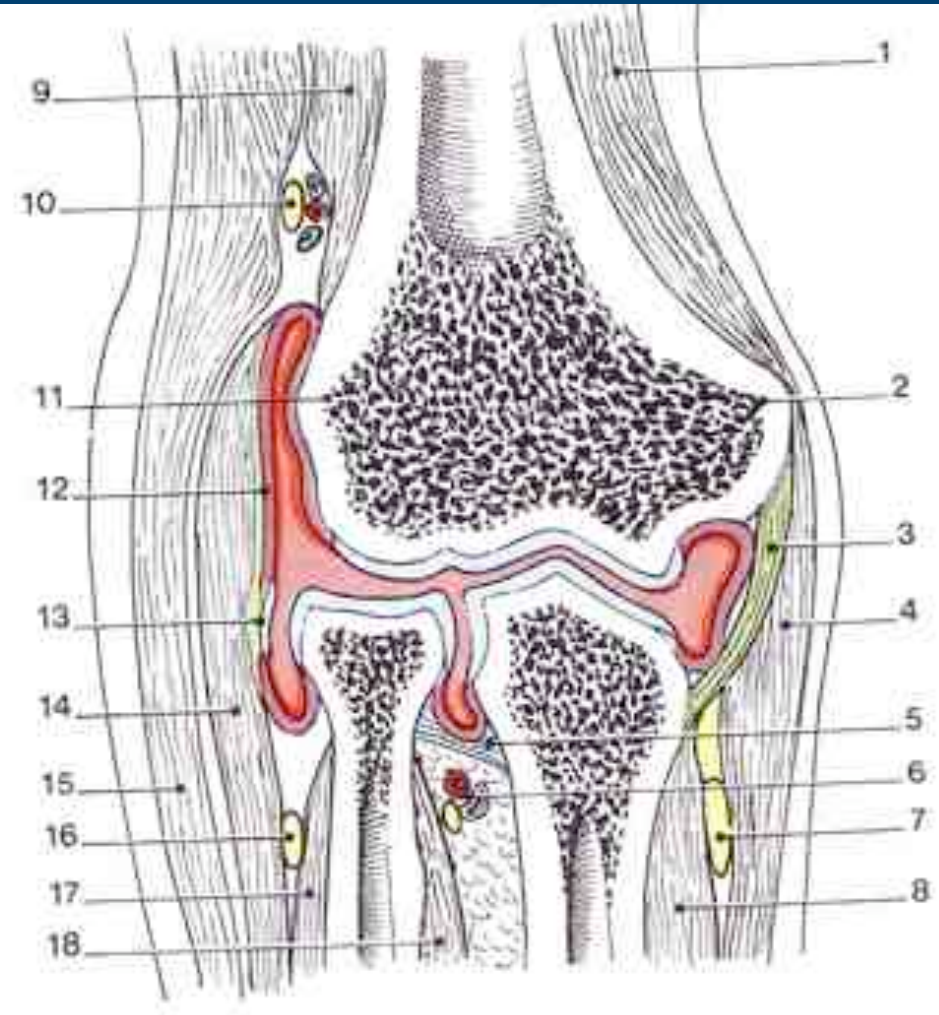
- **Vue latérale:**
 - Alignement de l'épicondyle avec la pointe de l'olécrane
 - NB: Notez le déjettement antérieur de la palette humérale



Moyens d'union passifs

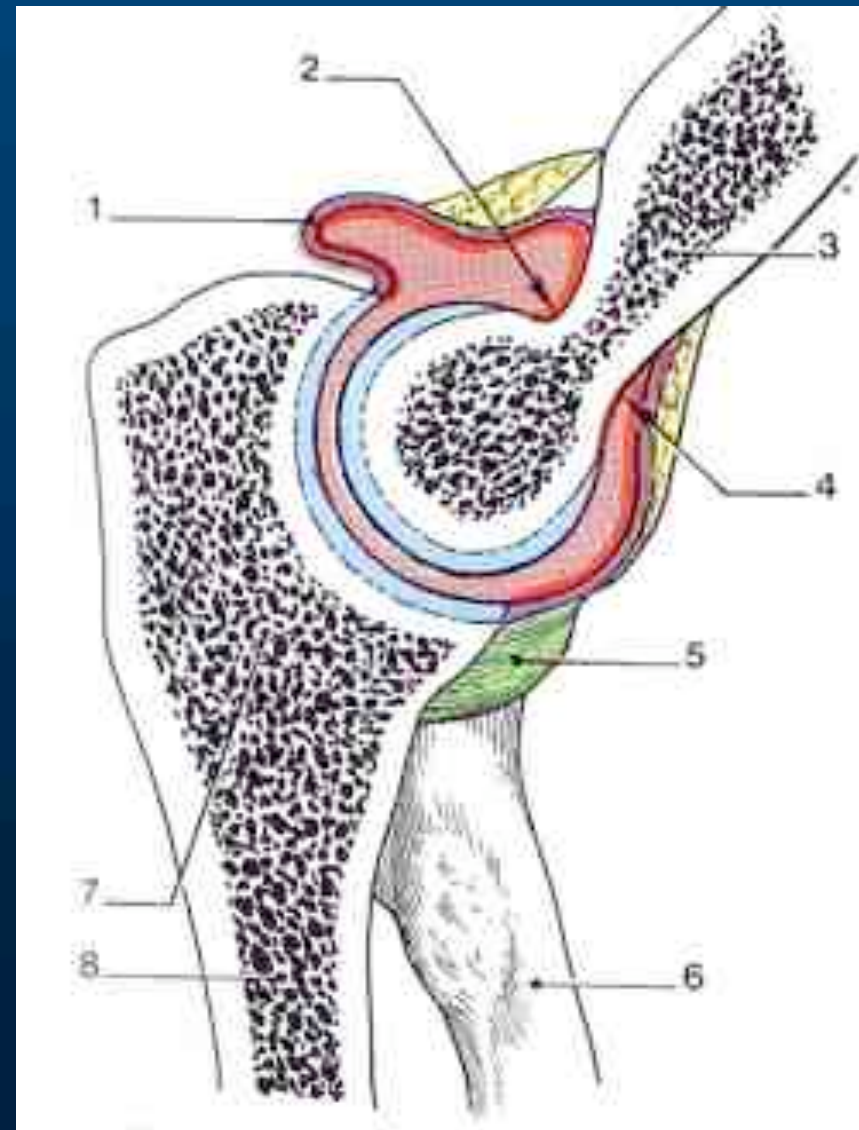
Coupe frontale du coude

- Capsule et synoviale
- Ligaments:
 - Antérieur
 - Internes
 - Externes
- Membrane interosseuse



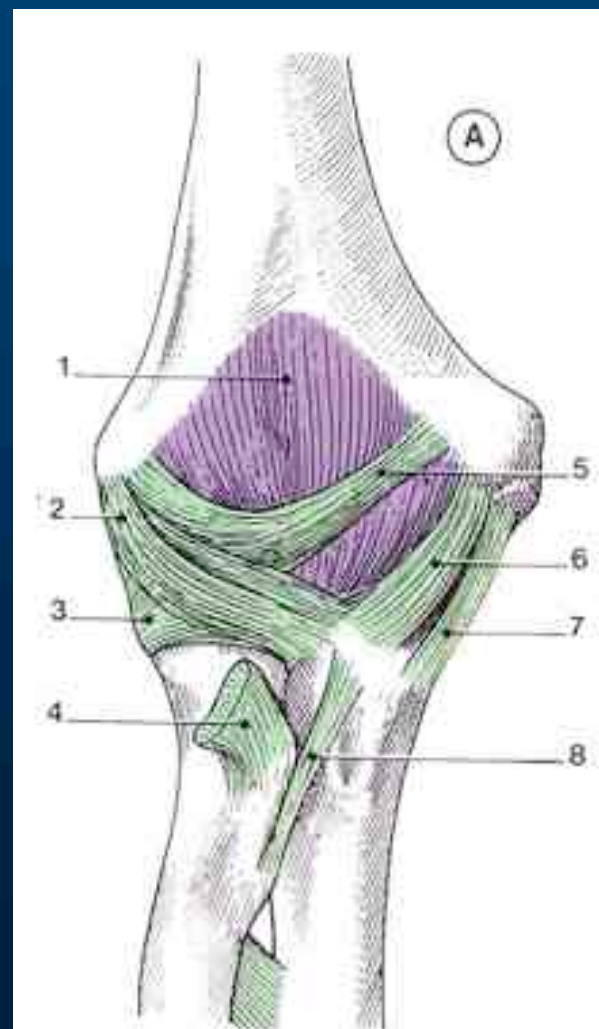
Articulation huméro cubitale coupe sagittale

- 1- Capsule
- 2- Fossette et récessus olécranien
- 3- Humérus
- 4- Fossette et récessus coronoidien
- 5- Ligament annulaire
- 6- Radius
- 7- Epiphyse supérieure
- 8- Cubitus



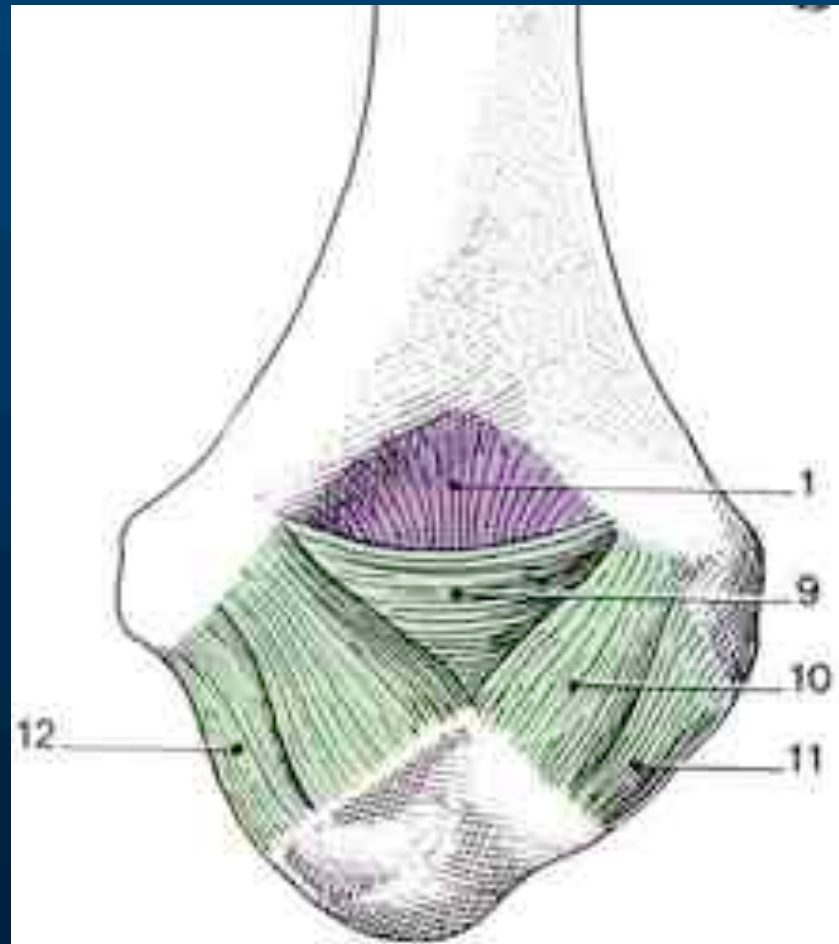
Vue antérieure du coude

- 1- Capsule
- 2- Lgt collatéral radial (fx antérieur)
- 3- Ligt annulaire
- 4- tendon du biceps
- 5- Ligament antérieur
- 6- Ligt collatéral ulnaire (fx antérieur)
- 7- Fx moyen
- 8- Corde oblique



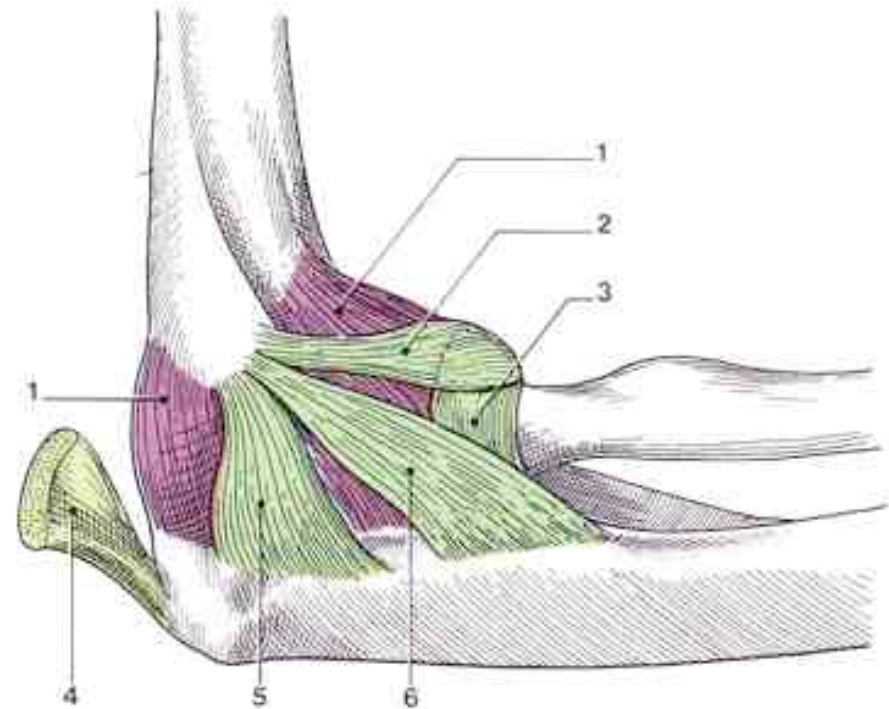
Vue postérieure du coude

- 1- Capsule
- 9- Ligament transversal
- 10- Ligament postérieur
- 11- Lig collatéral radial
(fx postérieur)
- 12- Lig. Collatéral ulnaire
(fx. Postérieur)



Vue latérale du coude

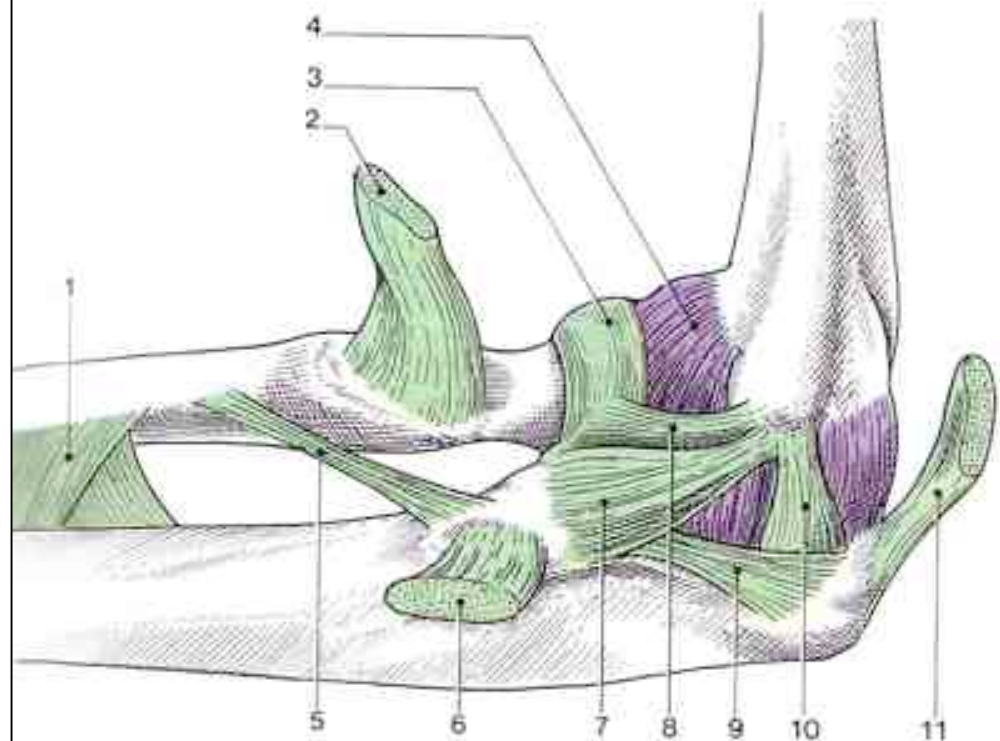
- 1- Capsule articulaire
- 2- Ligt collatéral radial (Fx antérieur)
- 3- Ligt annulaire
- 4- Tendon du biceps brachial
- 5- Ligt collatéral radial (Fx postérieur)
- 6- Ligt collatéral radial (Fx moyen)



Articulation du coude

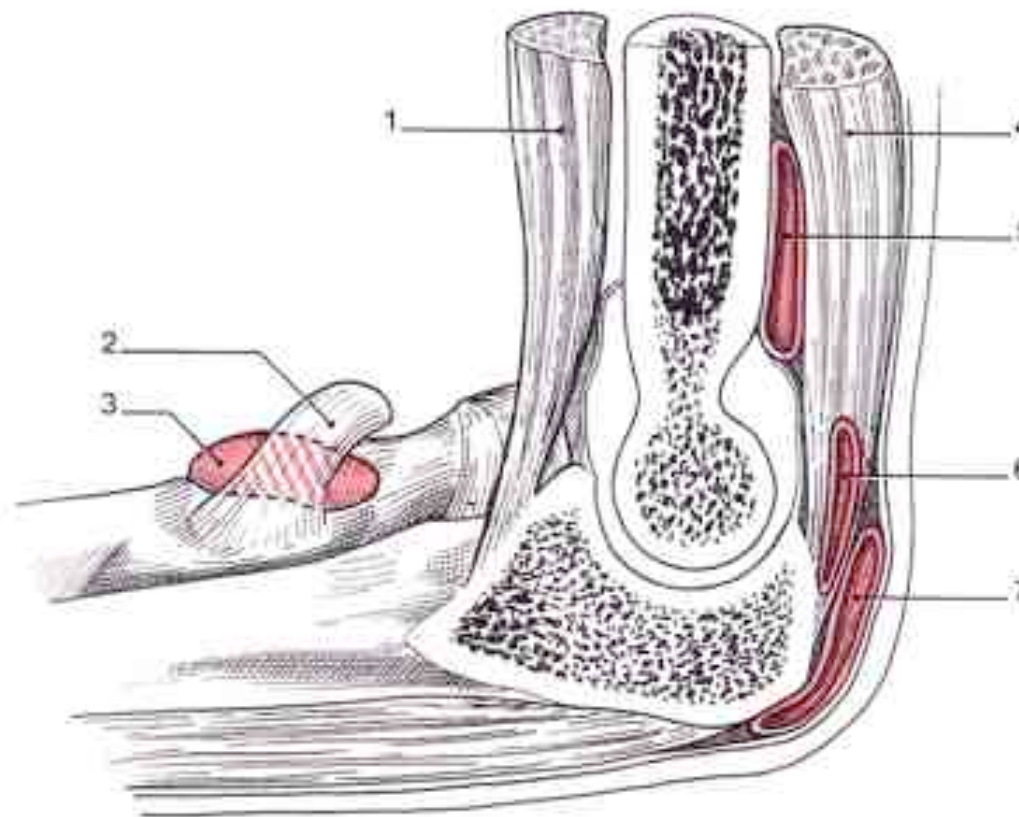
Vue médiale

- 1- Membrane interosseuse
- 2- tendon du biceps brachial
- 3- Ligament annulaire
- 4 Capsule articulaire
- 5- Corde oblique
- 6 Tendon du brachial antérieur
- 7- L.L.I Fx Moyen
- 8- L.L.I. Fx antérieur
- 9- L.L.I. Fx arciforme
- 10 – L.L.I Fx. Postérieur
- 11- tendon du triceps brachial



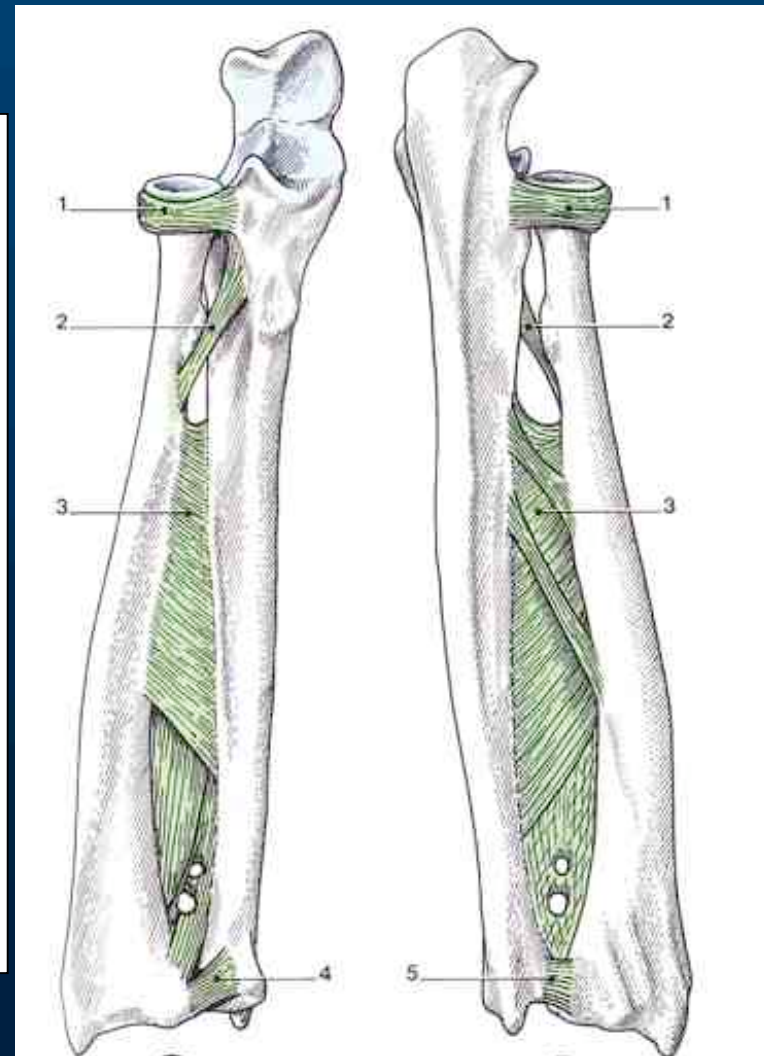
Bourses synoviales du coude

- 1- Brachial antérieur
- 2- Biceps brachial
- 3- Bourse séreuse bicipito-radiale
- 4- Triceps brachial
- 5- Bourse sous tendineuse du triceps
- 6- Bourse intra tendineuse de l'olécrane
- 7- Bourse sous cutanée olécranienne



Membrane inter osseuse

- 1 - Ligament annulaire
- 2 – Corde oblique
- 3 – Membrane inter osseuse
- 4 – Ligament radio cubital antérieur
- 5 – Ligament radio cubital postérieur



Membrane inter osseuse

- **Particulièrement mince dans son tiers inférieur**
- **Très résistante dans ses deux tiers supérieur**

La membrane interosseuse :

- **La membrane interosseuse est très résistante. Son rôle biomécanique est triple :**

1- elle est un des principaux freins de la prono-supination. Tous les éléments de la membrane se détendent en pronation et se tendent en supination. Le freinage de la supination est aidé par le ligament carré de Dénucé (frein faible) et par le ligament triangulaire (frein fort),

2 - elle contribue puissamment à maintenir les rapports respectifs des deux os,

3 - elle transmet les forces de pression axiale subies par la main vers l'humérus.

Moyens d'union actifs

MUSCLES moteurs du coude

- **Groupe antérieur = 8 muscles**
- **Groupe externe = 4 muscles**
- **Groupe postérieur = 8 muscles**

Pour l'étude de la biomécanique du coude, on les divise en:

- **fléchisseurs**
- **extenseurs**
- **pronateurs**
- **supinateurs**

Mouvements élémentaires

1- flexion

2- extension

3- latéralité (en flexion)

4- pronation

5- supination

Par la trochléenne
huméro- ulnaire

et

par la condylienne
huméro- radiale

Par la double trochoïde inversée
radio-cubitale



Extension complète : 0°



Flexion active complète : 140°



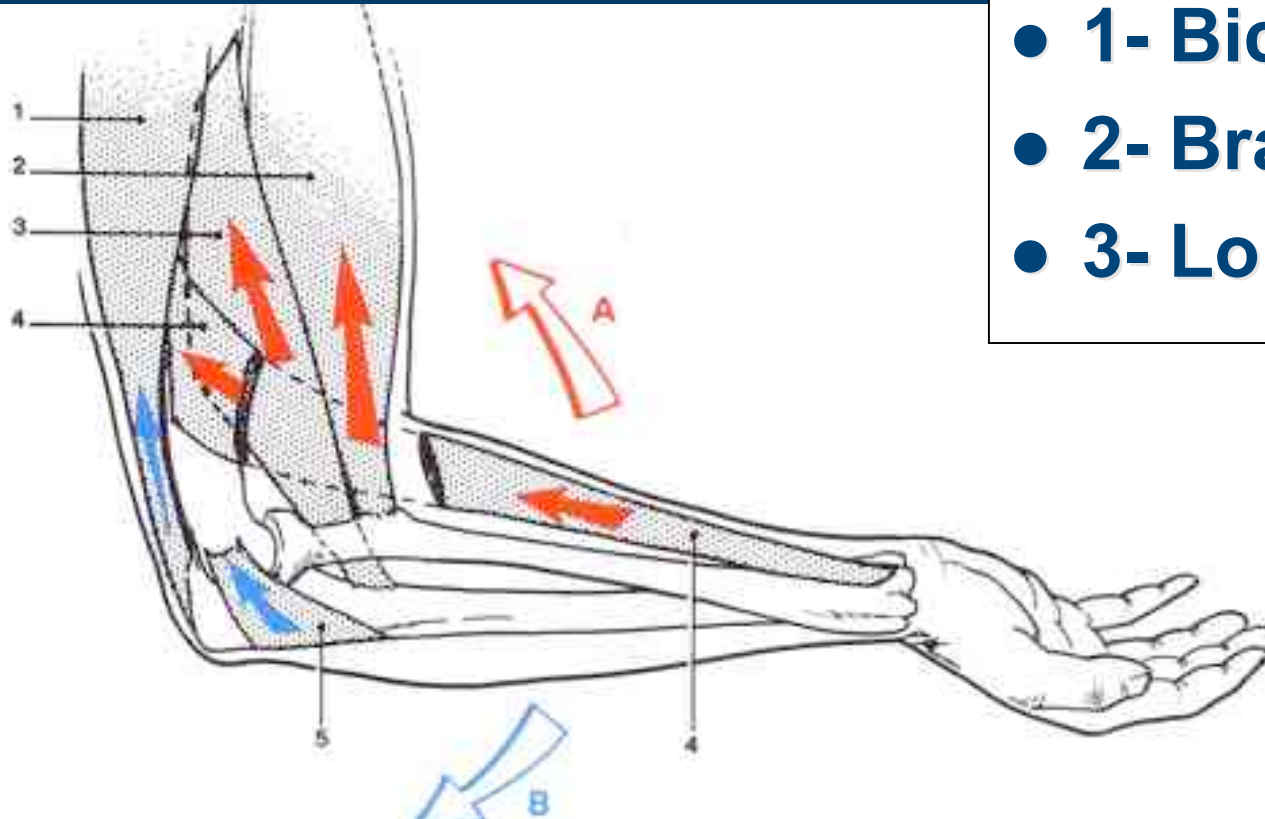
Flexion à 90°



Flexion passive : 160°

Biomécanique de la flexion-extension

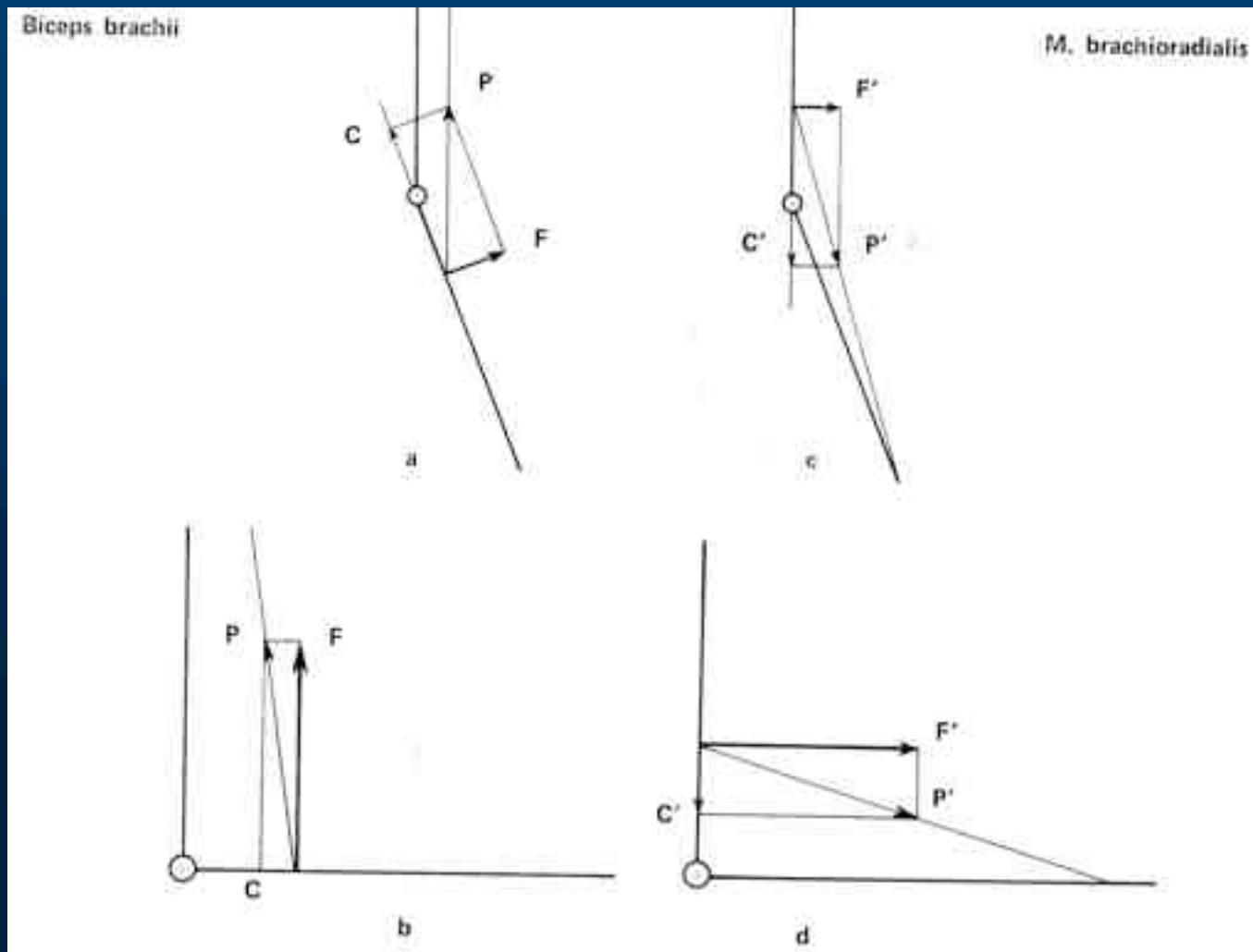
Muscles de la flexion



- 1- Biceps brachial
- 2- Brachial antérieur
- 3- Long supinateur

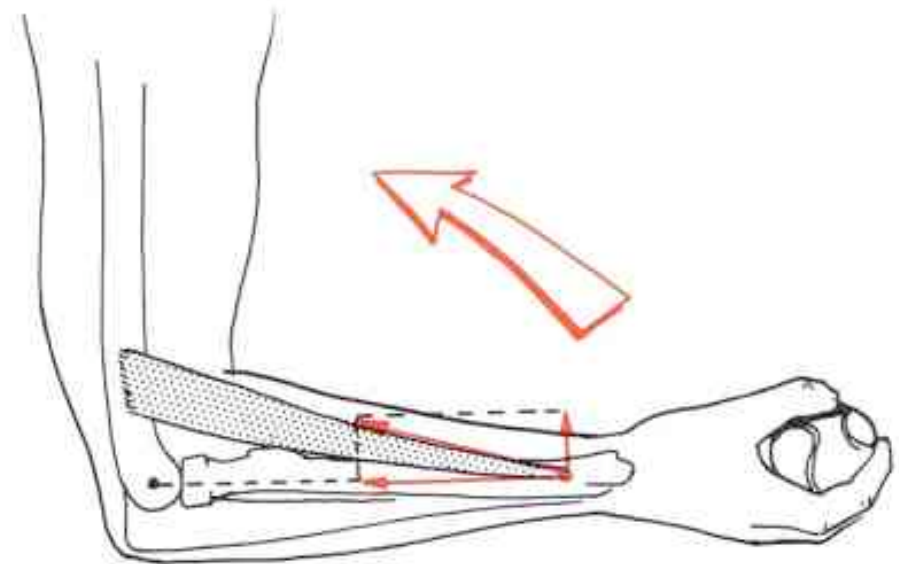
Muscles de la flexion

- Force maximale coude à 90°



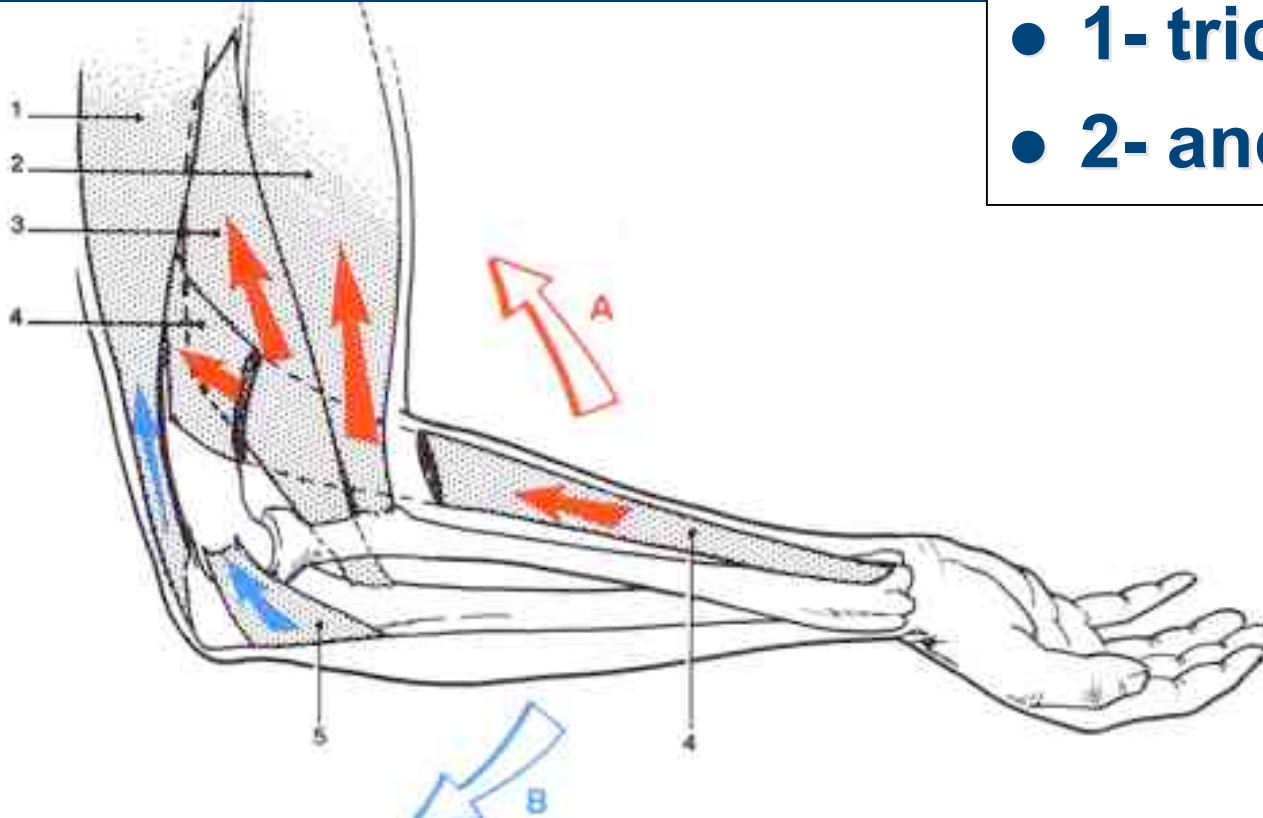
Action du long supinateur

- **Principal fléchisseur avec le brachial antérieur lorsque le poignet est fixé**



Muscles de l'extension

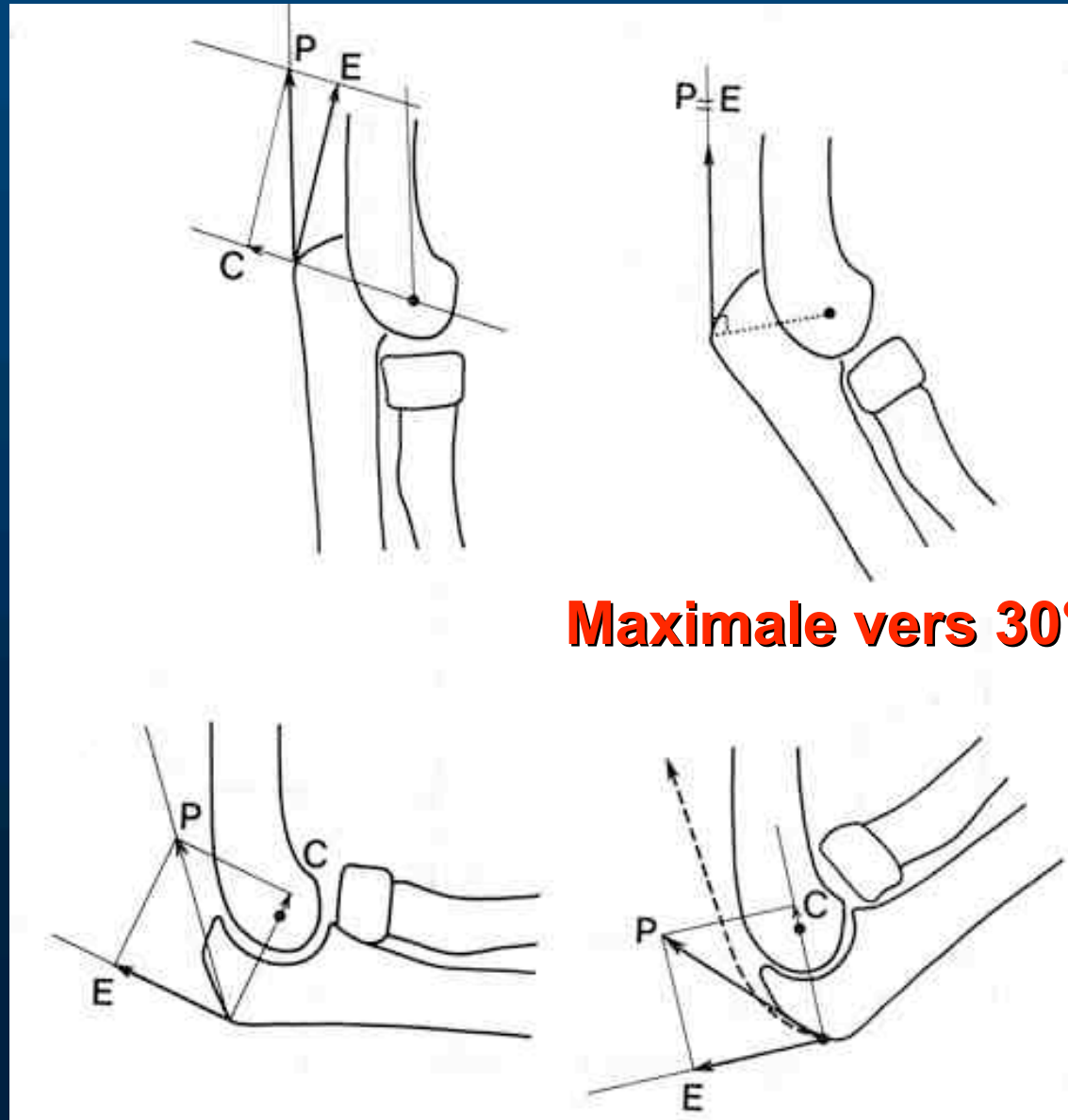
- 1- triceps brachial
- 2- anconé



Muscles de l'extension

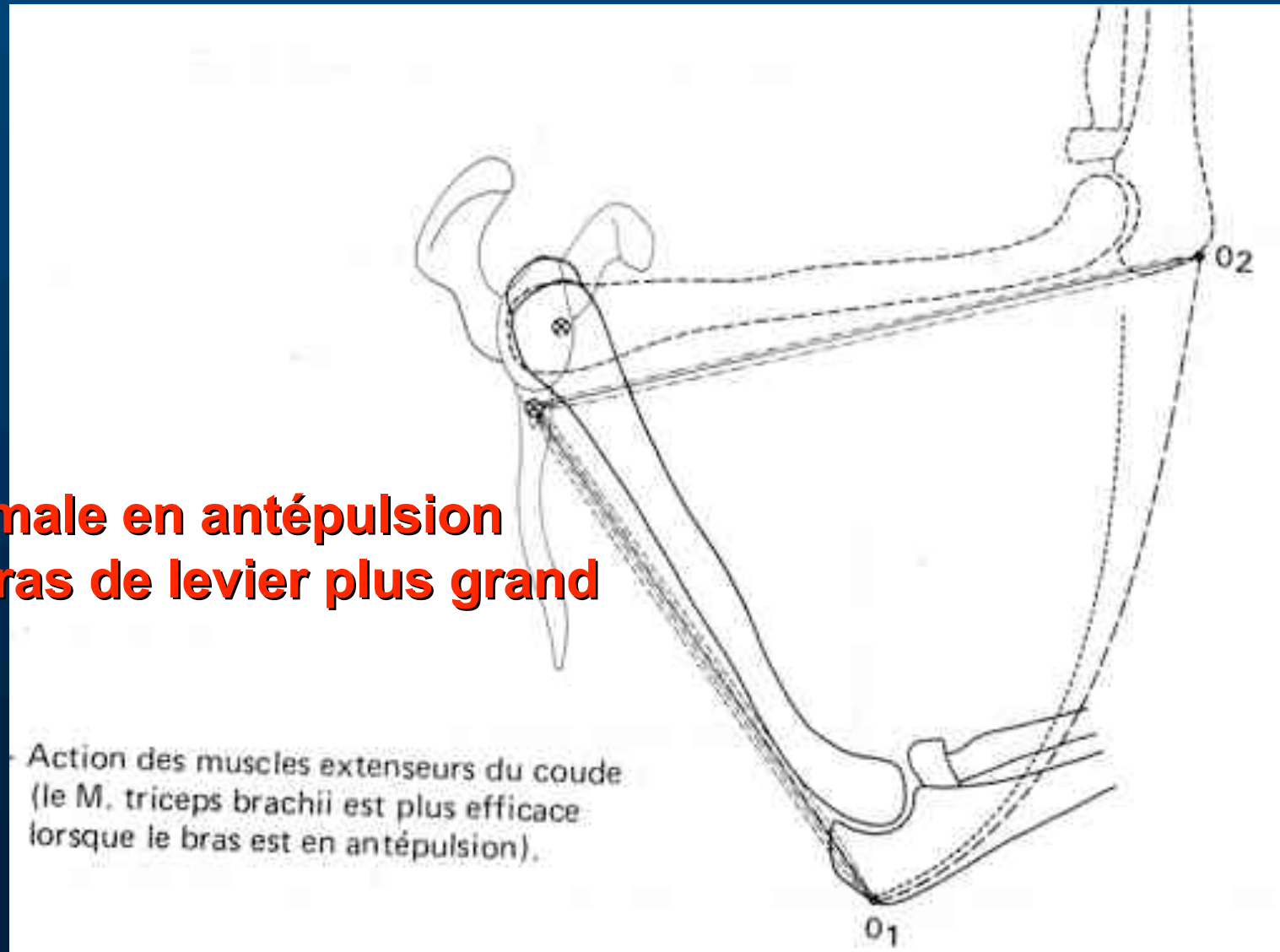
- **3 chefs musculaires du triceps**
- **1 seul tendon terminal sur olécrâne**
- **Triceps est polyarticulaire**

Force du triceps brachial



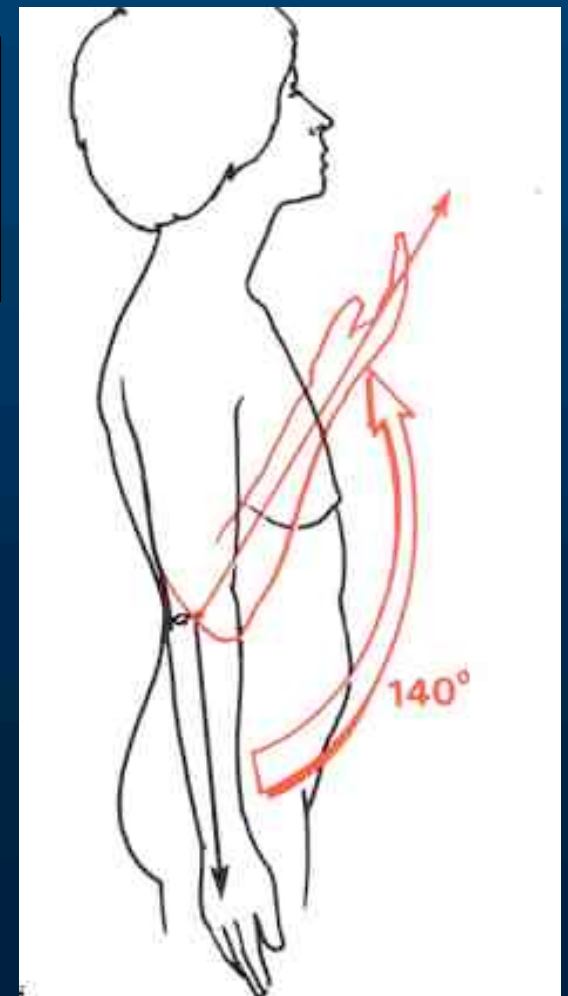
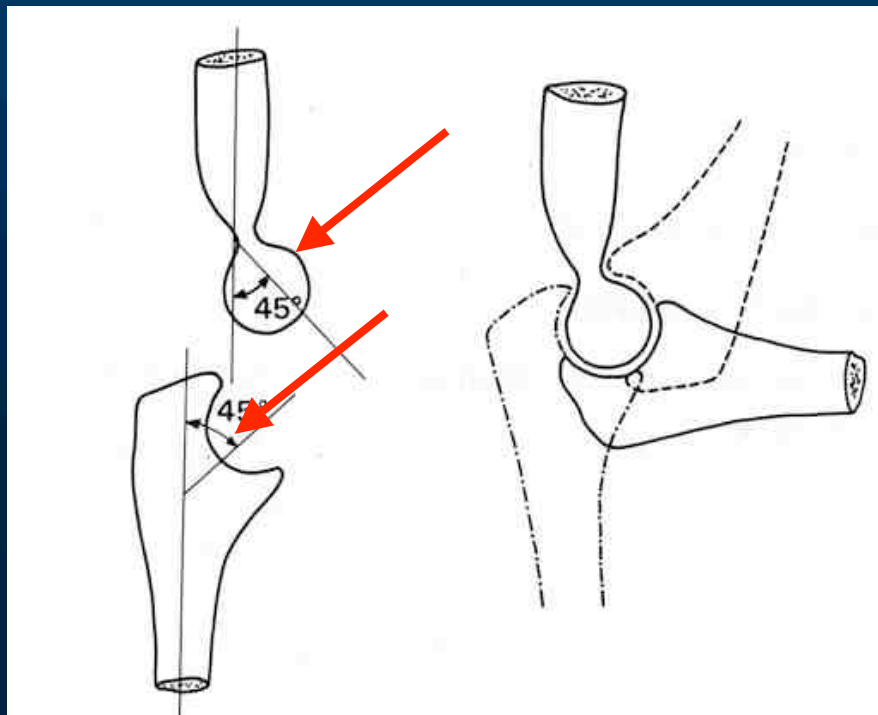
Force du triceps brachial

**Maximale en antépulsion
car bras de levier plus grand**



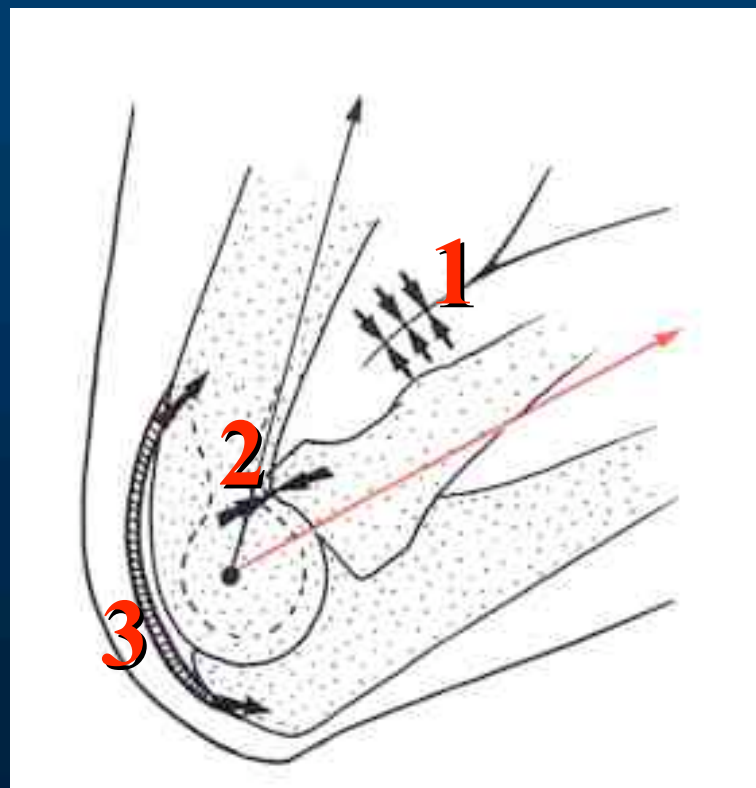
Flexion – extension

- 0° - 140°
- Possible grâce à l'anatomie des pièces osseuses

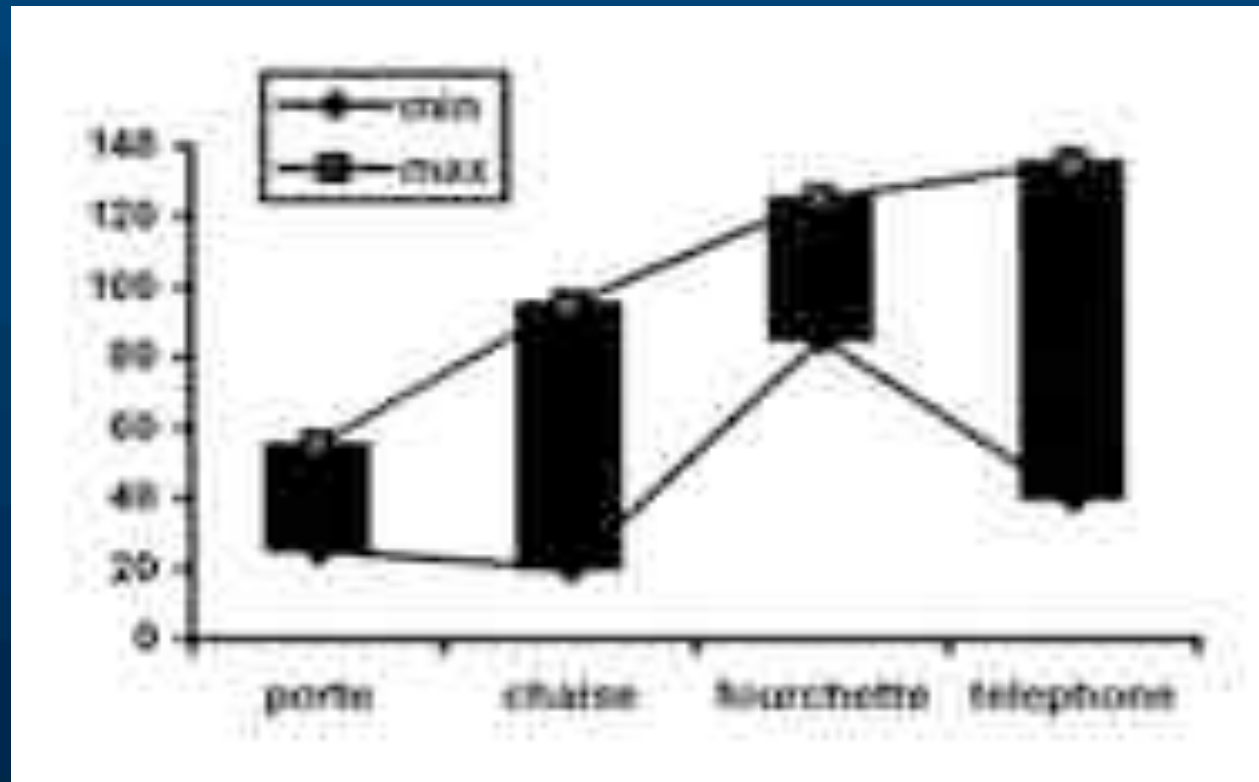


Limites passives à la flexion

- **Contact musculaire**
- **Butée de la tête radiale dans la fossette coronoïde**
- **Tension du plan postérieur de la capsule et des fx postérieurs des ligaments latéraux**



Arc de flexion



Amplitudes utiles (Morrey): 30°-130°

Biomécanique de la prono-supination

Définition

Mécanismes

Mouvements

Muscles moteurs

Définition

- Ensemble des mouvements de l'avant-bras autour de son axe longitudinal, coude fléchi à 90°, qui permet de positionner la paume de la main:
 - Vers le haut = la supination (soulever)
 - Vers le bas = la pronation (prendre)

Mécanismes

- **3 articulations** sont responsables:
 - Radio-cubitale supérieure
 - Radio-cubitale inférieure
 - Huméro-radiale **condylienne**
- Double
trochoïde
inversée**

Mécanismes

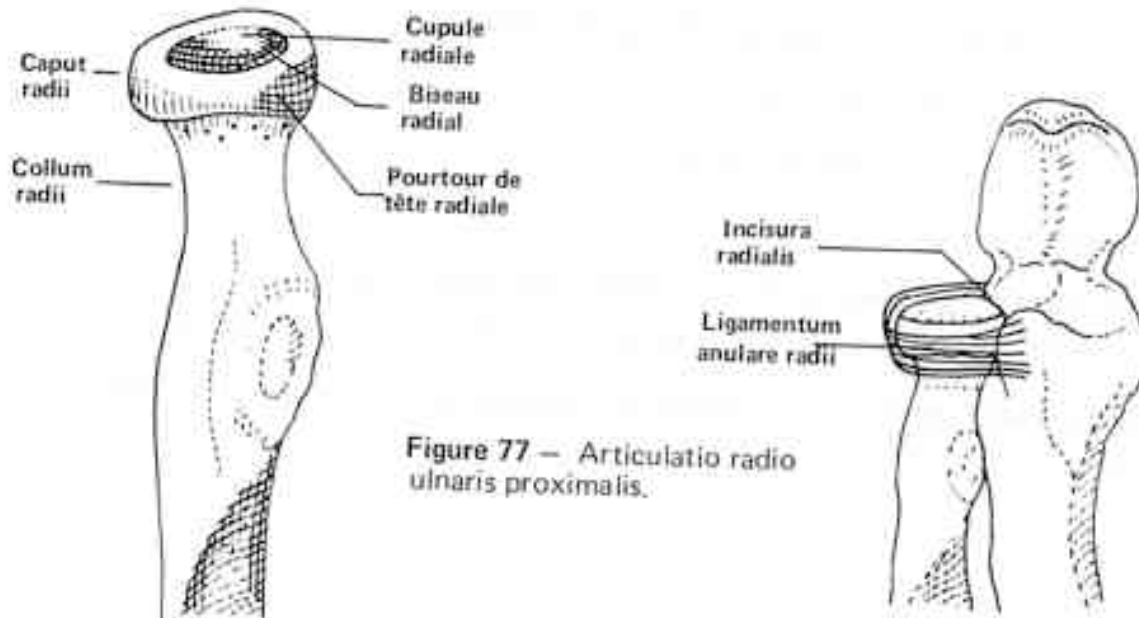
- **Conditions de la prono-supination (DESTOT)**
 - Intégrité anatomique et fonctionnelle des articulations
 - Inégalité relative des 2 os ($R > C$)
 - Conservation de leurs formes
 - Ulna avec discrète convexité postérieure
 - Double courbure du radius
 - Supérieure supinatrice convexe en dedans
 - Inférieure pronatrice convexe en dehors
 - Intégrité de la MIO
 - Bon fonctionnement musculaire
 - Axe du mouvement conservé

Mécanismes

- Mécanique articulaire

1- L'articulation radio-cubitale supérieure

- tête radiale et ses 3 parties:



La cupule

Le pourtour ovoïde

Le biseau

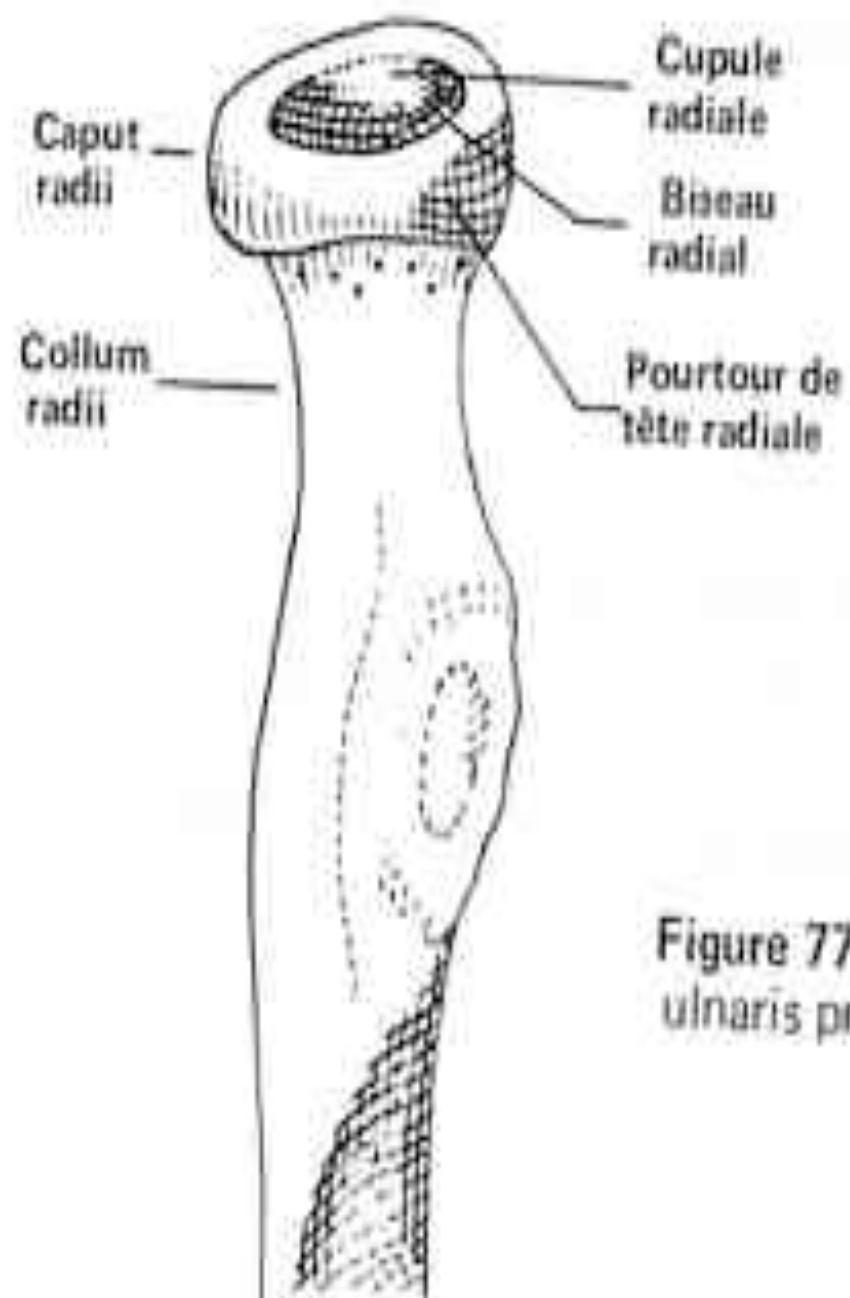


Figure 77 – Articulatio radio ulnaris proximalis.

Mécanismes

● Mécanique articulaire

1- L'articulation radio-cubitale supérieure

- petite cavité sigmoïde du cubitus
- Le ligament annulaire
- Les autres moyens d'union
 - Ligament carré de Dénucé
 - Le ligament latéral externe

Mécanismes

● Mécanique articulaire

1- L'articulation radio-cubitale supérieure

● mouvements de 2 types:

- rotation axiale de la tête dans l'anneau
- décalage de l'axe de rotation de la Supination vers la Pronation car la tête n'est pas ronde mais ovoïde

cela permet d'écartier les 2 os et donc d'autoriser le passage de la tubérosité bicipitale de l'arrière vers l'avant lors de la supination

SUPINATION



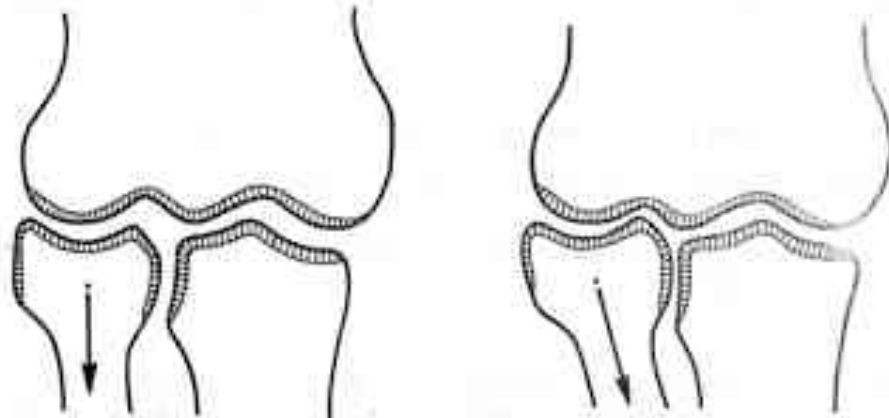
PRONATION



VUE ANTERIEURE



COUPE TRANSVERSALE

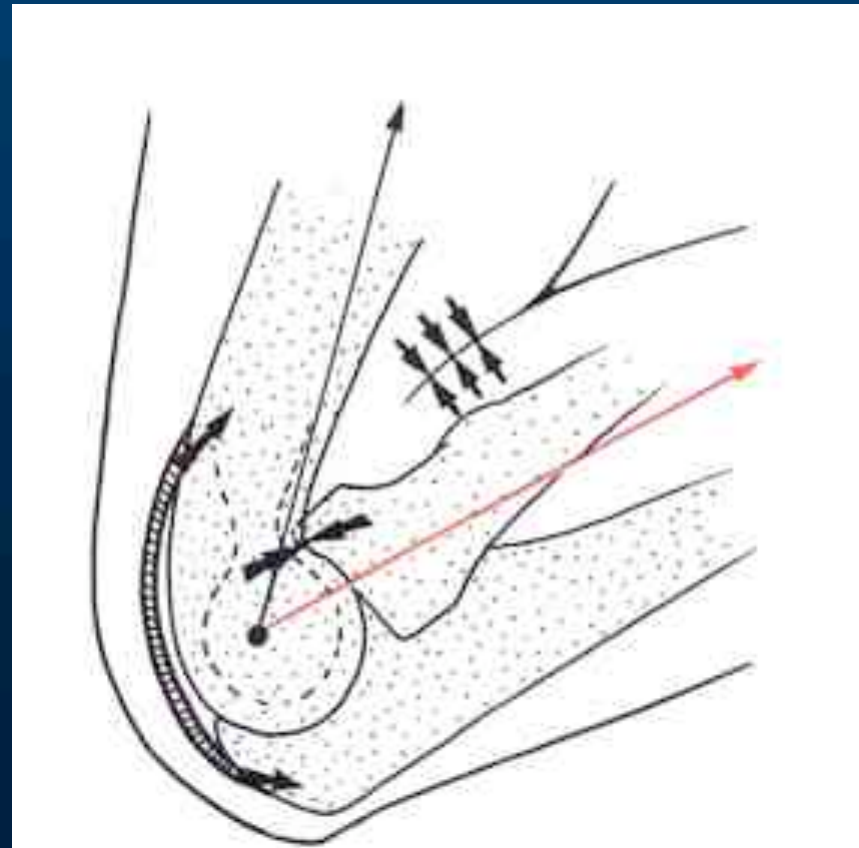


COUPE FRONTALE

Mécanismes

- Mécanique articulaire

- 2- L'articulation huméro-radiale



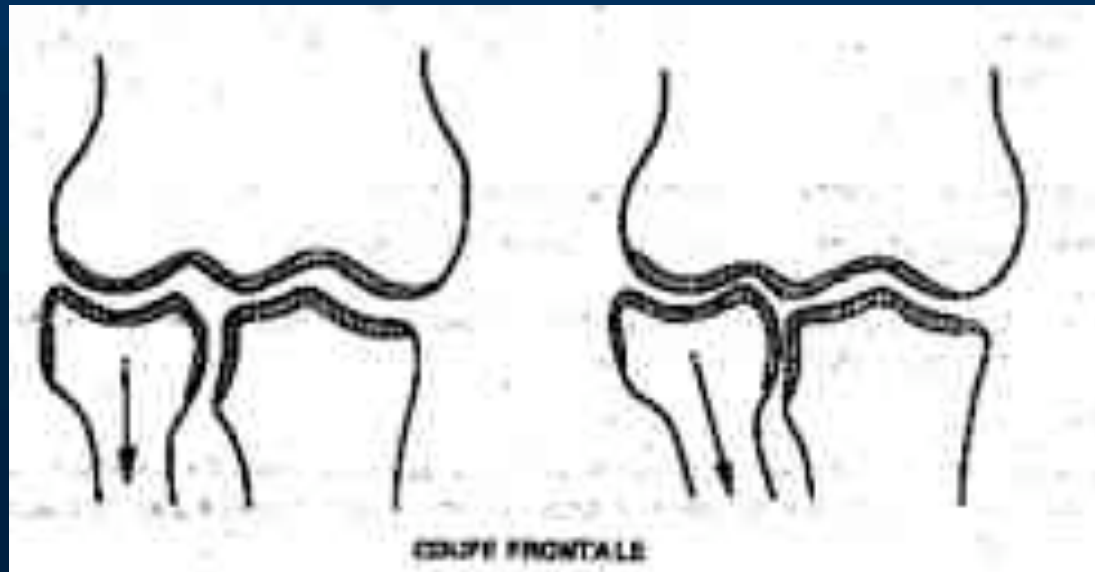
Mécanismes

- Mécanique articulaire

2- L'articulation huméro-radiale

- 3 types de mouvement:

- Rotation du radius sur le condyle (plan sagittal) en F-E
- Rotation axiale du radius (sur lui-même)
- Rotation frontale (bascule du biseau sur la zone conoïde)

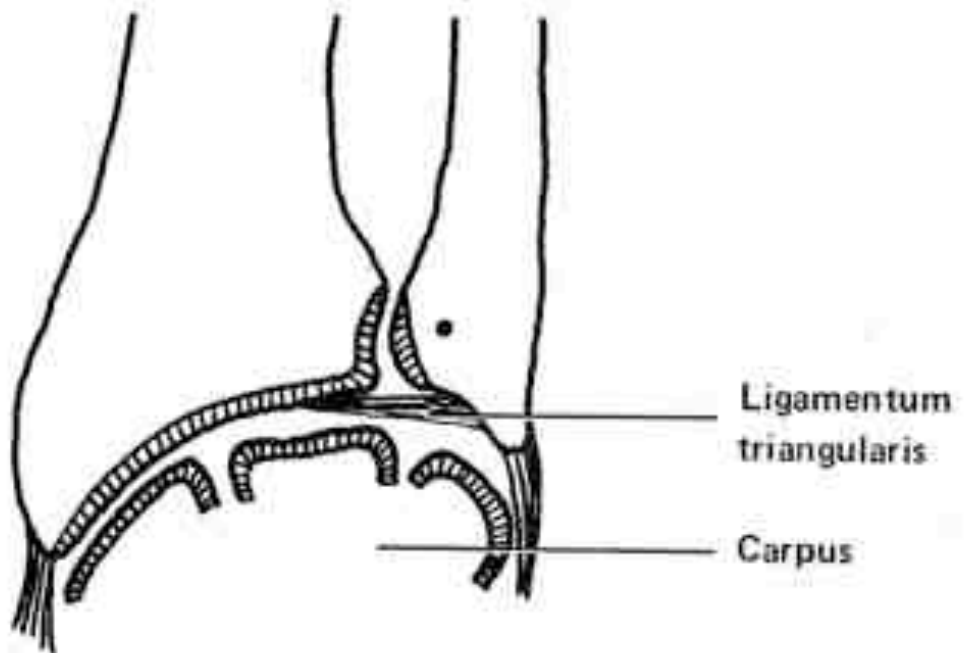
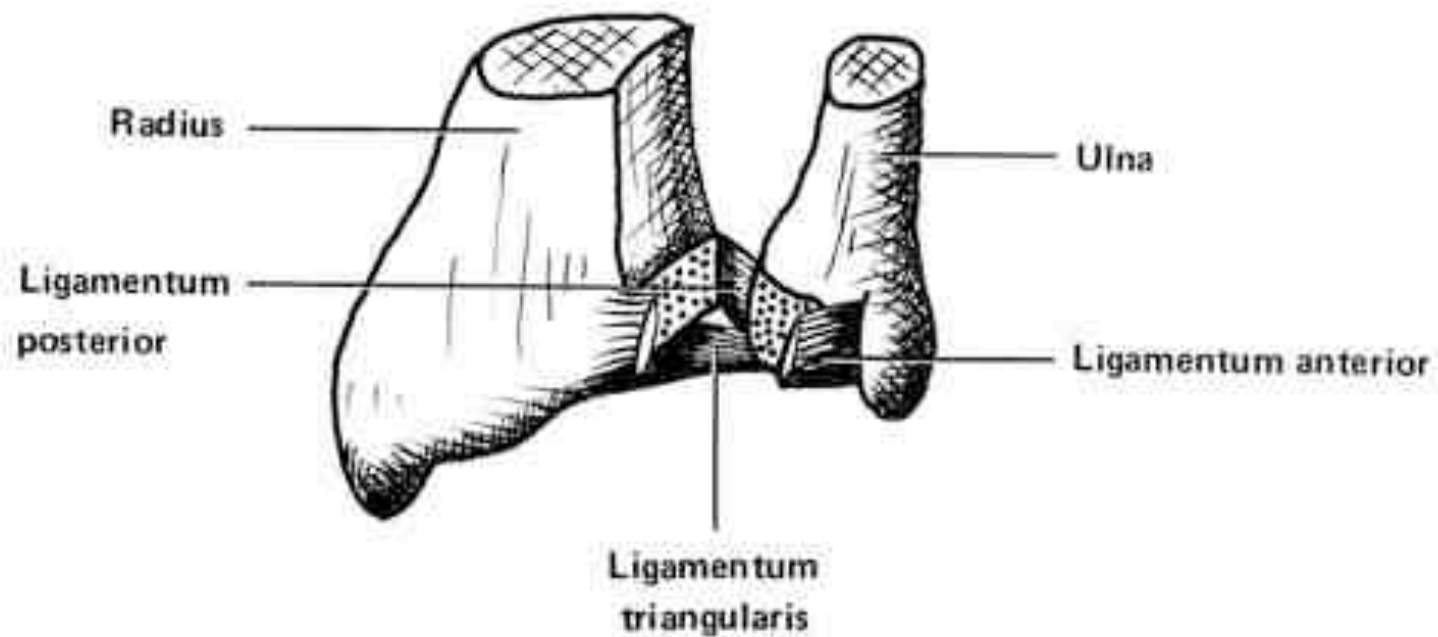


Mécanismes

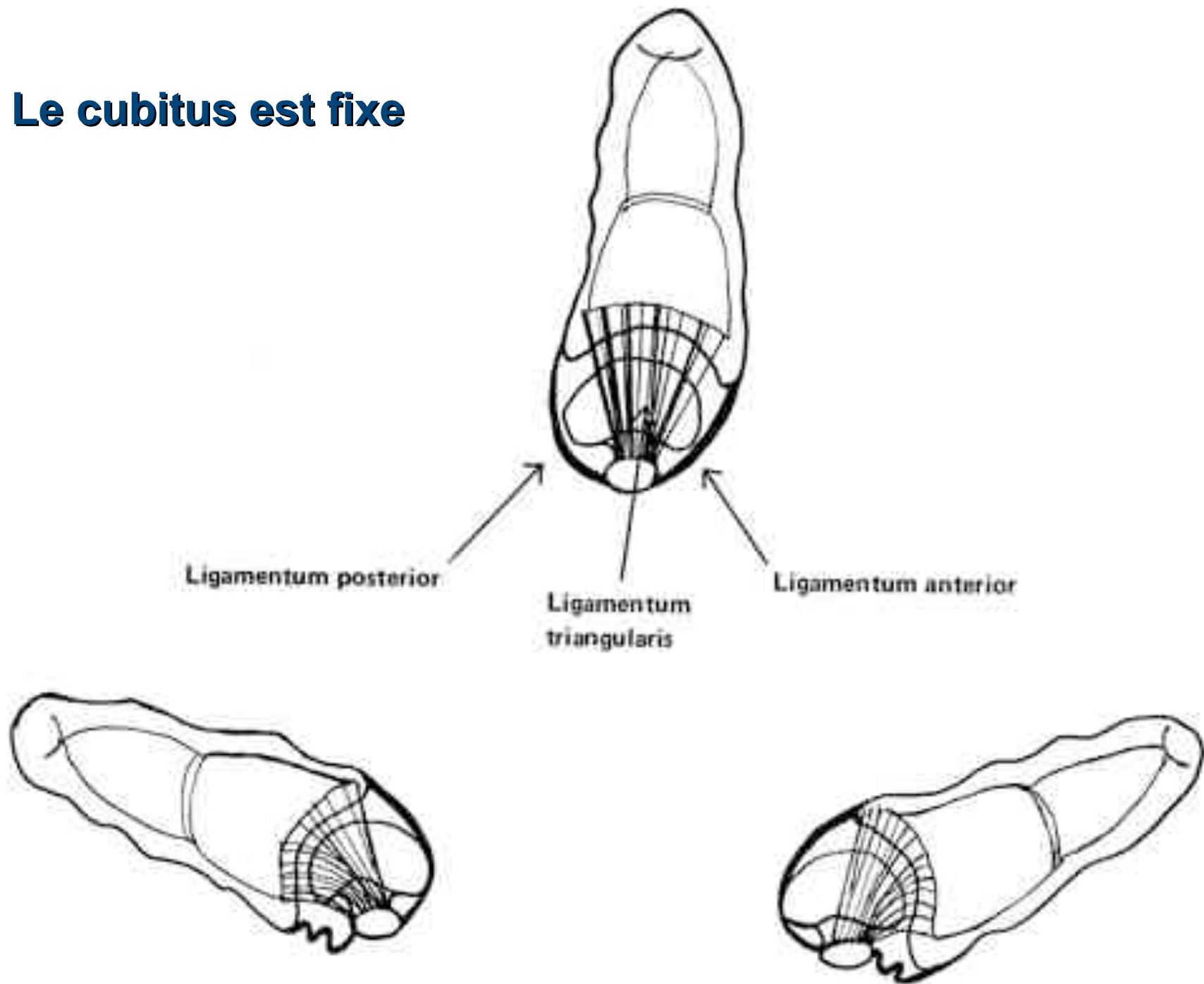
- **Mécanique articulaire**

- 3- L'articulation radio-cubitale inférieure

- tête de l'ulna (segment de cylindre)
 - petite cavité sigmoïde du radius (concave d'Av en Arr)
 - ligament triangulaire (discus articularis)
 - Participe à la contention radio-cubitale inférieure
 - Surface articulaire avec ½ lunaire et pyramidal
 - ligaments antérieur et postérieur



Le cubitus est fixe

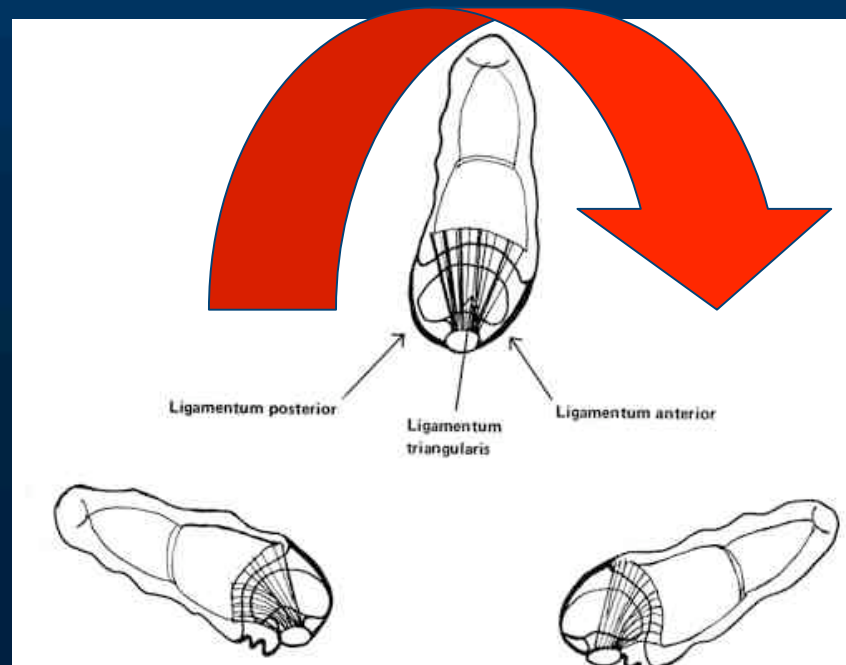


Mécanismes

- Mécanique articulaire

- 3- L'articulation radio-cubitale inférieure

- translation circonférentielle du radius autour du cubitus

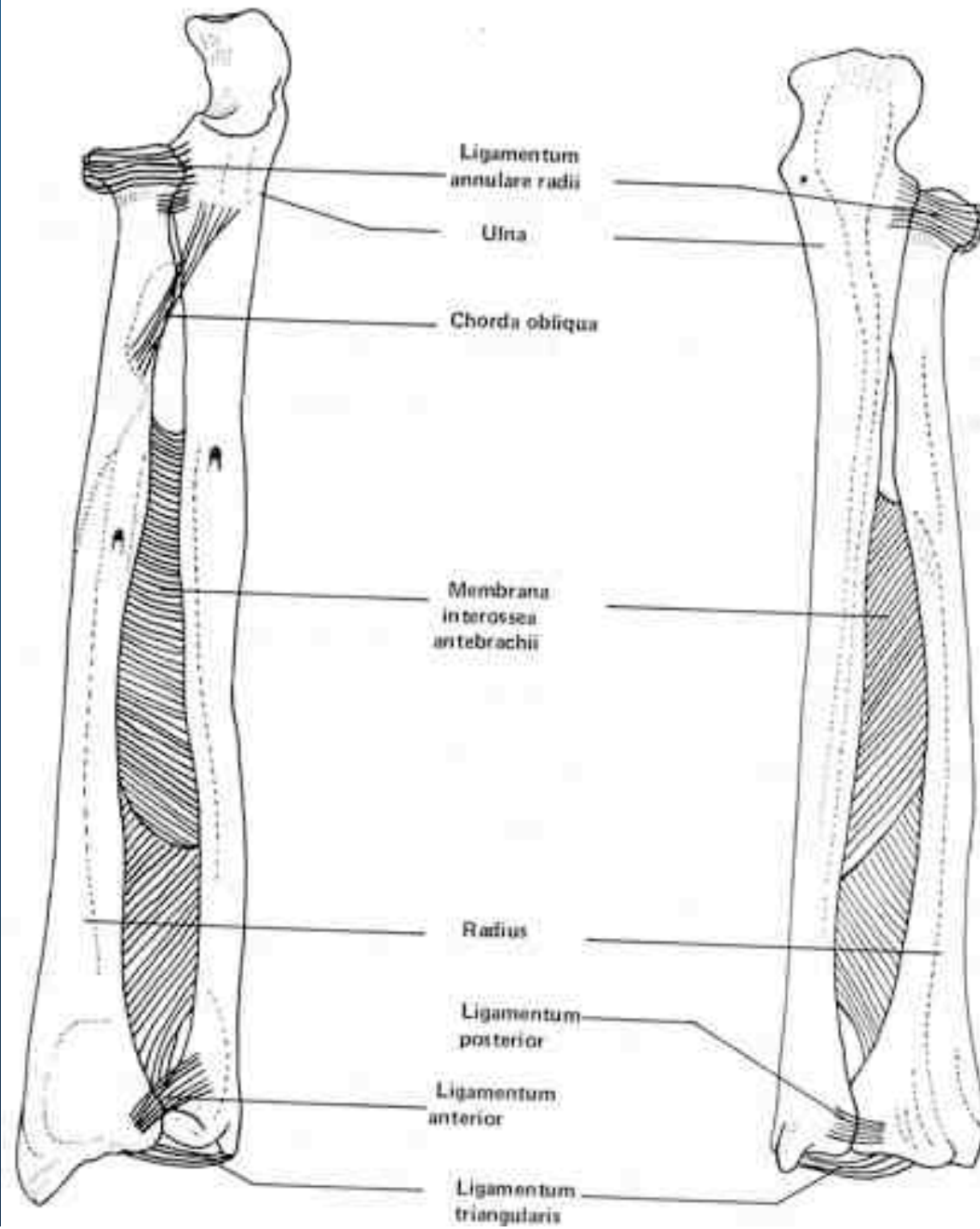


Mécanismes

- **Mécanique articulaire**

- 4- **La membrane inter-osseuse**

- très résistante
 - faisceaux de fibres à 45° = piston impossible entre R et C
 - corde de Weitbrecht
 - transmission des forces de pression axiales
de la main à l'humérus
 - frein à la supination car tension maximale en supination



Mécanismes

- Mécanique articulaire

au total, la double trochoïde inversée permet une rotation du radius autour de l'ulna, la butée des 2 pièces osseuses étant évitée par la courbure pronatrice du radius et le caractère ovoïde de la tête radiale

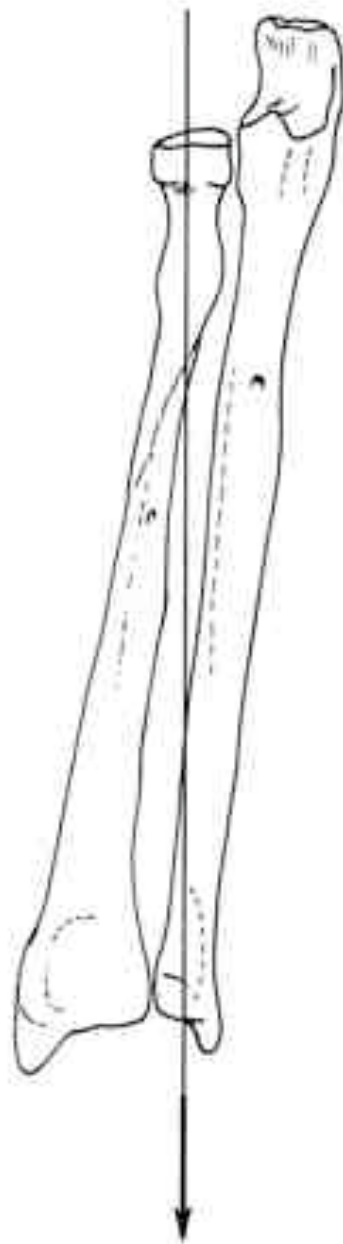
Mouvements

- **Axe de la prono-supination**
 - Cubitus fixé
 - Extrémité supérieure du radius en rotation axiale
 - Extrémité inférieure décrit un arc de cercle

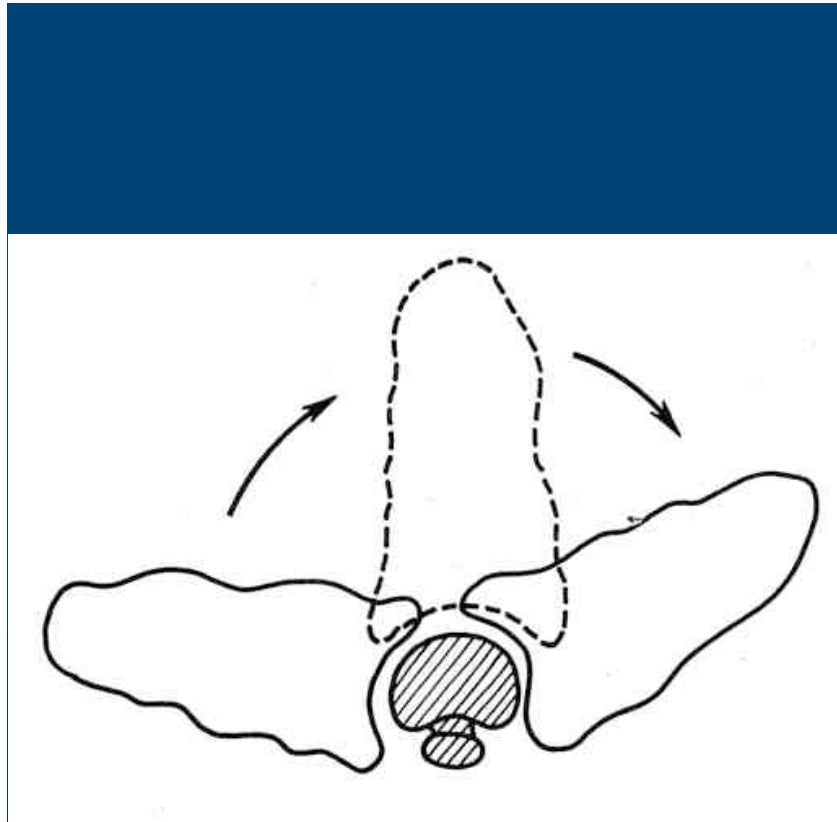
**L'AXE PASSE PAR LE CENTRE
DES TÊTES RADIALES et CUBITALES
mais varie selon position du coude**



OS METACARPALE V

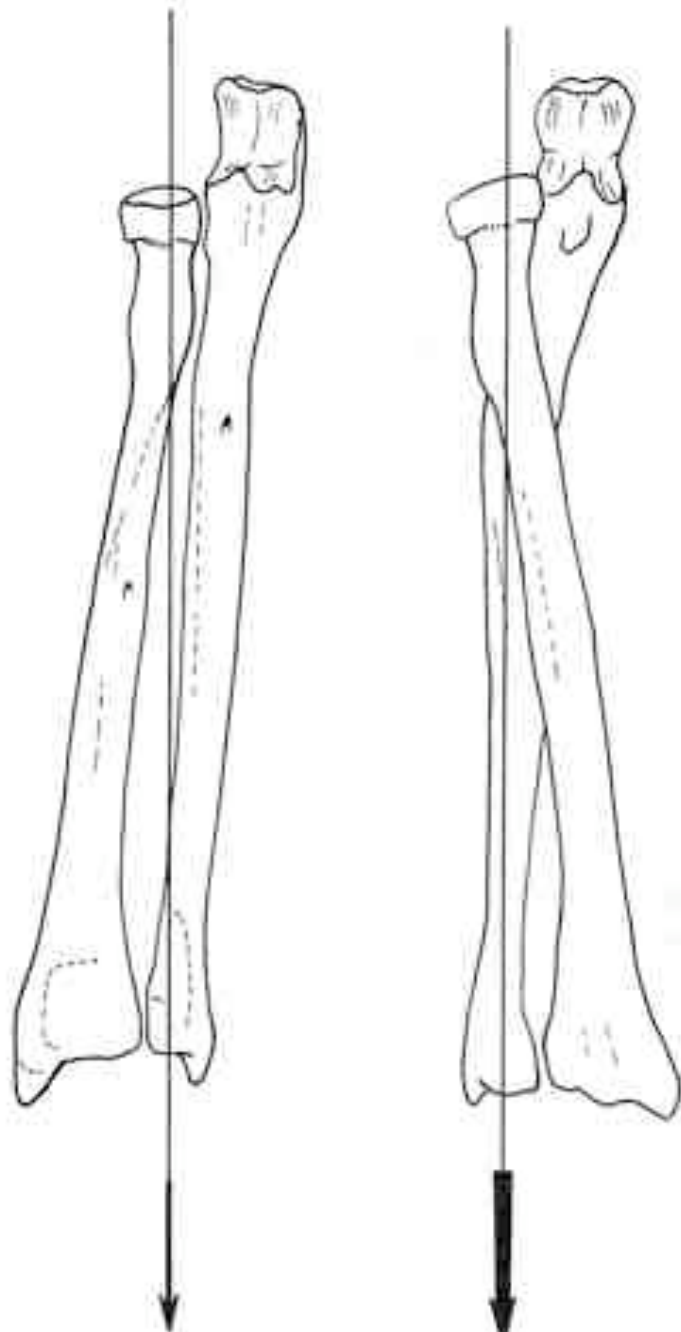


OS METACARPALE V



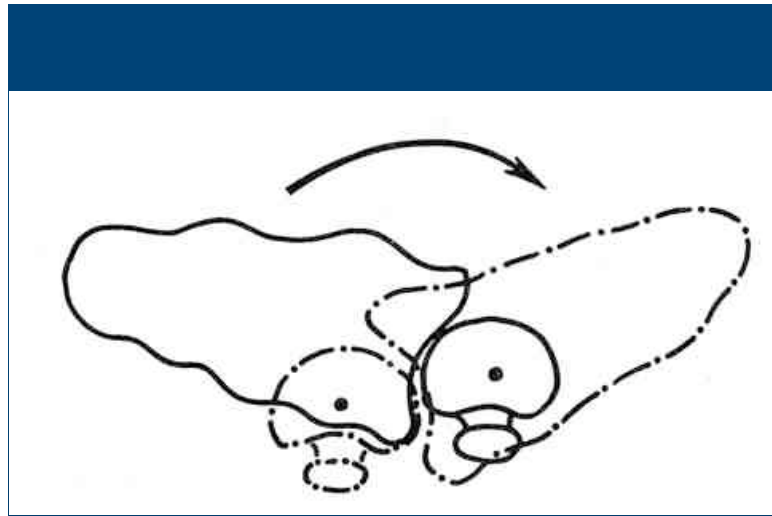
Coude en extension – cubitus fixe

Centre des 2 têtes – 5ème métacarpien



OS METACARPALE V

OS METACARPALE III



Coude en flexion – cubitus mobile

Axe passe par IIIème métacarpien
qui est axe de la main: geste de vissage
ou tourner une clef

Mouvements

- **amplitudes de la prono-supination**
 - Position intermédiaire: position fonctionnelle de la main (prise d'un verre)
 - Position finale: position de la paume de la main
 - valeurs comparatives droite gauche:
 - supination 80 à 90°
 - pronation 60 à 80°

Mouvements

- **la supination**

- Position finale: paume de la main vers le haut et pouce vers le dehors si coude fléchi
- valeurs **80° si coude en extension, 90° si en coude en flexion**
- limitation par:
 - tension de la MIO
 - tension du ligament carré de Dénucé
 - tension du ligament triangulaire
 - tension du ligament antérieur de l'ARC inférieure

Mouvements

- **la pronation**

- **Position finale: paume de la main vers le bas et pouce vers le dedans**

- **valeurs 60° si coude en extension
80° si coude en flexion**

- **limitation par:**

- **butée du radius sur la tête et styloïde cubitale**

- **tension du ligament carré de Dénucé**

- **tension du ligament triangulaire**

- **tension du ligament postérieur de l'ARC inférieure**

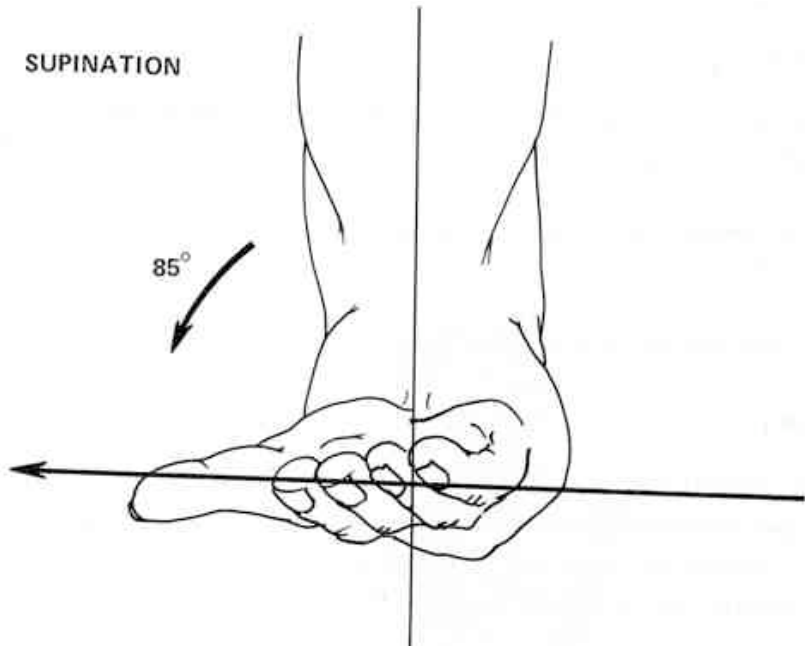
La MIO est détendue en pronation complète

Mouvements

- **Au total**

- Amplitude complète de 160° (140 à 170°)
- Amplification par certains mouvements de la scapulo-humérale:
 - **Rotation interne ou externe: total de 270°**
 - **Abduction-adduction si coude fléchi à 90° (total de 200°)**

SUPINATION

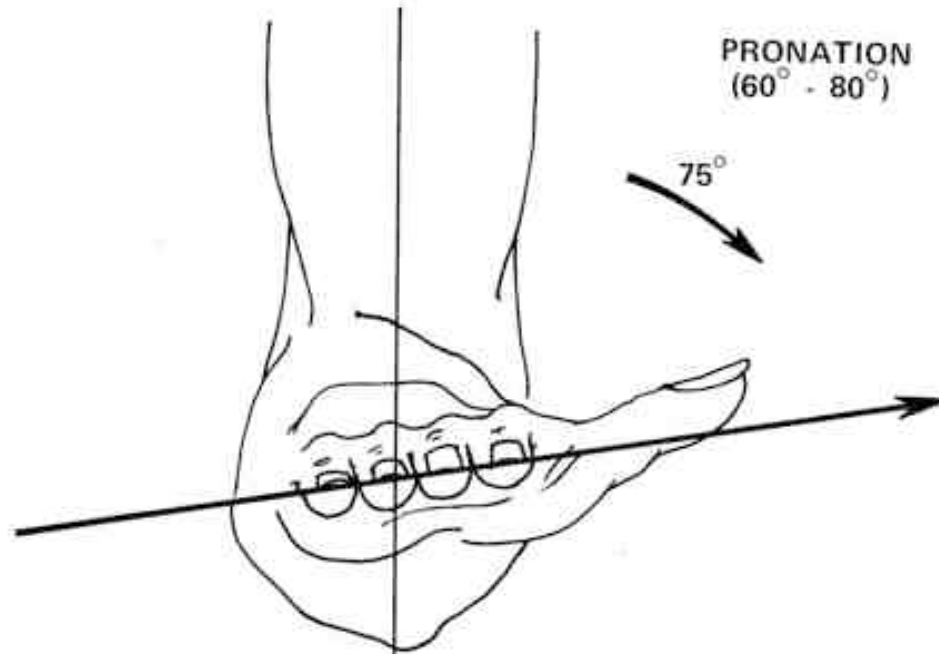


POSITION



INTERMEDIAIRE

PRONATION
(60° - 80°)



Muscles pro-supinateurs

- Muscles moteurs pour chaque mouvement
 - muscles supinateurs
 - muscles pronateurs

MUSCLES SUPINATEURS

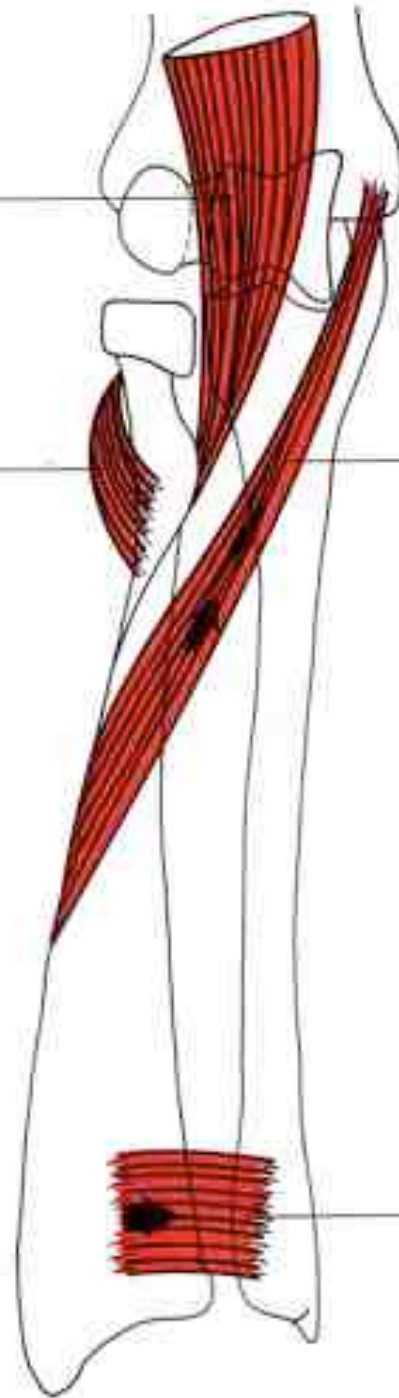
MUSCLES PRONATEURS

M. biceps brachii

M. supinator

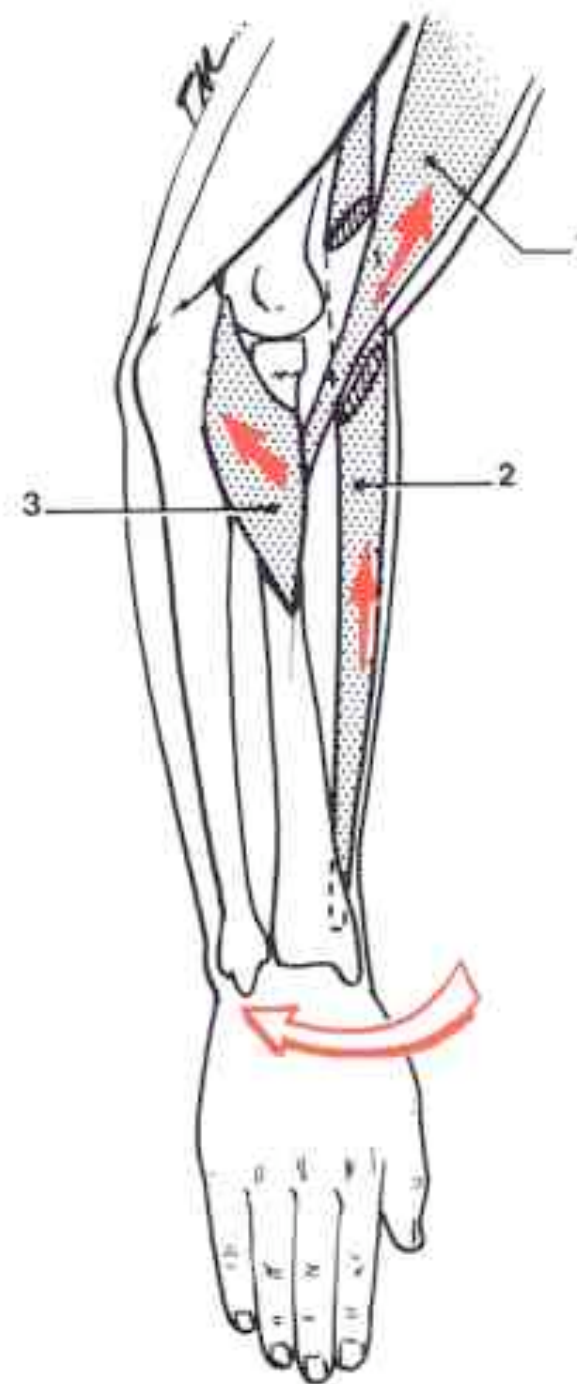
M. pronator teres

M. pronator quadratus



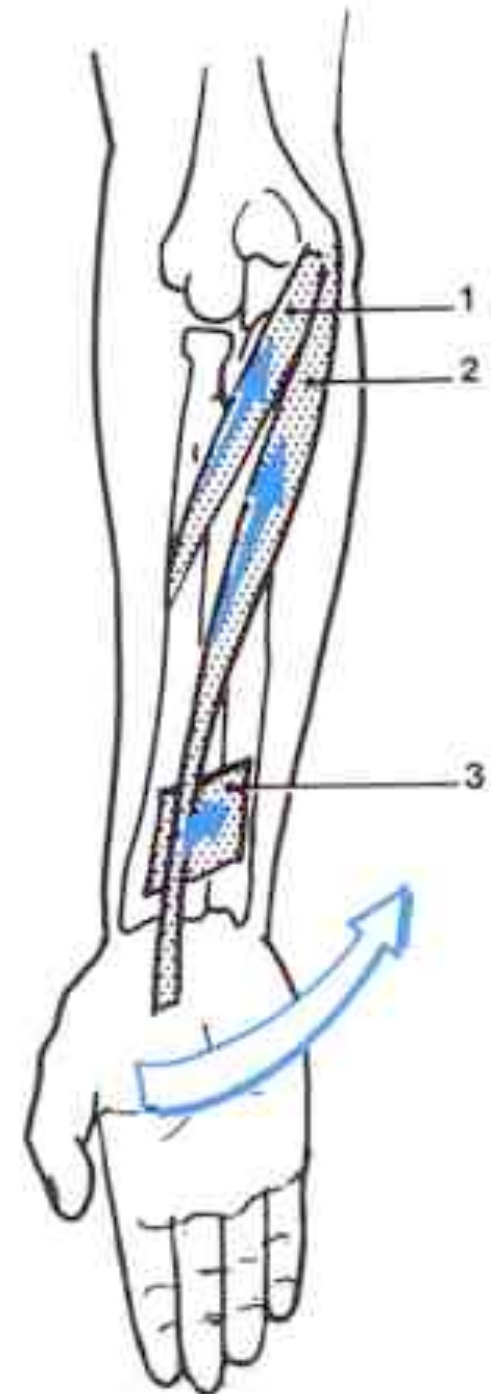
Muscles supinateurs

- **1 – Biceps brachial +++**
 - 2 chefs
 - Innervé par le MC
 - Contraction
 - Place la tubérosité bicipitale en avant et en dedans
 - Action flexion du coude
- **2 – Long supinateur**
 - Innervé par radial
 - Plus fléchisseur du coude que supinateur
- **3 – Court supinateur ++**
 - Innervé par le radial
 - Contraction:
 - rotation externe de l'Ext. Sup. du radius
 - Donc rot. Ext. Amplifiée de l'Ext.Inf. du radius



Muscles pronateurs

- **1- Rond pronateur +++**
 - Épitrochléen
 - Innervé par médian
- **2- Grand Palmaire**
 - Plus fléchisseur que pronateur
 - Innervé par médian
- **3- Carré pronateur ++**
 - Innervé par médian



Conclusions

- **La pro-supination s'intègre dans la fonction de préhension du membre supérieur**
 - **Main à la bouche: association PS et flexion du coude**
- **système mécanique précis (conditions de Destot)**