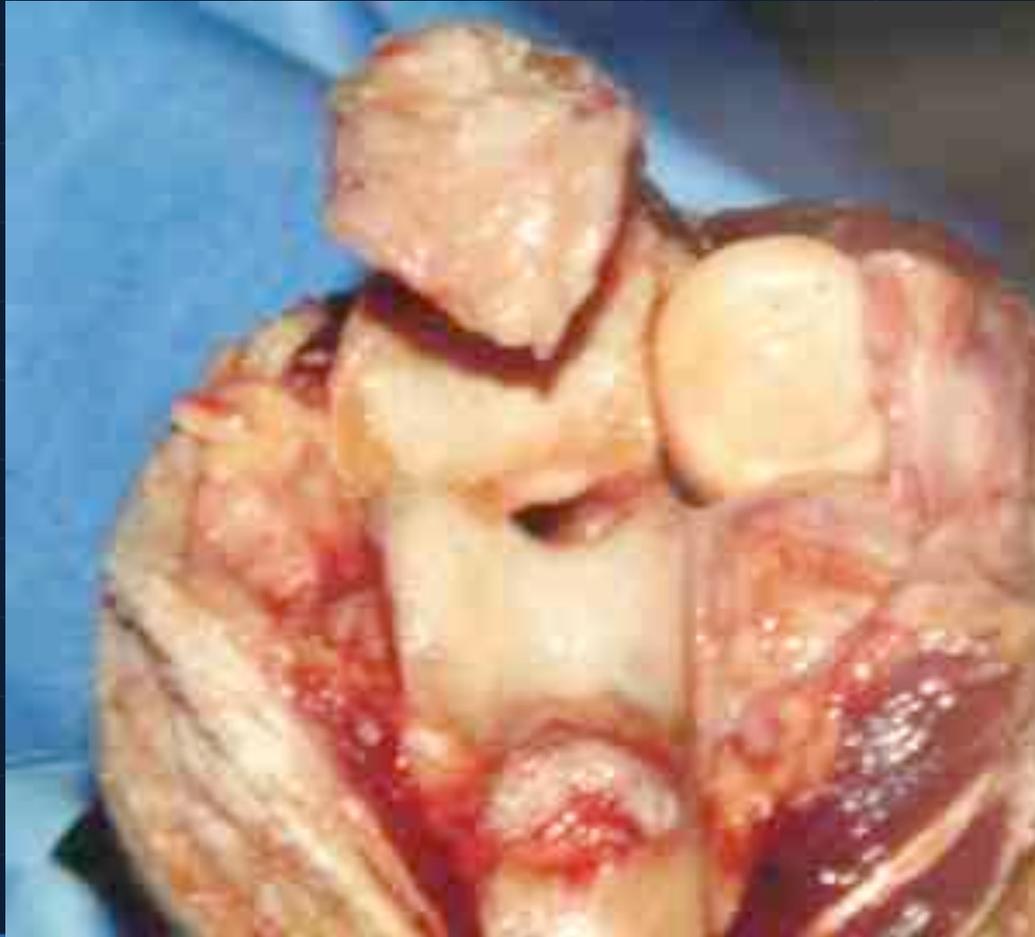


Anatomie, Physiologie et Biomécanique du coude



Christian Dumontier

Institut de la Main & Hôpital Saint Antoine, Paris

Rappel anatomique

Le coude: la seule articulation mono-axiale a 2 fonctions = flexion/extension et pronosupination

- **Structures osseuses et articulaires**
- **Structures capsulo-ligamentaires**
- **Structures musculaires**
- **Éléments vasculo-nerveux**

Structures ostéo-articulaires

- Humérus
- Ulna
- Radius



Structures ostéo-articulaires

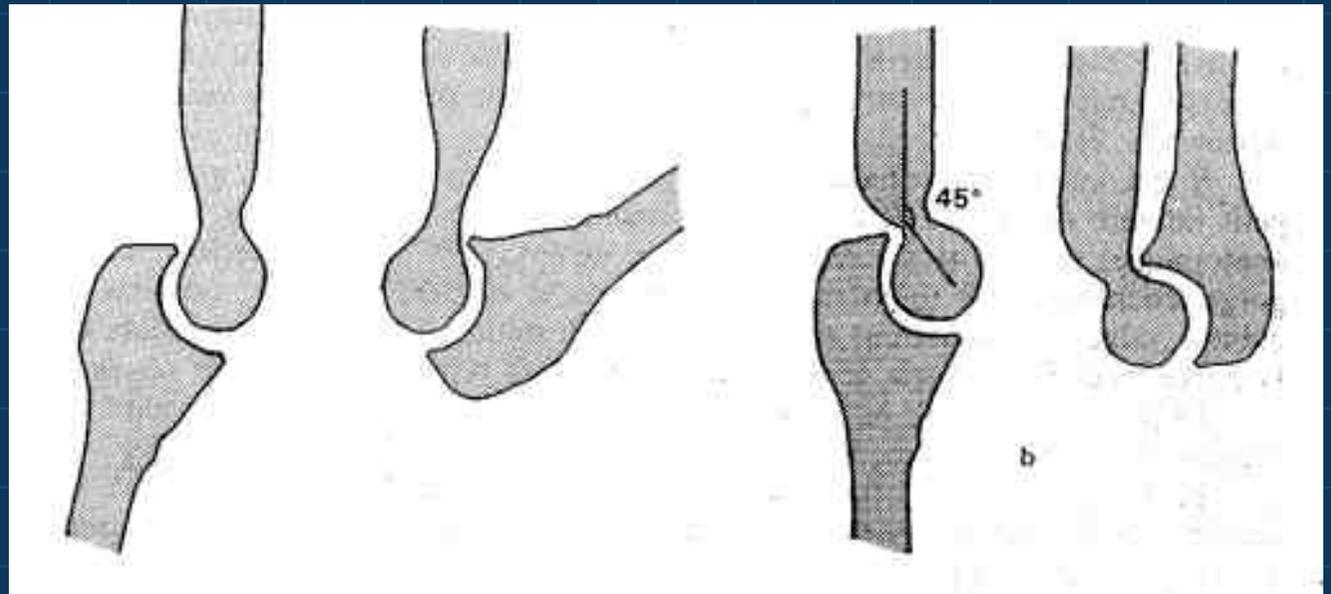
- **Humérus**

- 2 Colonnes, 2 apophyses d'insertions musculaires

- 1 trochlée, déjetée en avant

- **Ulna**

- **Radius**





**Les piliers
délimitent un
espace libre**



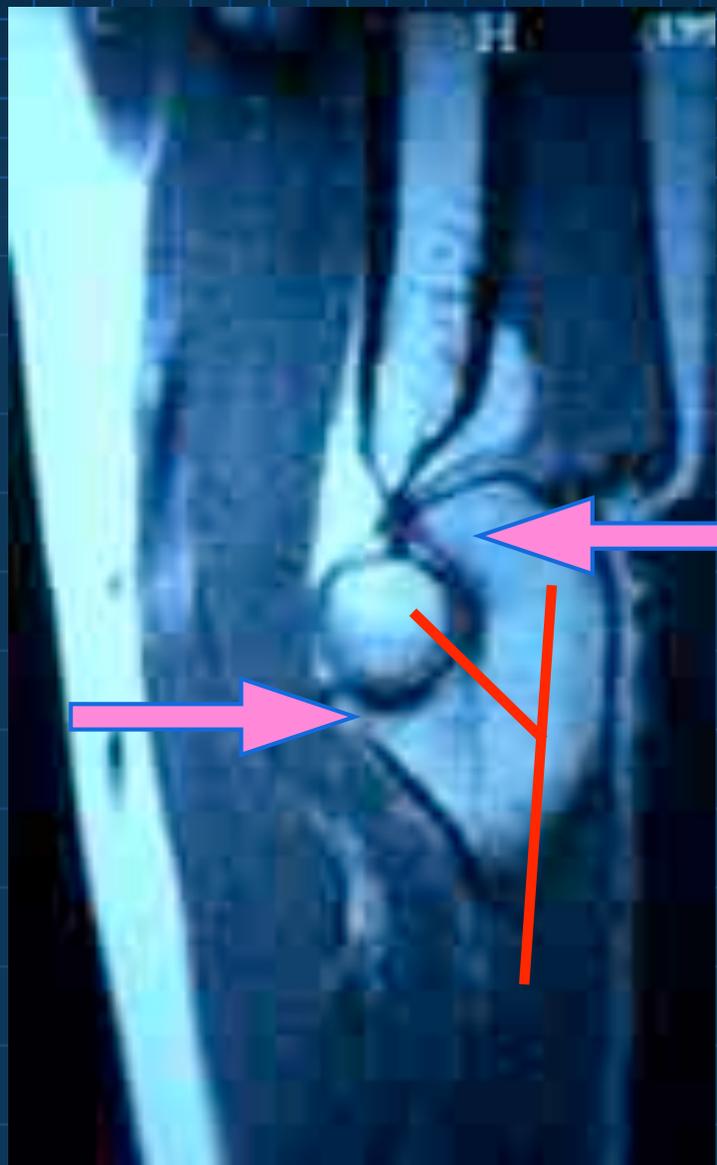




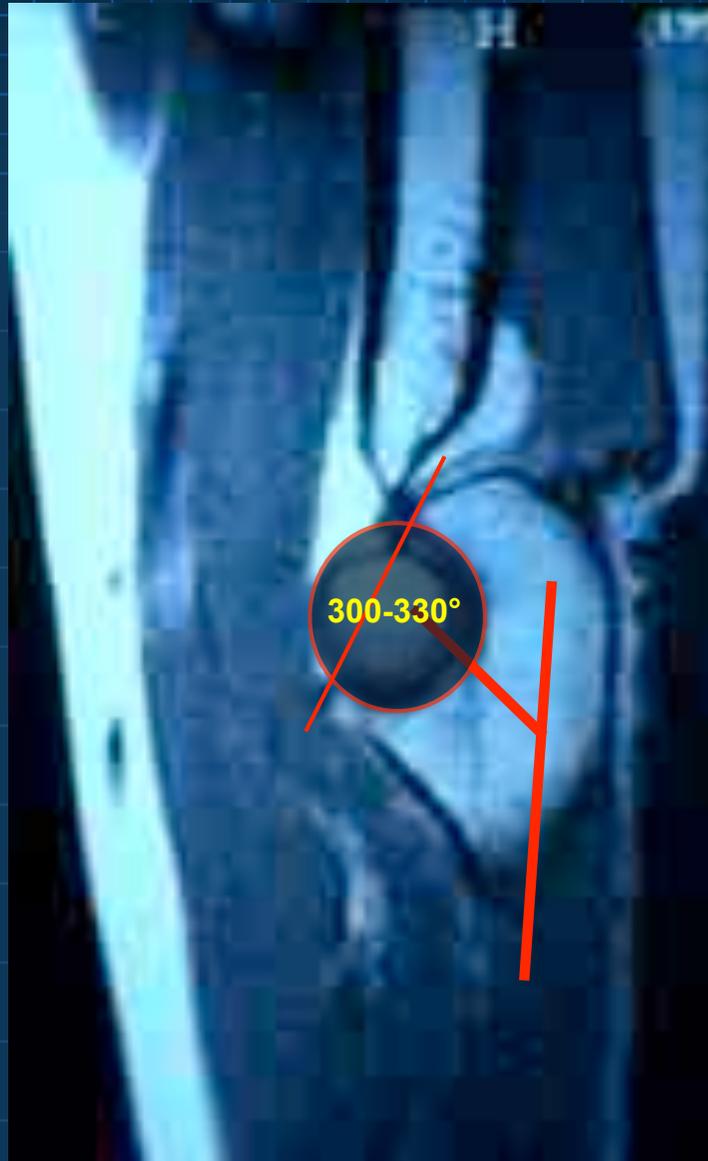
La perte du déjètement vers l'avant de la trochlée entraîne une limitation automatique de la flexion du coude

Structures ostéo-articulaires

- **Humérus**
- **Ulna**
 - 1 bec olécranien qui verrouille le coude en extension
 - 1 bec coronoïdien qui verrouille le coude en flexion
 - Une articulation trochléo-olécranienne presque congruente
- **Radius**



Orientation de 30° vers l'arrière



**Orientation de 30° vers l'arrière
Valgus physiologique de 4°**



L'inclinaison de 4° de l'extrémité supérieure de l'ulna, ajoutée à l'orientation de la trochlée entraîne un angle d'inclinaison physiologique

L'angle d'inclinaison physiologique varie, en extension du coude de 10 à 20° selon le sexe

Cette orientation permet d'éloigner l'avant-bras du corps

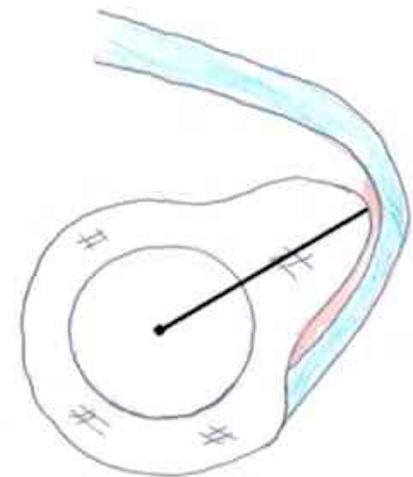
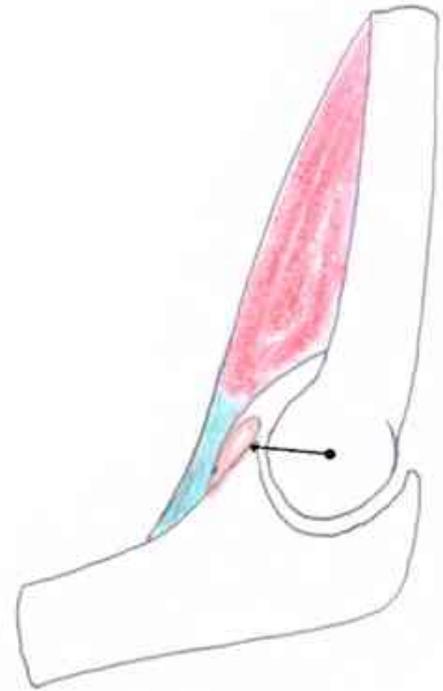
Structures ostéo-articulaires

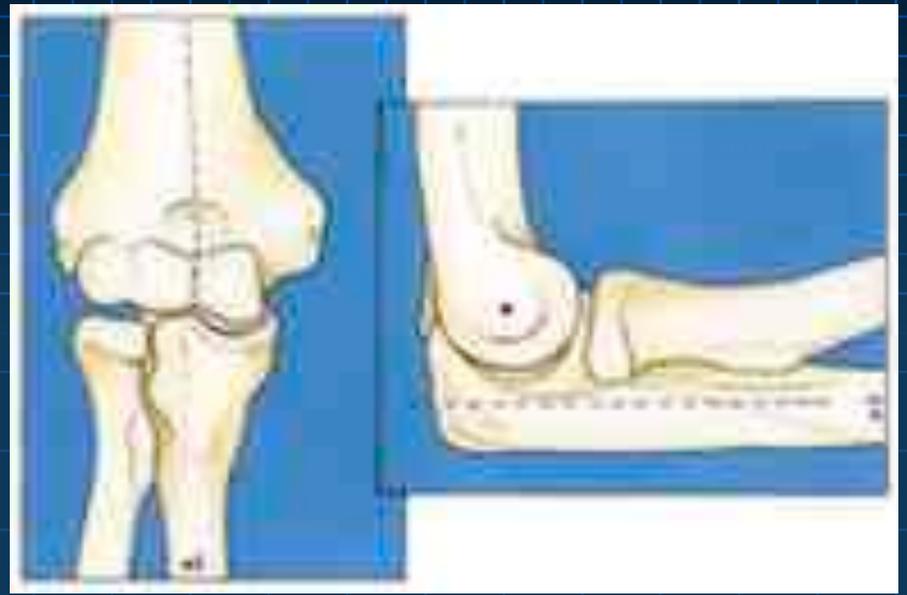
- **Humérus**
- **Ulna**
- **Radius**
 - Orientation à 15° du col du radius
 - Permet une rotation de "180°" de l'avant-bras



Les tubérosités

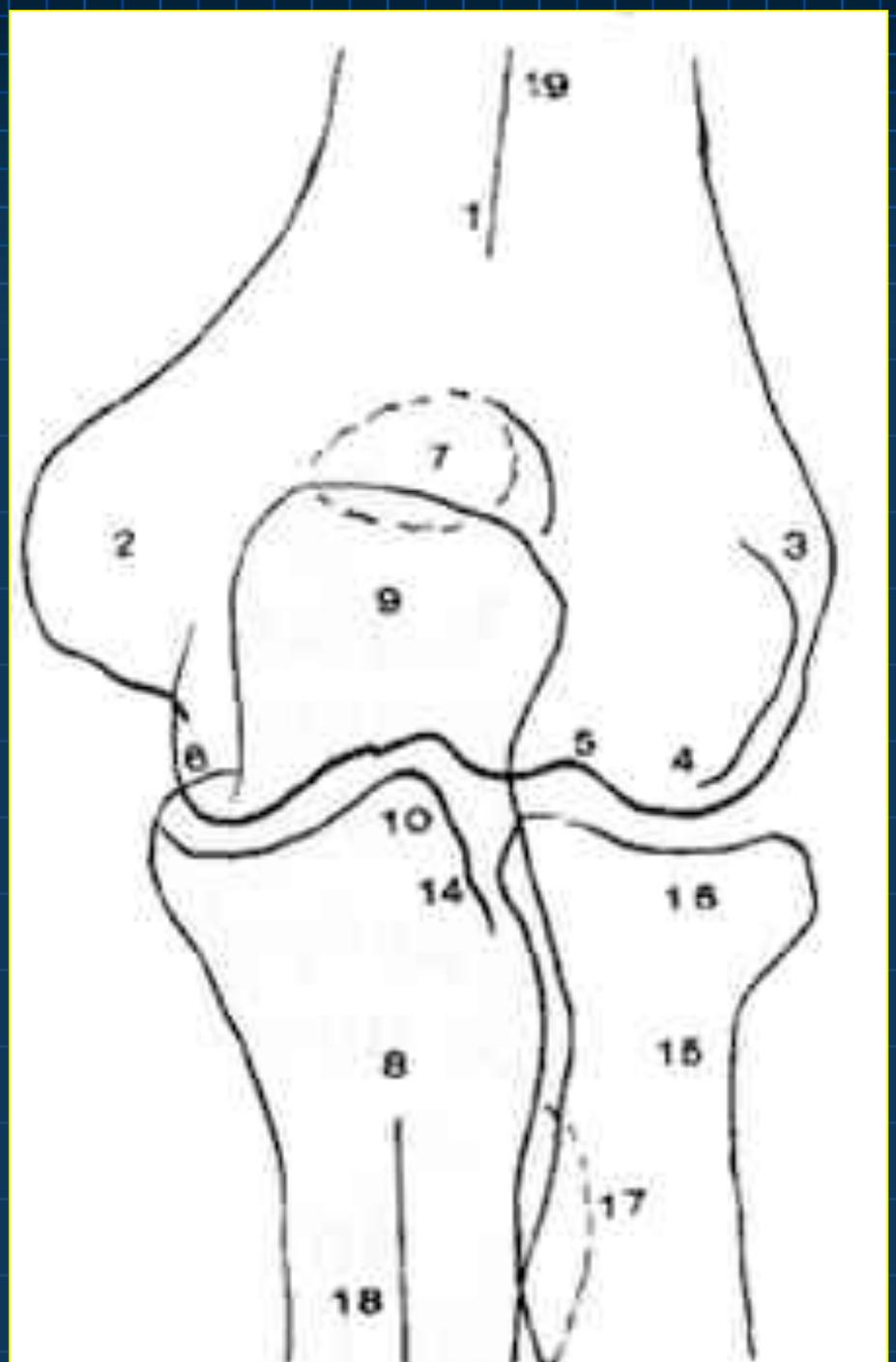
- Les tubérosités sont des poulies de réflexion
- Qui permettent d'augmenter le bras de levier des muscles
- Il existe des bourses séreuses autour de ces poulies (ex biceps)



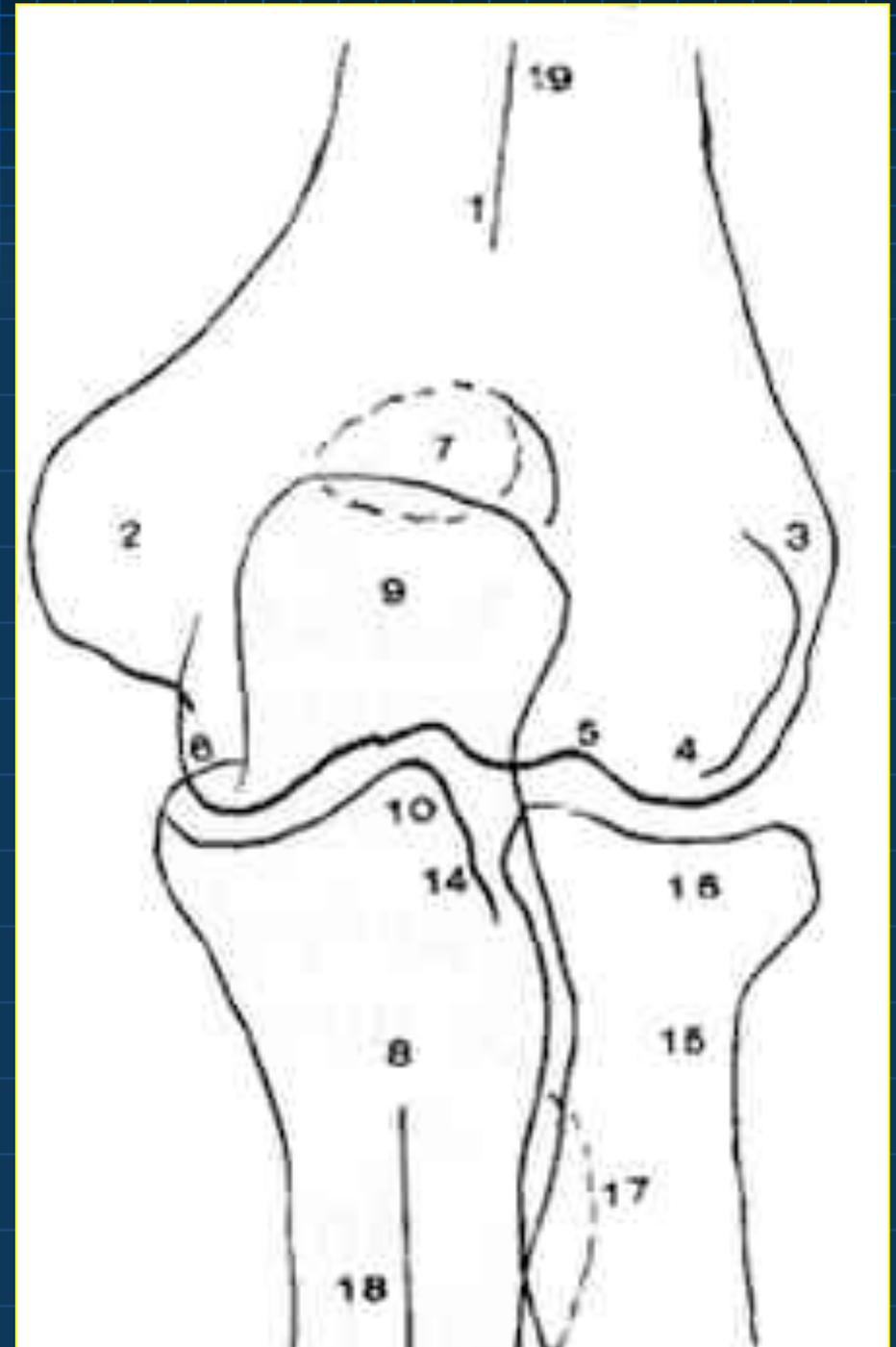


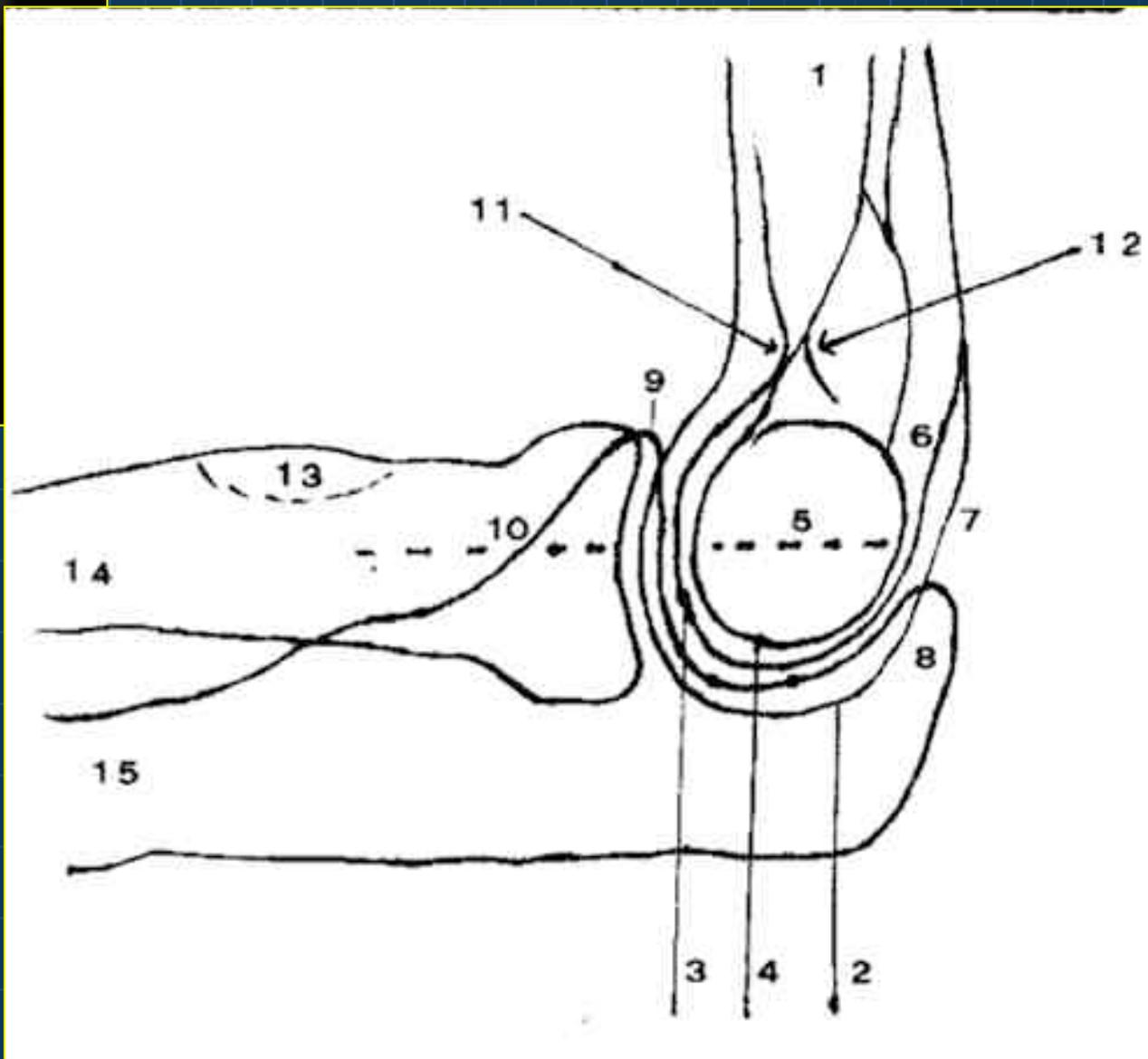
Qui est quoi ?





- 1 = humérus 2 = Epitrochlée
- 3 = épicondyle 4 = Bord externe du capitulum
- 5 = incisure capitelo-trochléenne
- 6 = Bord interne de la trochlée
- 7 = fossettes olécranienne et coracoïdienne
- 8 = Ulna 9 = Olécrane
- 10 = Coronoïde
- 14 = Bord médial de la radioulnaire proximale
- 15 = Col et 16 = tête du radius
- 17 = tubérosité du radius
- 18: axe de l'ulna





○ 1 = Humérus 2 = Contour de l'épitrôchlée

○ 3 = Trochlée humérale

○ 4 = Contour de l'épicondyle

○ 5 = Capitulum

○ 6 = épicondyle 7 = épitrôchlée

○ 8 = olécrane 9 = Coronoïde

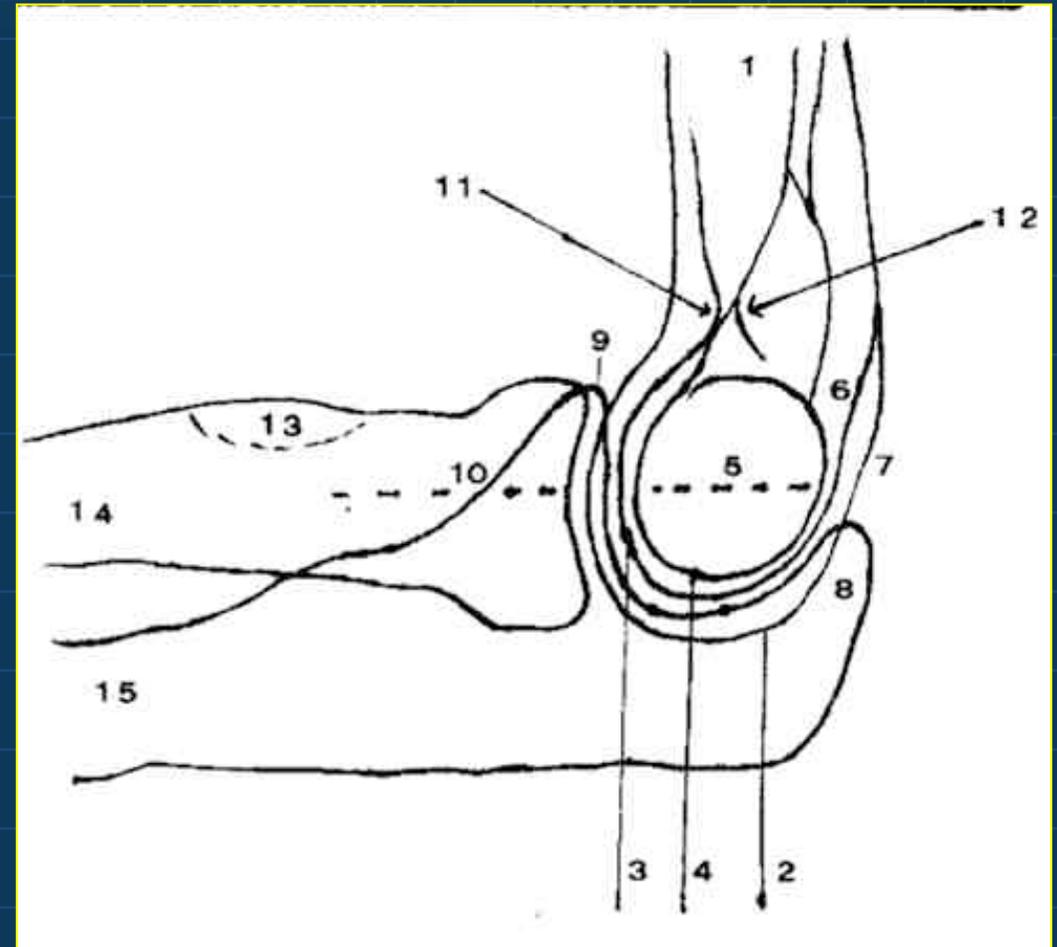
○ 10 = col du radius

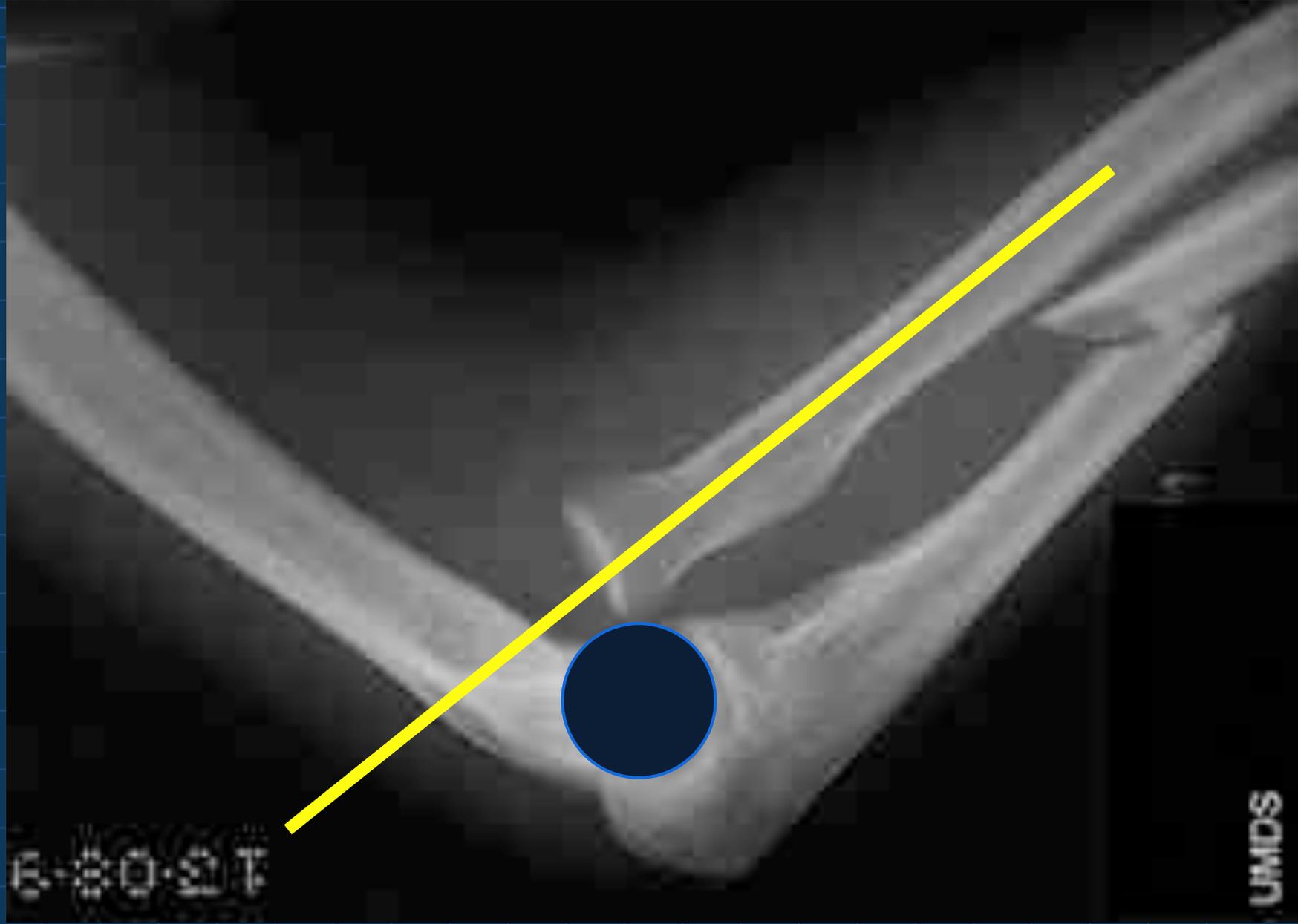
○ 11 = fossette coronoïdienne

○ 12 = fossette olécranienne

○ 13 = tubérosité bicipitale

○ 14 = radius 15 = Ulna





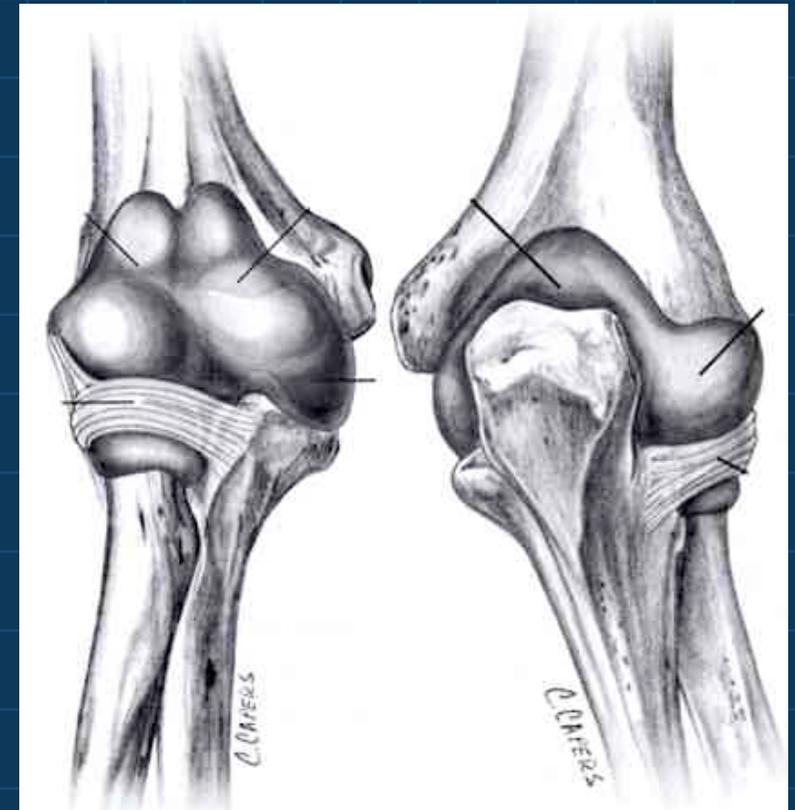
Structures capsulo- ligamentaires

- 3 articulations
 - Huméro-ulnaire, huméro-radiale, ulno-radiale supérieure



Structures capsulo-ligamentaires

- 1 seule capsule
 - Tendance à la rétraction, volume minimum (30 ml) autour de 65°
- 2 complexes ligamentaires latéraux
 - LLI et LLE





?





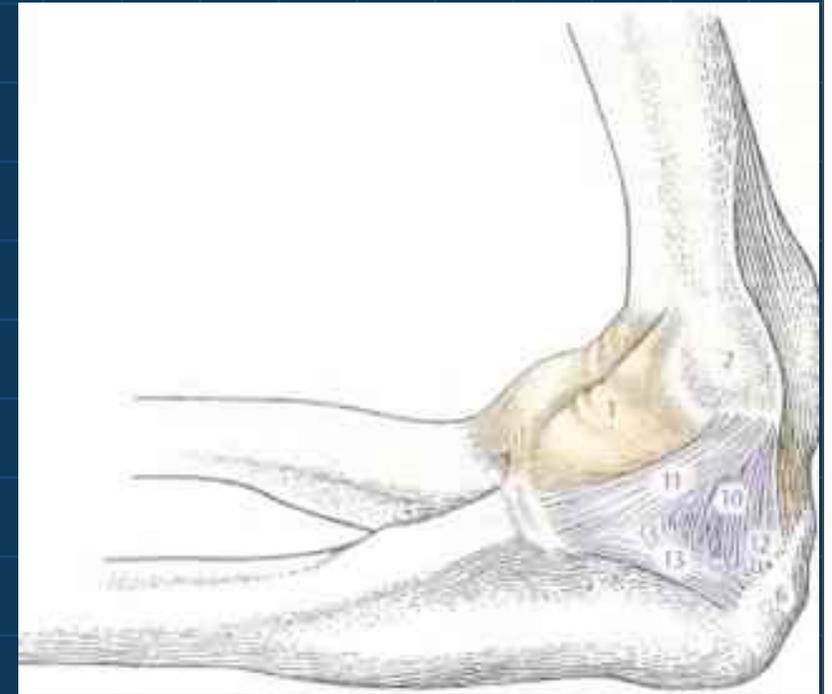
Bien regarder la ligne graisseuse



Bien regarder la ligne graisseuse

Ligament Latéral Interne

- LE ligament responsable de la stabilité du coude
- 78% de la stabilité en valgus entre 20 et 120°
- Responsable de la stabilité antéro-postérieure (on peut réséquer 50% de l'olécrane)





Le faisceau oblique antérieur est le plus important fonctionnellement. Il est large (5 mm), épais et tendu tant en flexion qu'en extension.

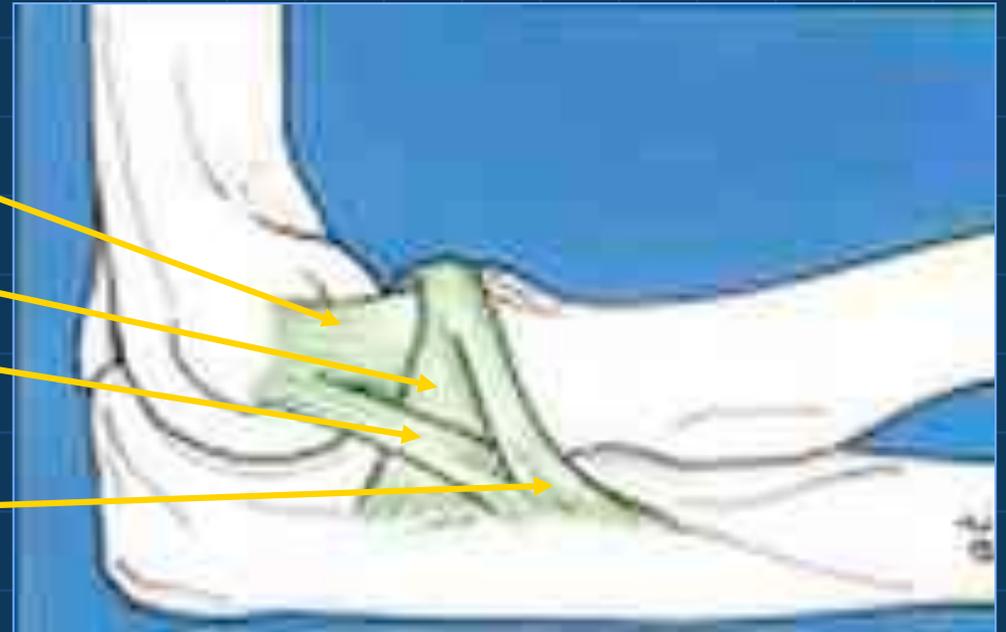
Ligament latéral externe

- **Structure complexe dont la physiologie reste imprécise**
 - **Responsable de la stabilité en varus**
 - **Responsable de la stabilité rotatoire en supination (rotation externe) de l'avant-bras**

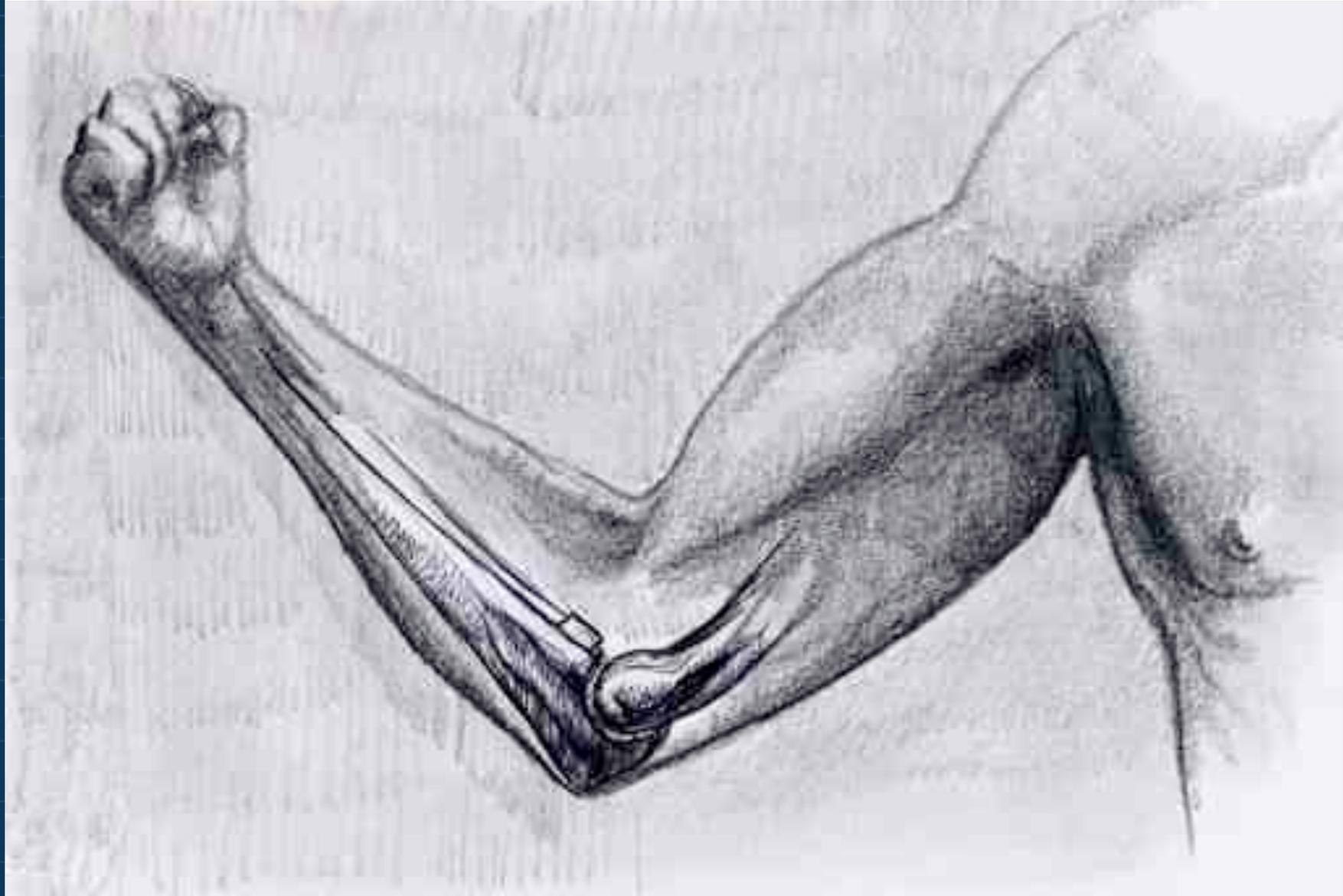


Le ligament collatéral latéral

Ligament latéral radial
Ligament annulaire
Ligament latéral ulnaire
**Ligament latéral
accessoire**



Structures musculaires

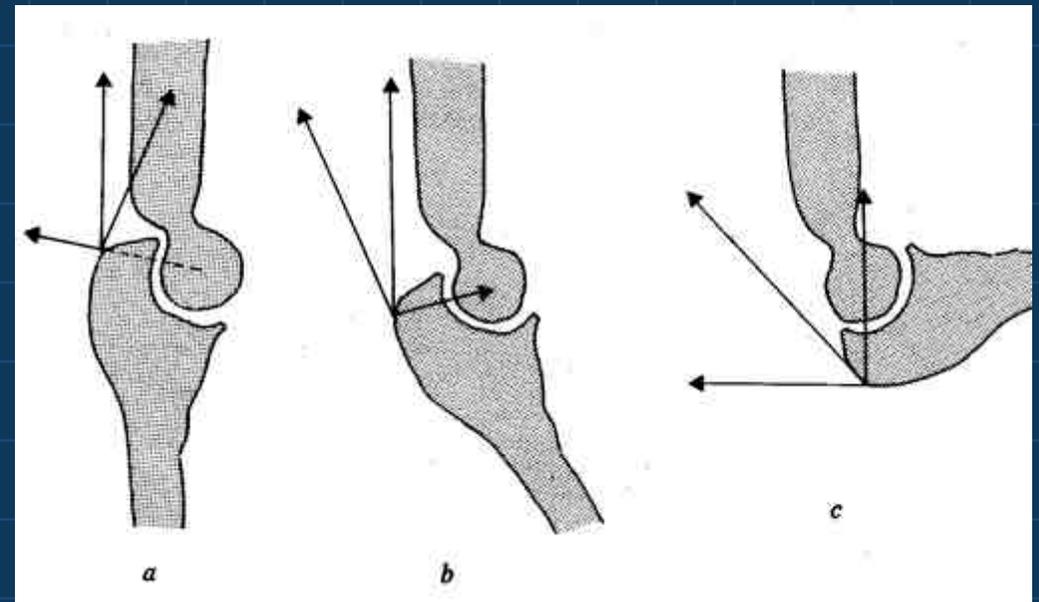
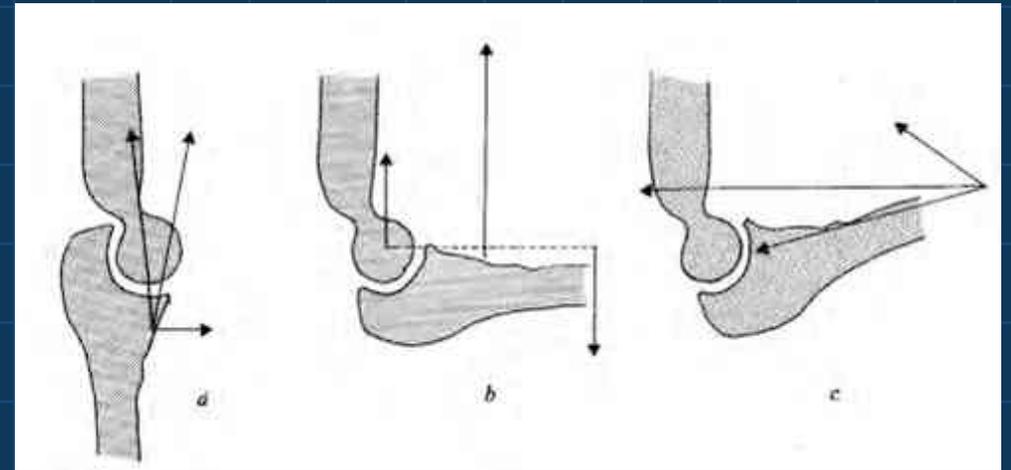


Structures musculaires

- **Nombreux muscles autour du coude**
 - **Antérieurs (brachial antérieur et biceps)**
 - **Postérieurs (anconé et triceps)**
 - **Internes (épitrochléens)**
 - **Externes (supinator et épicondyliens)**

Action réalisée	Muscles responsables	Innervation tronculaire	Innervation radiculaire
Flexion du coude	Brachialis	Musculo-cutané	C5C6(C7)
	Biceps	Musculo-cutané	C5C6
	Brachioradialis	Radial	C5C6(C7)
	Pronator teres	Médian	C6C7
	Flexor carpi ulnaris	Ulnaire	C7C8
Extension du coude	Triceps	Radial	C6C7C8
	Anconeus	Radial	C7C8T1
Supination de l'AVB	Supinator	NIOP (radial)	C5C6
	Biceps brachii	Musculo-cutané	C5C6
Pronation de l'AVB	Flexor carpi radialis	Médian	C6C7
	Pronator teres	Médian	C6C7
	Pronator quadratus	NIOA (médian)	C8T1

En fait



- Rôle variable des muscles en fonction de la position de l'avant-bras





Biceps





Anconeus



Supinator





**Tendon
conjoint**

This anatomical illustration shows a lateral view of the elbow joint. The humerus is at the top, and the radius and ulna are below it. A thick, pinkish-red band, representing the tendon conjoint, is shown crossing the joint between the two bones. The surrounding muscles and ligaments are depicted in various shades of red and pink, with white structures representing the bones and ligaments.

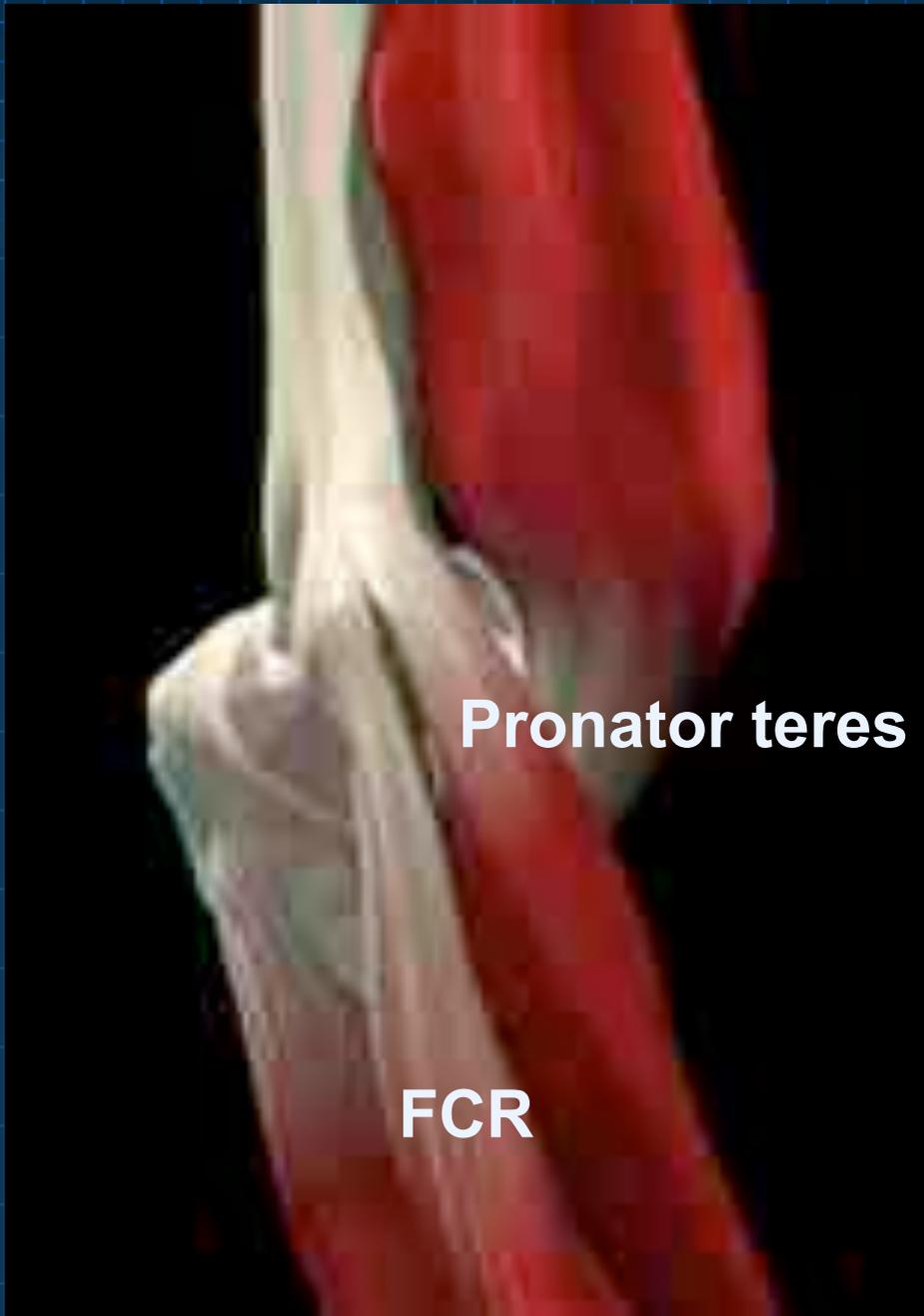


ECRL

This anatomical illustration shows a lateral view of the elbow joint with the muscles ECRL, Anconeus, and ECU highlighted. The ECRL (Extensor Carpi Radialis Lateralis) is a large, fan-shaped muscle on the lateral side of the forearm. The Anconeus is a small, triangular muscle located between the olecranon of the ulna and the lateral epicondyle of the humerus. The ECU (Extensor Carpi Ulnaris) is a muscle on the medial side of the forearm. The labels are in white text on a black background.

Anconeus

ECU

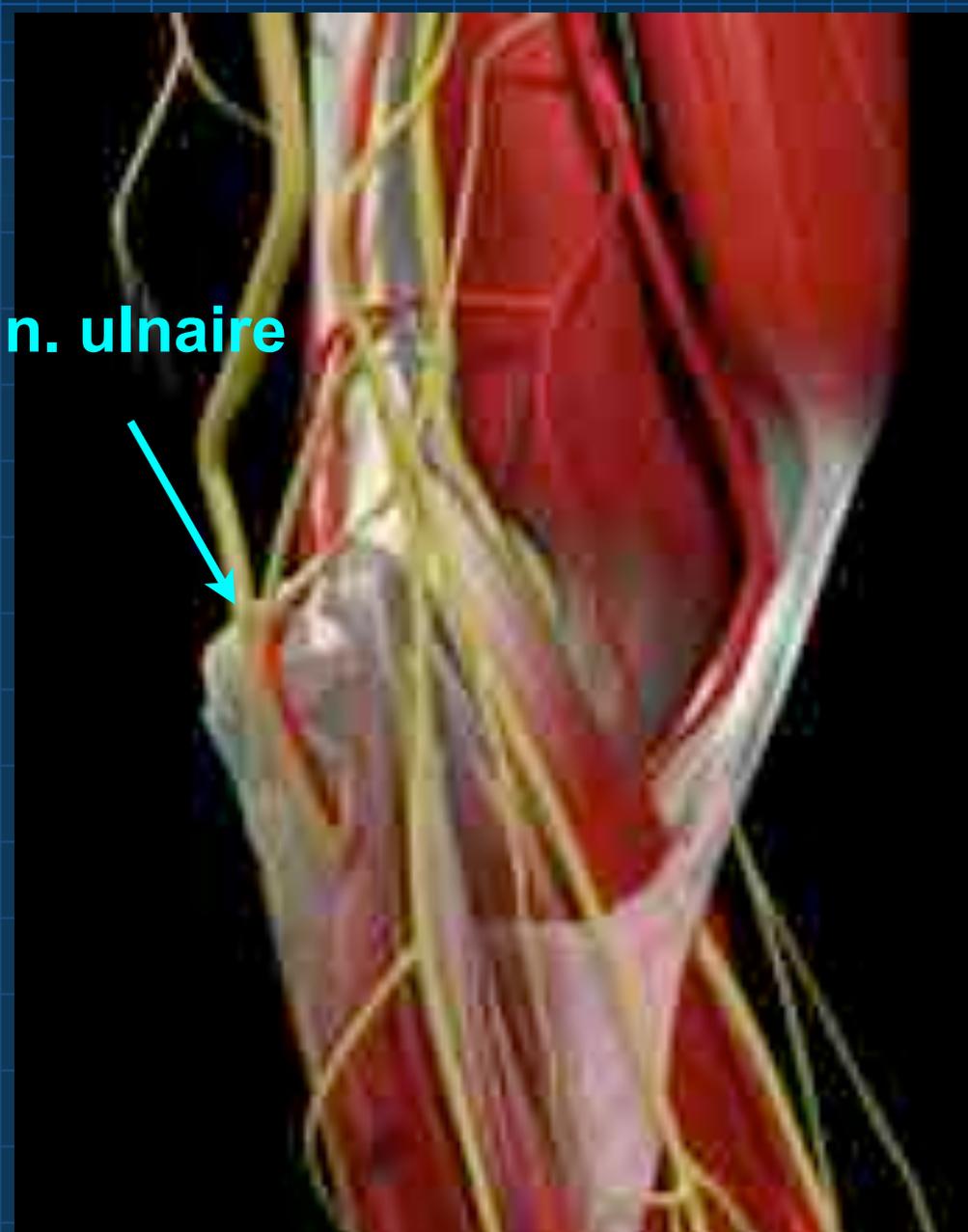
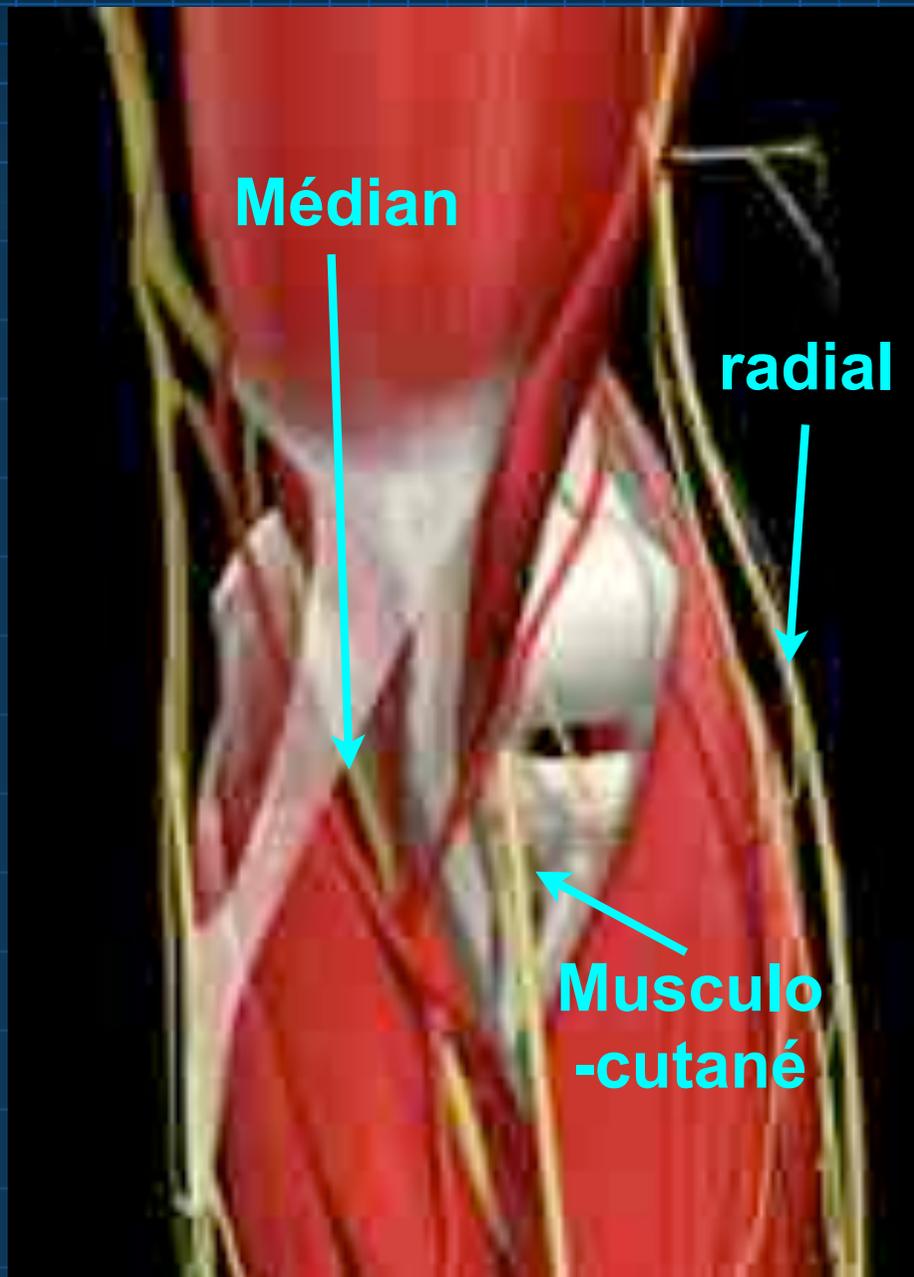


Eléments vasculo-nerveux

- Très nombreux
- Tout autour du coude

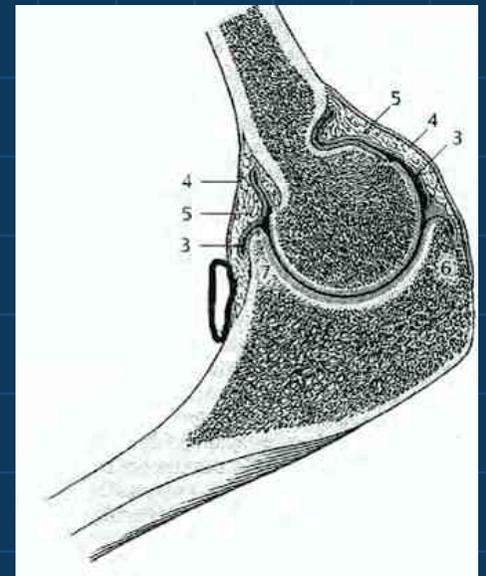






Physiologie du coude

- L'articulation du coude a deux axes de mobilité
- La flexion -extension: amener la main à la bouche et repousser la main du corps (lancer)
- Dans l'ulno-humérale, seule articulation mono-axiale
- La rotation axiale: orientation de la main dans l'espace

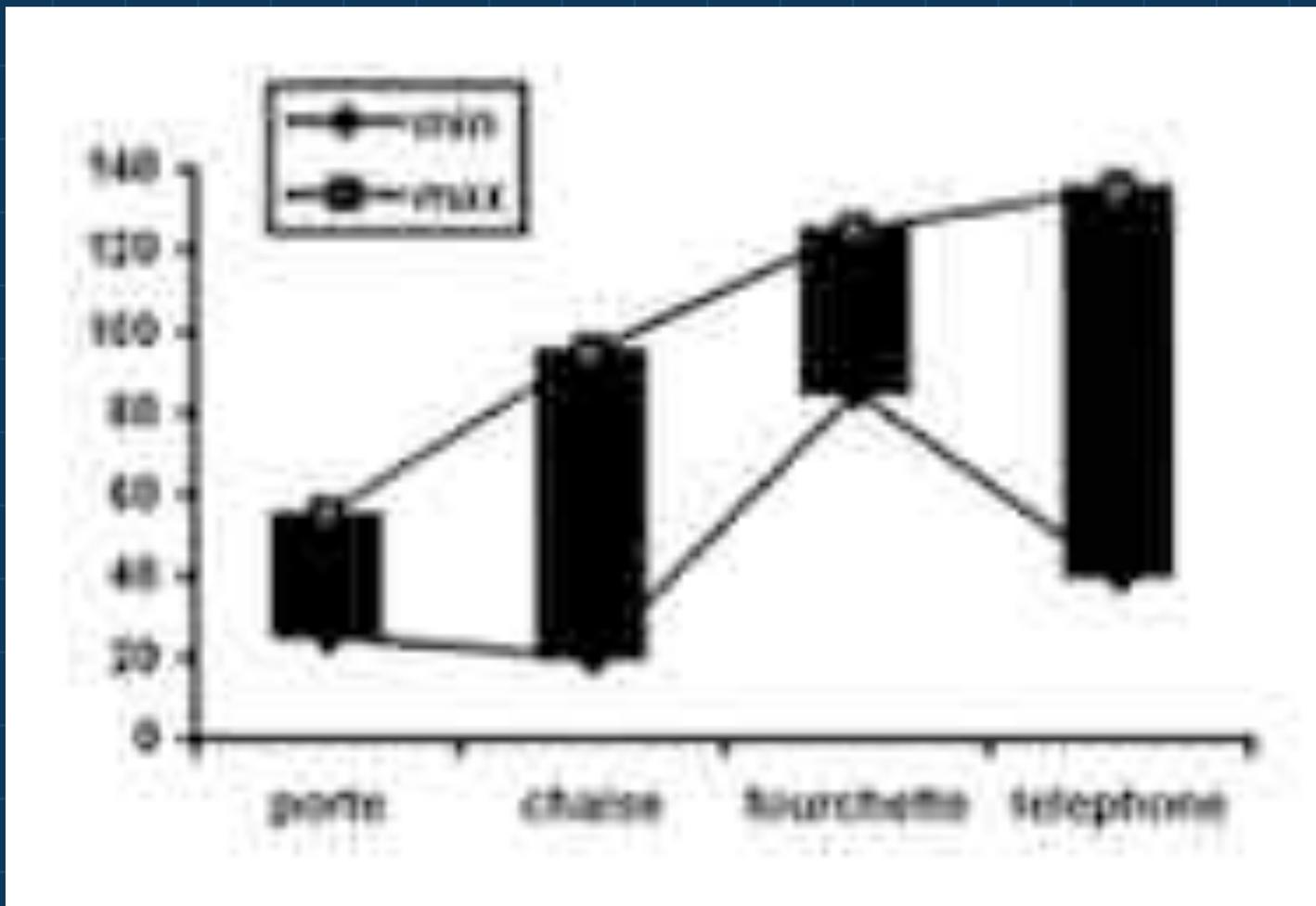


La flexion / extension

- ☛ Normale 0-140°
- ☛ Perte d'extension précoce, tolérable jusqu'à 45°
- ☛ Notion de secteurs minimum, utile, de luxe



Mobilité nécessaire pour accomplir les actes de la vie quotidienne



Les différents secteurs

- Secteur minimum (70-100°)
- Secteur utile (30-130°)
- Secteur de luxe (0-30°; 130-140°)



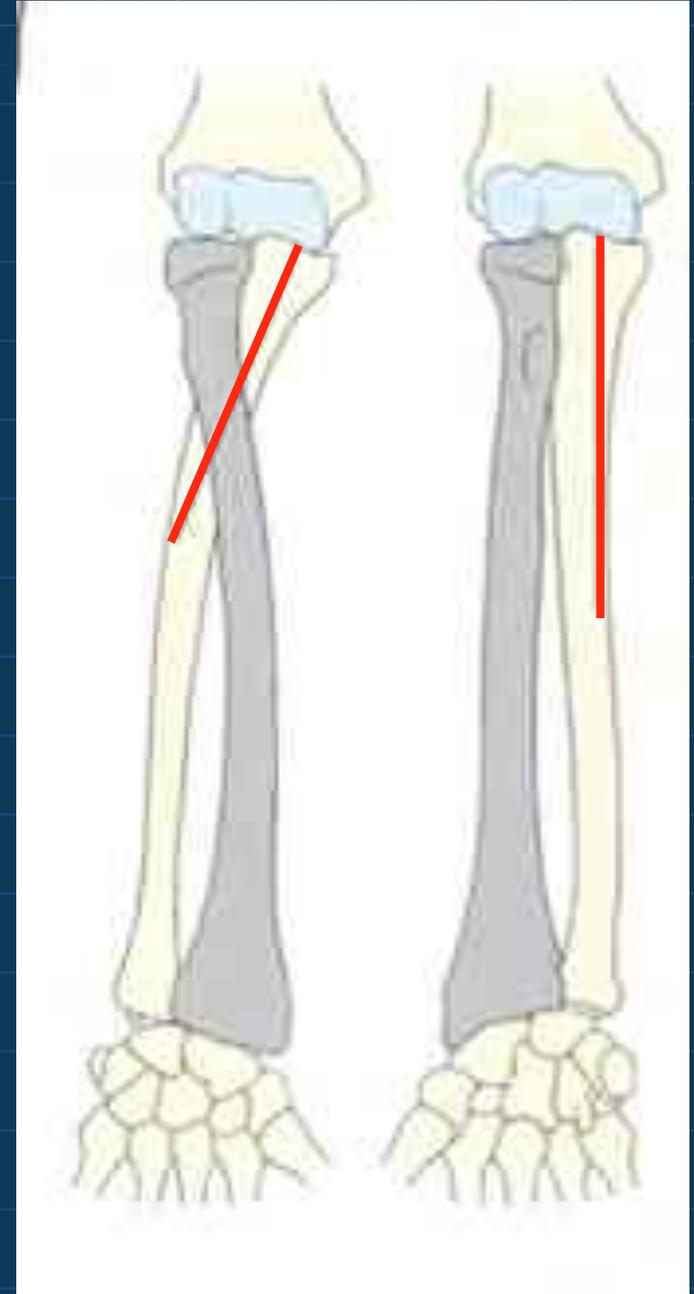
La rotation

- ☛ Normale de 70° de pronation et 85° de supination
- ☛ Dépend de la radio-ulnaire distale +++
- ☛ Notion d 'arc utile (50/50)



La pronosupination

- Le croisement des deux os oblige à un mouvement latéral de l'ulna
- Conséquences sur la mise en place des implants



Biomécanique

- **Cinématique**

- Description des mouvements: déplacement angulaire et linéaire, vitesse et accélération

- **Cinétique**

- Pourquoi les objets bougent comme ils bougent: forces et contraintes responsables du mouvement

- **Electromyographie**

- Quantification de l'activité musculaire

Biomécanique

- **Stabilité du coude**
- **Fonction et force musculaire**
- **Contraintes fonctionnelles et sportives**

Stabilité du coude

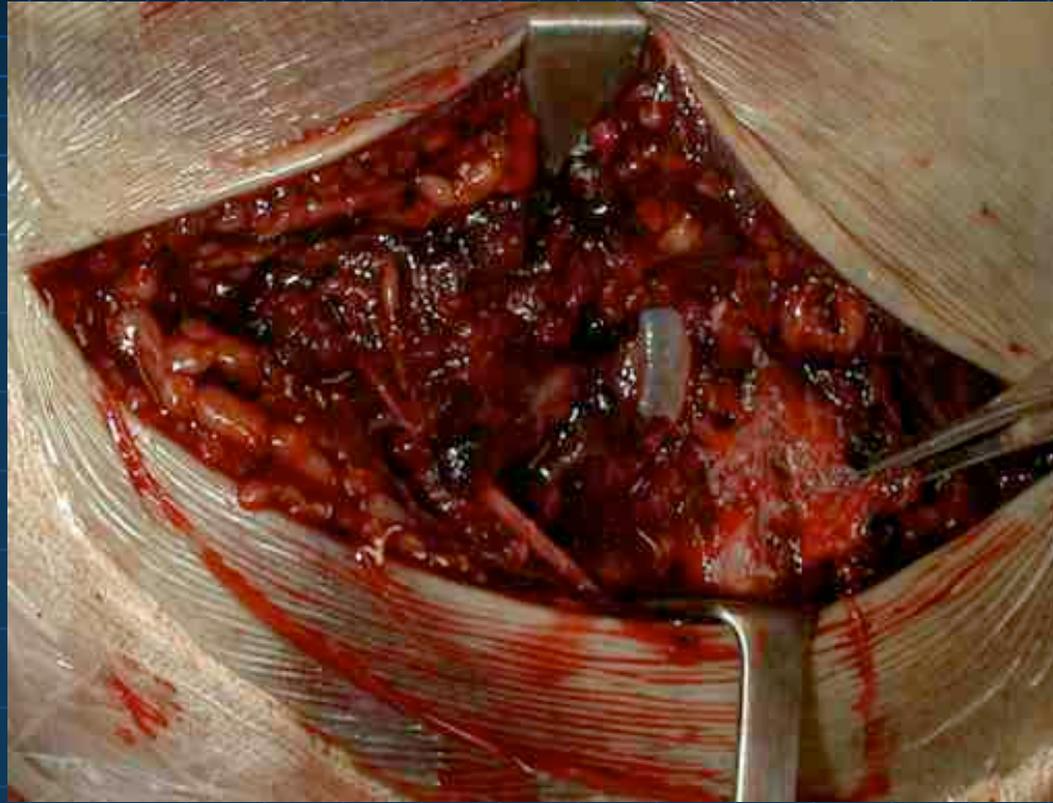
- La stabilité en valgus est assurée à 78% par le ligament latéral médial entre 20 et 120°



Stabilité du coude

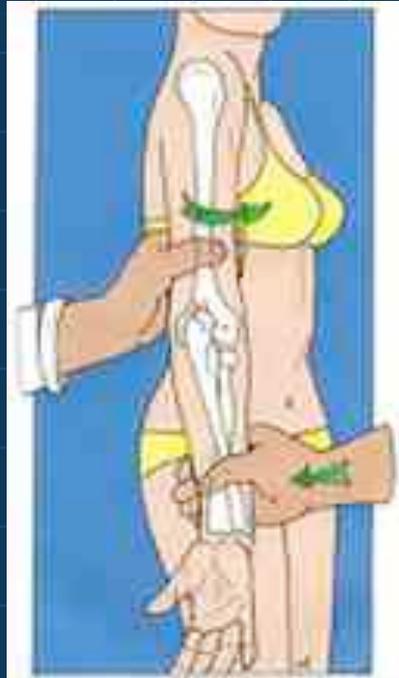
- La stabilité en valgus est assurée à 78% par le ligament latéral médial entre 20 et 120°
- Rôle accessoire des surfaces osseuses
 - Tête radiale = 30% de la stabilité latérale.
 - Son excision est sans conséquence si le ligament latéral médial est intact





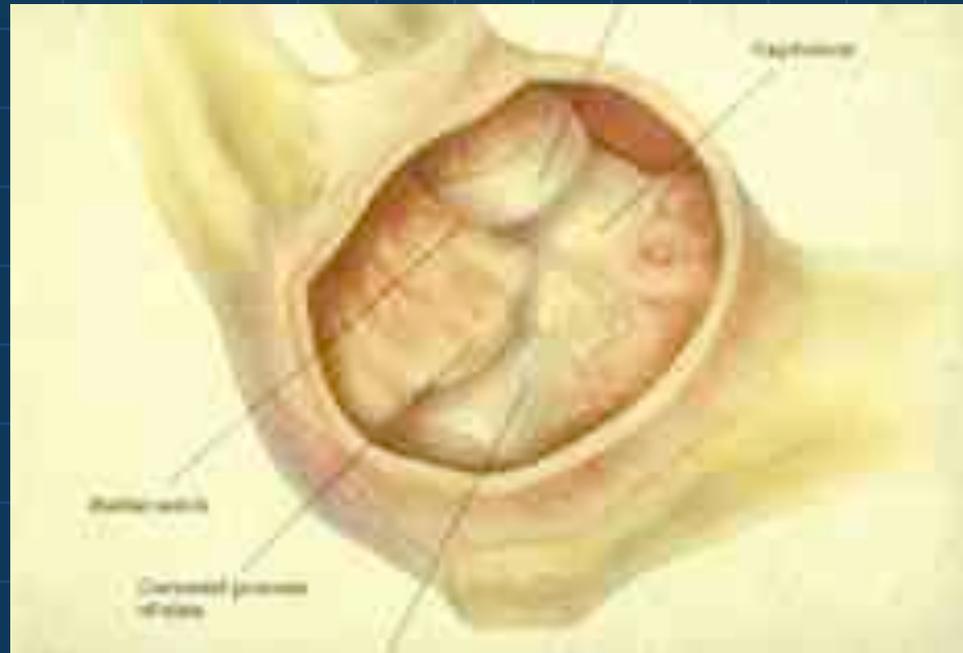
- La stabilité en valgus est assurée à 78% par le ligament latéral médial entre 20 et 120°
- Rôle accessoire des surfaces osseuses
- Le FCU intervient de façon certaine dans la stabilisation dynamique du plan interne du coude

Stabilité du coude



- C'est le ligament latéral et notamment son faisceau radial qui contrôle les contraintes en varus et en extension. Le ligament annulaire seul ne semble avoir qu'un rôle de stabilisation de l'ulno-radiale.

Stabilité du coude



- La capsule articulaire antérieure intervient dans les contraintes en traction et extension et assure alors 85% de la résistance observée.

Stabilité du coude

- Dans le plan antéro-postérieur, la stabilité dépend également du ligament latéral médial. La destruction de moins de 50% de l'olécrane n'est fonctionnellement pas gênante tant que les ligaments latéraux sont intacts.
- Dans le sens antéro-postérieur la stabilité osseuse en extension est assurée par la coronoïde. Cette stabilité osseuse et ligamentaire est renforcée, dans le plan sagittal, par l'action puissante des muscles du coude.

Force musculaire



- La force de pronation, de supination ou d'extension est peu différente entre le coté dominant et le coté non-dominant
- La force de flexion est par contre toujours supérieure du coté dominant.
- Les hommes sont environ deux fois plus forts que les femmes et le membre dominant est plus puissant d'environ 6%

Force musculaire

- La force d'extension représente environ 60-70% de celle de flexion
- La force de supination est habituellement plus forte de 15% que celle de pronation

Contraintes mécaniques du coude

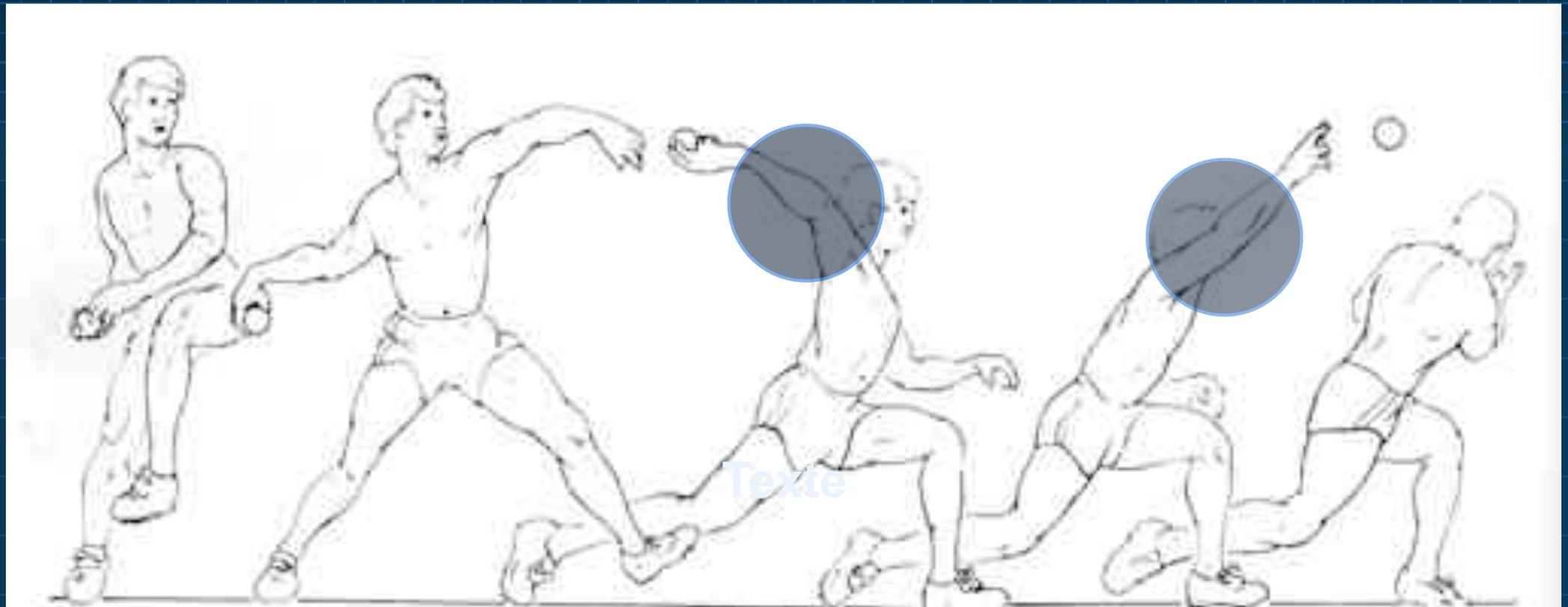
- 60% des contraintes passent par l'huméro-ulnaire (et 40% par l'huméro-radiale)
- Variations +++ en fonction de la charge, de la position du bras, de la longueur du bras de levier
- 2 à 3 fois le poids du corps, 8 à 10 fois le poids d'un objet pour des gestes usuels

Contraintes sportives

- **multiples, variées en fonction du sport, du niveau sportif et du mouvement sportif**
- **Très étudiées par les Américains lors des sports de lancer**

Le lancer

- Il comporte traditionnellement 5 (6) phases
 - Windup ou préparation
 - (Stride = descente du pied)
 - Early cocking (abduction et RE de l'épaule)
 - Late cocking (RE maximum de l'épaule et Valgus forcé du coude)
 - Accélération (rotation interne de l'humérus)
 - Follow-through



Windup

Early cocking

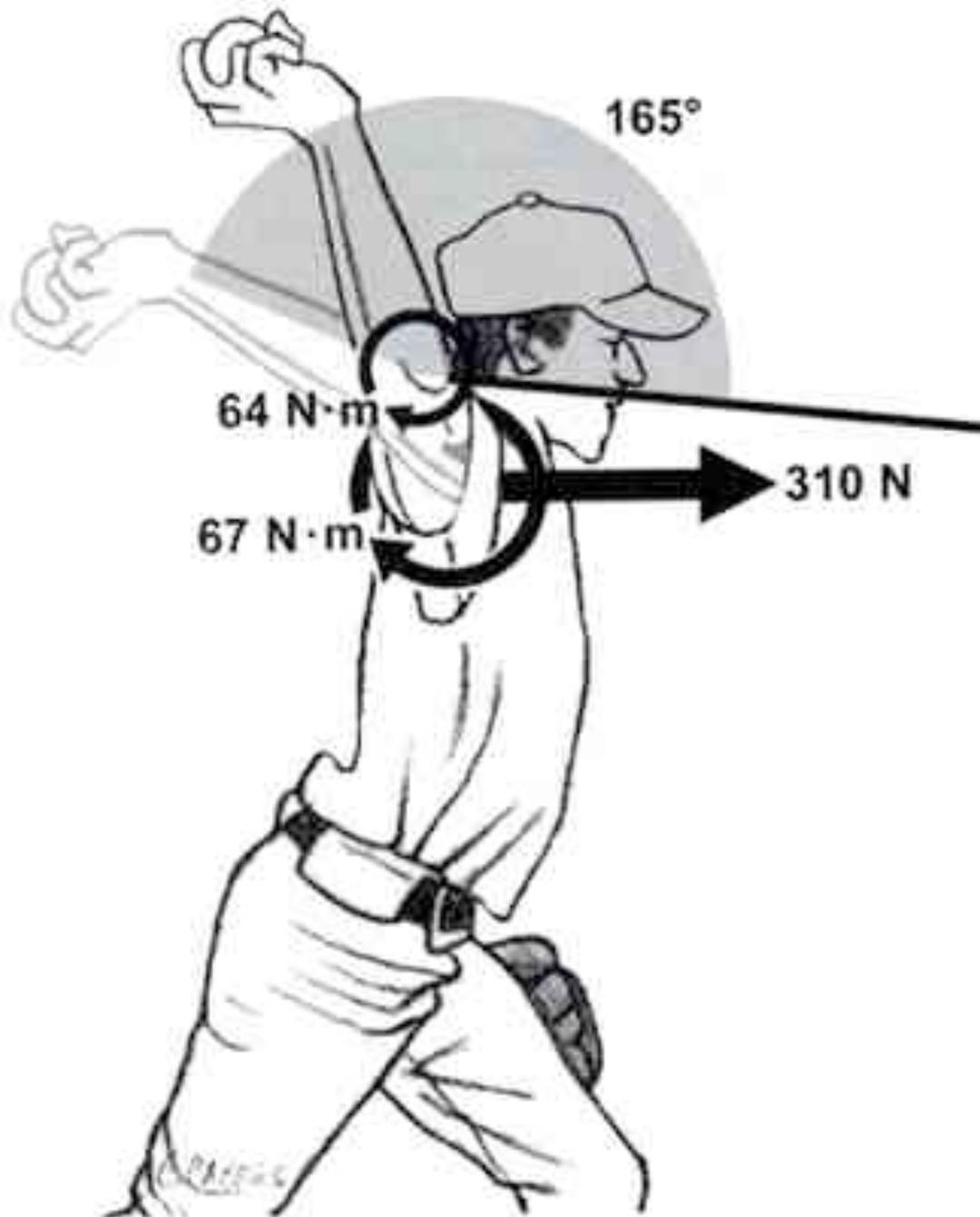
Late cocking

Acceleration

Follow-through

**Extenseurs
du poignet
Supinateurs**

**Fléchisseurs
-pronateurs
puis triceps**



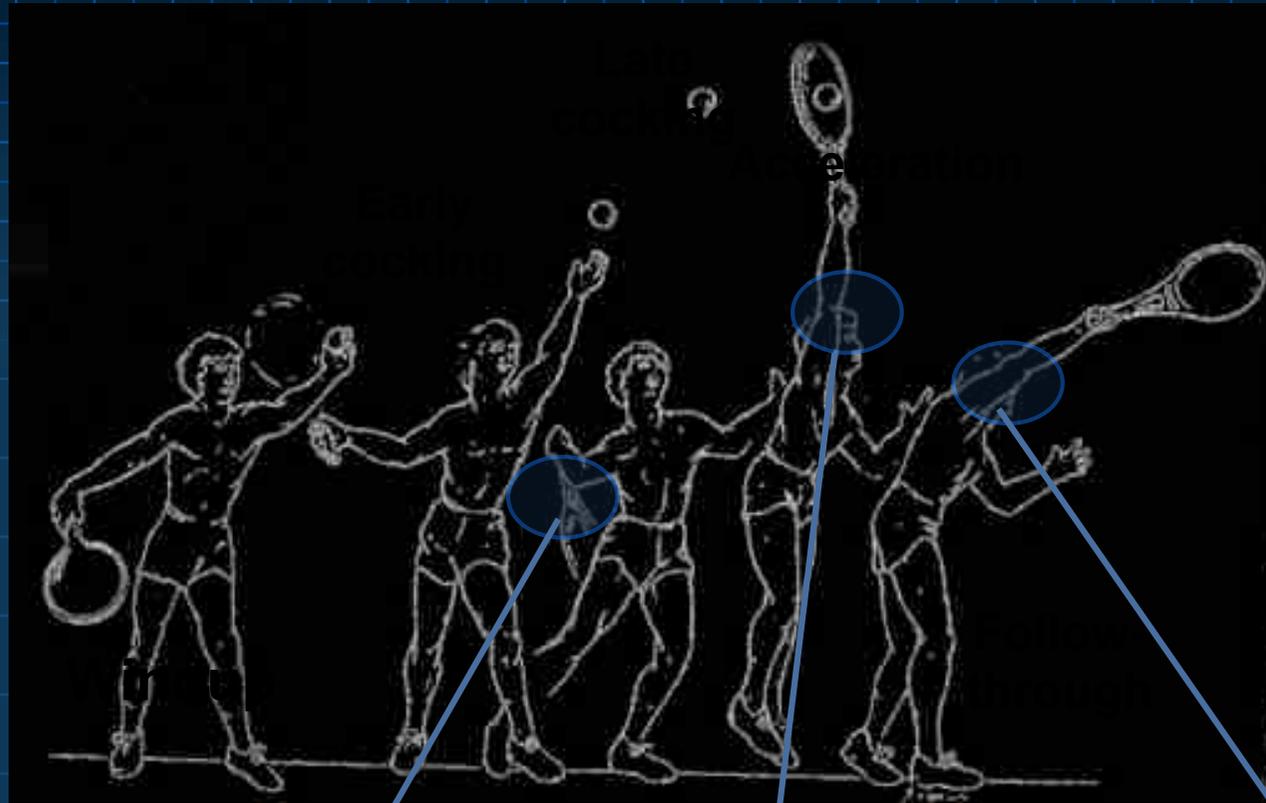
Vélocité angulaire
2100-2700°/sec
Varie de 75-100°
en 20-35 msec

Couple de torsion
en varus de 64 Nm⁻¹

Le coude intervient
pour ≈ 43% de la
force du lancer

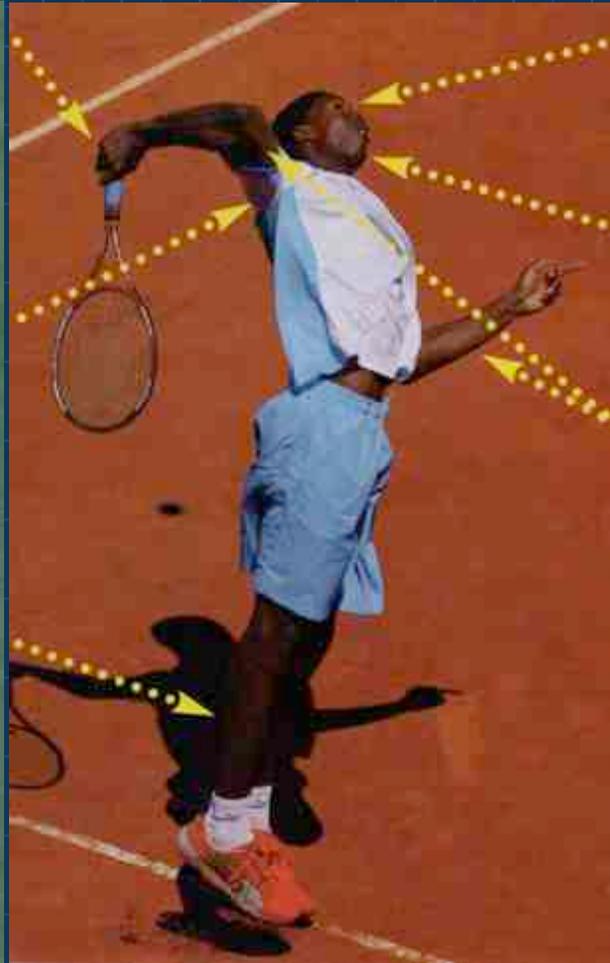
Force estimée sur LLI
= 290N > 261N
résistance calculée

entre 63-74%
de l'énergie
cinétique de
la main
provient du
tronc ou de
l'épaule



**Le coude intervient
pour 15% de la force
du service**

**Vélocité angulaire $\approx 1000^\circ/\text{sec}$
pour l'extension du coude et
 $\approx 350^\circ/\text{sec}$ pour la pronation**



**Action prédominante des extenseurs du poignet dans
tous les gestes du tennis**

**Action plus particulière du biceps lors de la phase de
follow-through au service**

Tennis (voir Kibler)

- Les joueurs qui plient les genoux de moins de 10° augmentent les contraintes en valgus sur le coude de 21% (pour la même vitesse de balle)
- L'extension du coude intervient avant la rotation interne de l'épaule (ce qui protège le LLI)
- Les sportifs qui ont perdu leur rotation interne de l'épaule surchargent leur coude

Conclusion

- L'anatomie est indispensable pour comprendre la physiologie et la biomécanique du coude
- Elle est surtout indispensable pour la réalisation d'un examen clinique de qualité (www.maitrise-orthop.com)
- Une des particularités du coude est l'importance des contraintes mécaniques, y compris lors de gestes anodins en apparence