

# **BIOMÉCANIQUE DE LA MAIN**

**Professeur Gilbert VERSIER**

**Service de chirurgie orthopédique**

**HIA BEGIN 94160 SAINT-MANDE**

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

# Définition

- **Main = organe effecteur du membre supérieur**
- **Outil complexe**
- **2 fonctions principales de très grande précision**
  - **La préhension**
    - **Évolution phylogénétique**
    - **Possibilité d'opposition du pouce**
  - **Le tact**
    - **Sensibilité tactile avec reconnaissance du relief, taille et distance de 2 reliefs, consistance et température**
    - **Rétro contrôle cérébral des gestes fins ou des gestes en force**

# Définition

- **organisation du membre supérieur**
  - **Un système directeur à 7 degrés de liberté**
    - **Epaule 3**
    - **Coude 1**
    - **Avant-bras 1**
    - **Poignet 2**
  - **Un système effecteur terminal: la main à 23 degrés**



**23 degrés de liberté**

- **Plan**

- **Le métacarpe**

- **La chaîne digitale**

- **La chaîne du pouce**

- **Les fonctions de la main**

# LE METACARPE

- **L'architecture générale adaptée**
- **Les articulations**
  - Les articulations carpo-métacarpiennes de II à V
  - Les inter métacarpiennes
- **Les muscles moteurs**
  - Les muscles du poignet
  - Les interosseux et les lombricaux
- **Le métacarpe: région de passage**

# 1- L'architecture générale

**Le métacarpe constitue:**

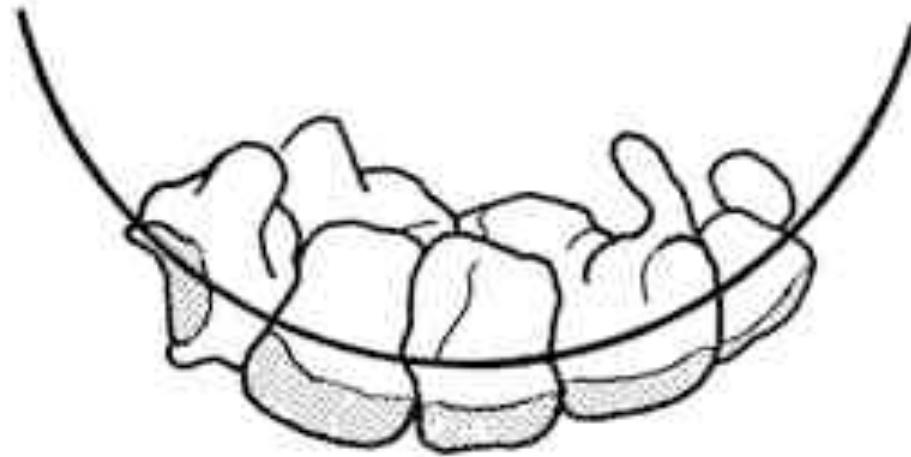
- avec le carpe un socle rigide à partir duquel s'organisent les chaînes digitales
- une région de passage pour les éléments vasculo-nerveux et tendineux de la main

**Avec 3 courbures:**

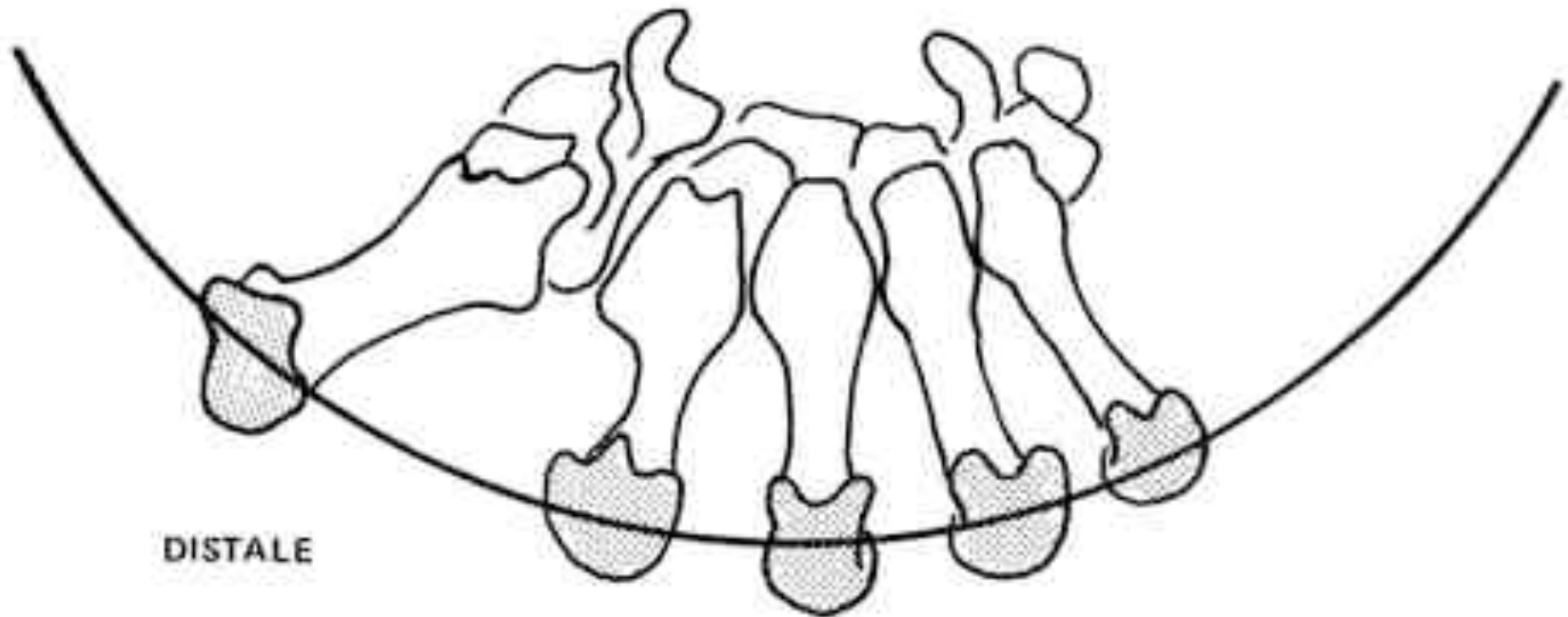
- 2 transversales
  - \* la proximale: la gouttière carpienne
  - \* la distale au niveau de la tête, - creusée
- 1 longitudinale passant par le 3ème rayon  
axe de la main

# COURBURES TRANSVERSALES

PROXIMALE

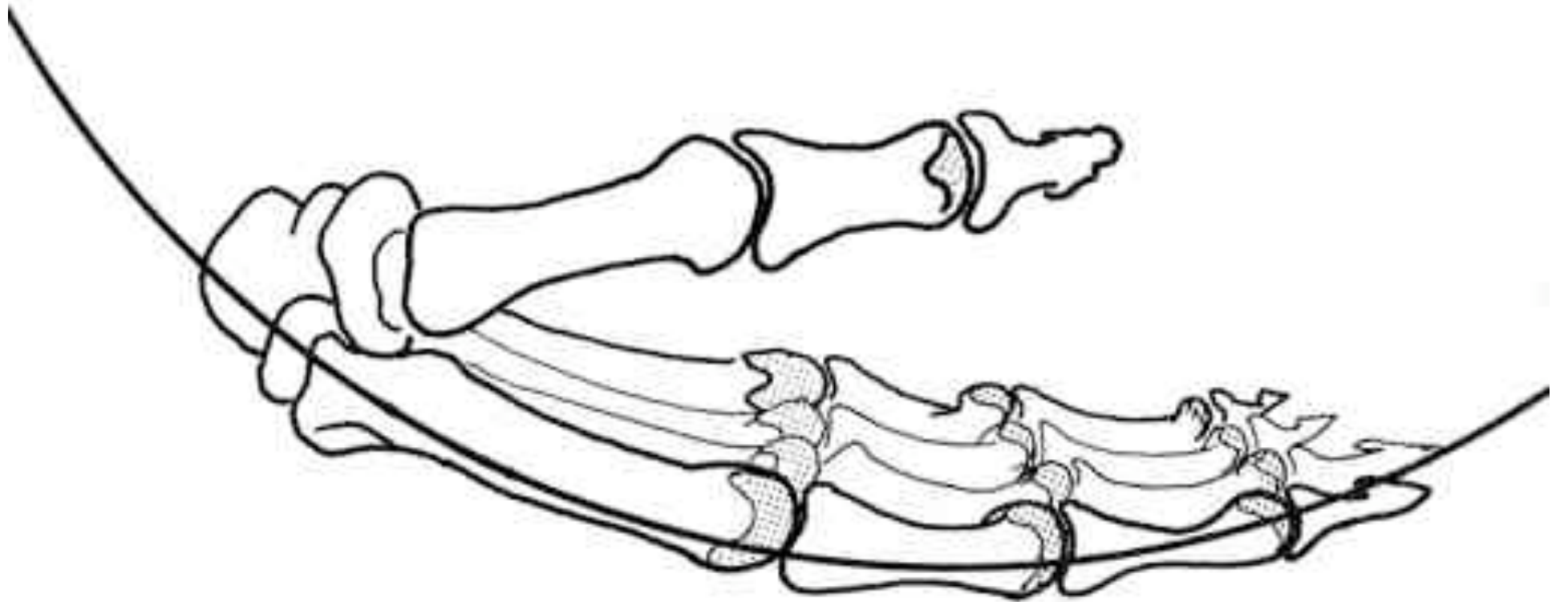


DISTALE





COURBURE LONGITUDINALE



# 1- L'architecture générale

**Ainsi, l'architecture du métacarpe va permettre:**

- le creusement de la paume de la main qui facilite la quête, la cueillette, la préhension**
- le positionnement en supra structure de la colonne du pouce**

**On doit opposer :**

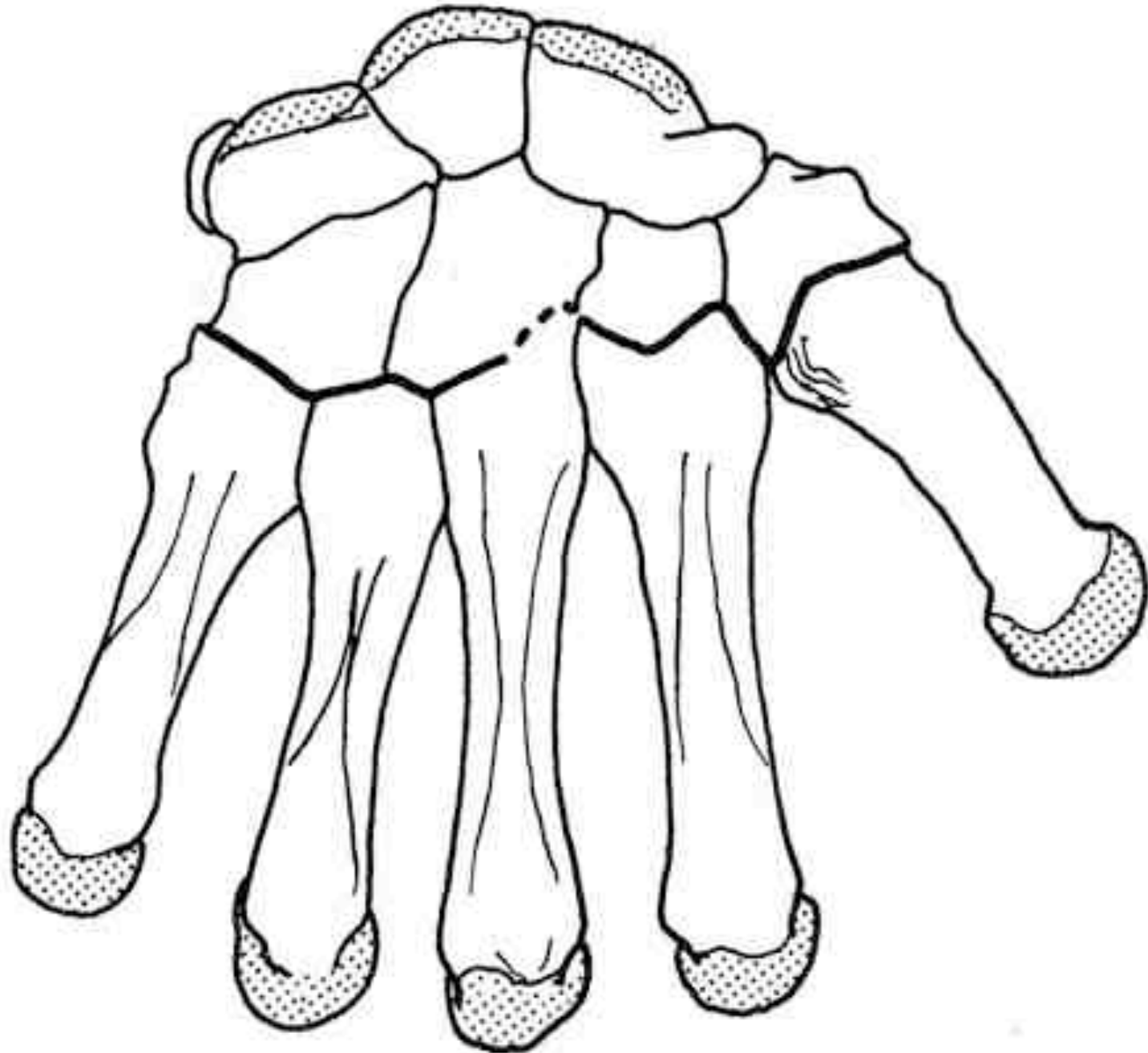
- les M1 et M5 mobiles**
- les M2, M3 et M4 fixes**

## **2- Les articulations**

### **A- Les articulations carpo-métacarpiennes**

- M2 avec trapèze, trapézoïde et grand os**
- M3 avec le grand os**
- M4 avec le grand os et os crochu**
- M5 avec l'os crochu**

**Interligne carpo-métacarpien en ligne brisée**



## **2- Les articulations**

### **A- Les articulations carpo-métacarpiennes**

**- ligaments carpo-métacarpiens palmaires**

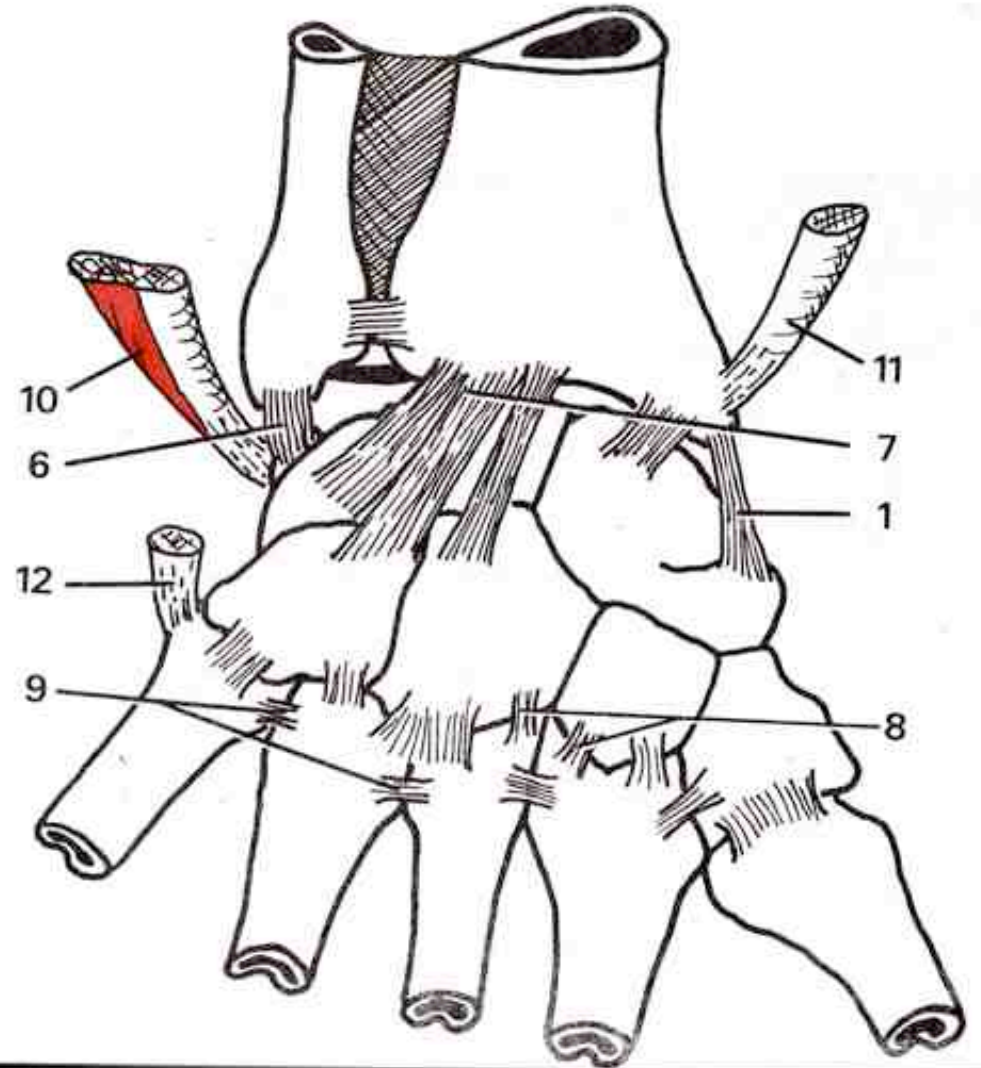
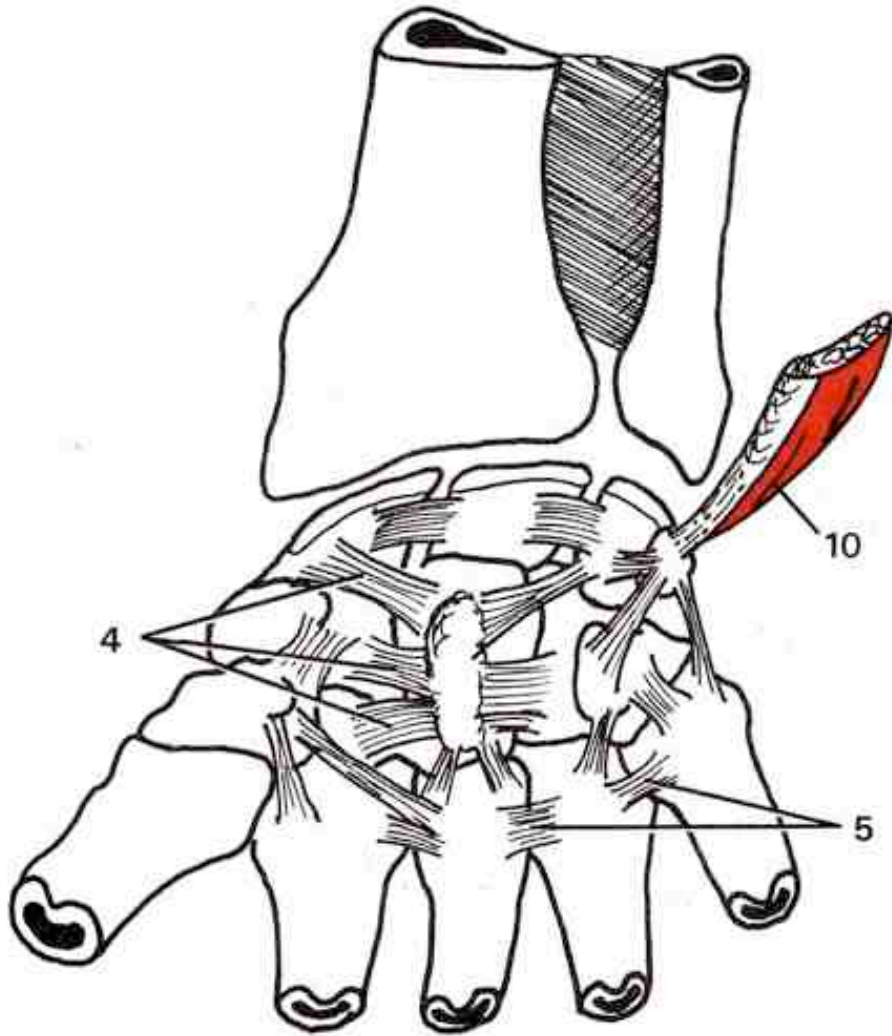
**\* externes trapèzo-métacarpiens (M2 et M3)**

**\* moyens capitelo-métacarpiens (M2 et M3)**

**\* internes hamato-métacarpiens (M4 et M5)**

**- ligaments carpo-métacarpiens dorsaux**

**très courts, nombreux et résistants**



## **2- Les articulations**

### **B- Les articulations inter métacarpiennes**

- au nombre de 3: M2-M3, M3-M4, M4-M5
- articulations planes (arthrodies)
- ligaments puissants
- très faibles mouvements

# 3- Les muscles moteurs

## A- Les muscles moteurs du poignet

### - moteurs du métacarpe

#### 1- muscles fléchisseurs:

grand palmaire et cubital antérieur

#### 2- muscles extenseurs

radiaux et cubital postérieur

#### 3- muscles abducteurs

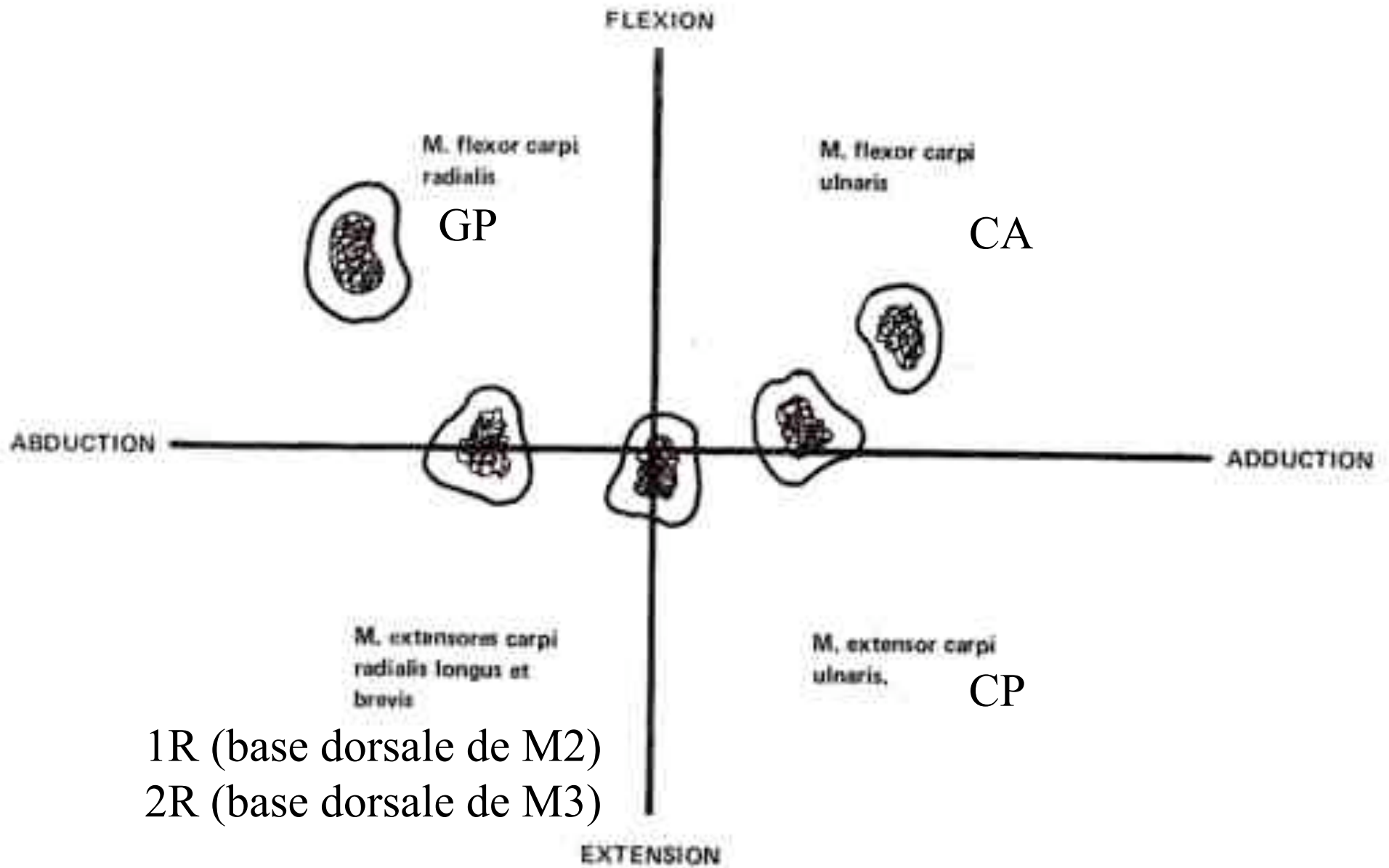
radiaux et grand palmaire

#### 4- muscles adducteurs

cubital antérieur et cubital postérieur

- En flexion-extension, inclinaison radiale et cubitale, carpe et métacarpe forment un bloc rigide



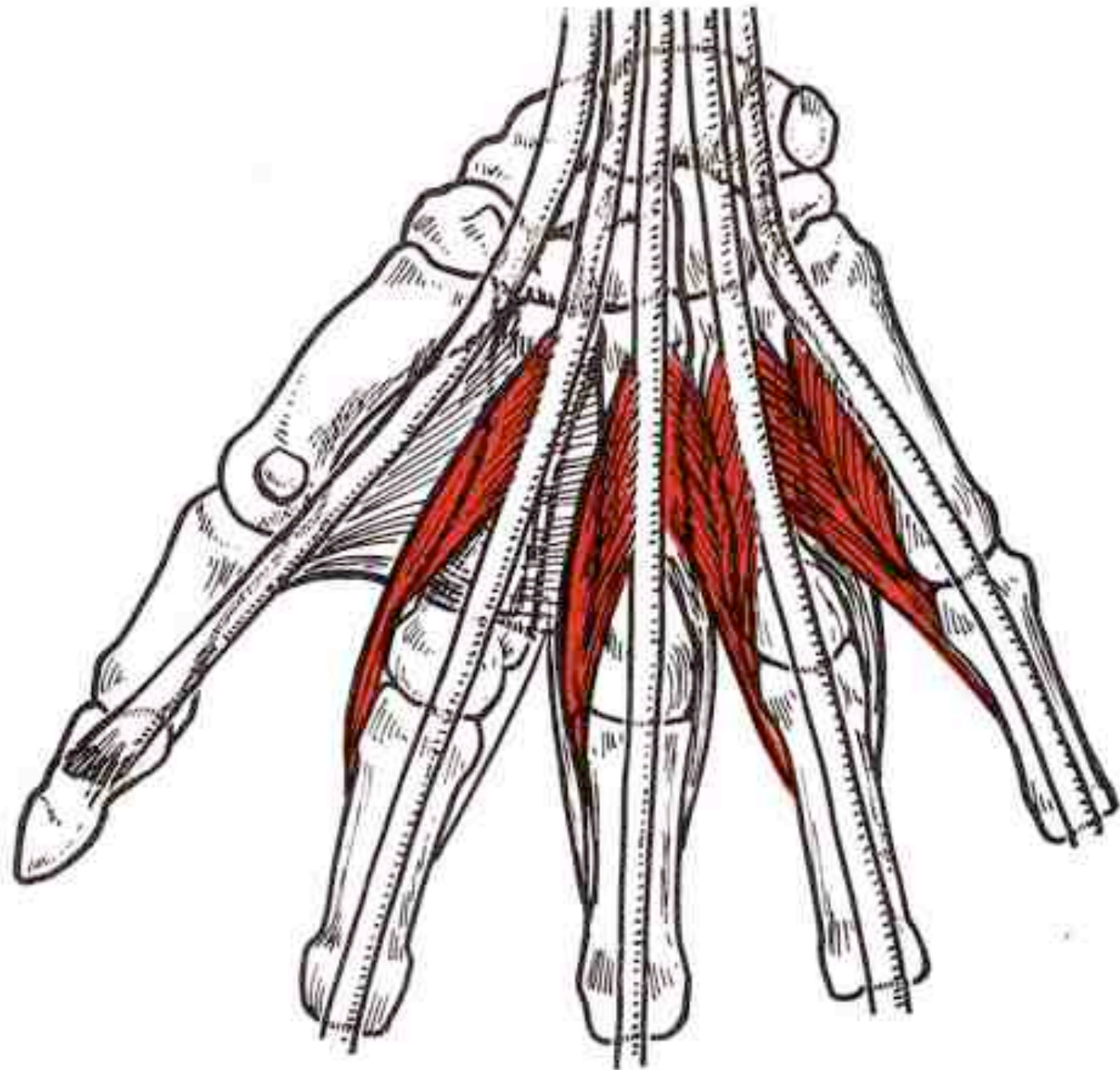


# **3- Les muscles moteurs**

## **B- Les muscles inter-osseux et lombricaux**

### **a- muscles lombricaux**

- 4 corps musculaires fusiformes
- bipenné pour le 4 et le 5
- mono penné pour le 2 et le 3
- muscles palmaires superficiels annexés au FC Profond
- se terminant sur le bord radial du tendon extenseur
  
- action: flexion de la MP, extension des IP
- innervation: nerf cubital

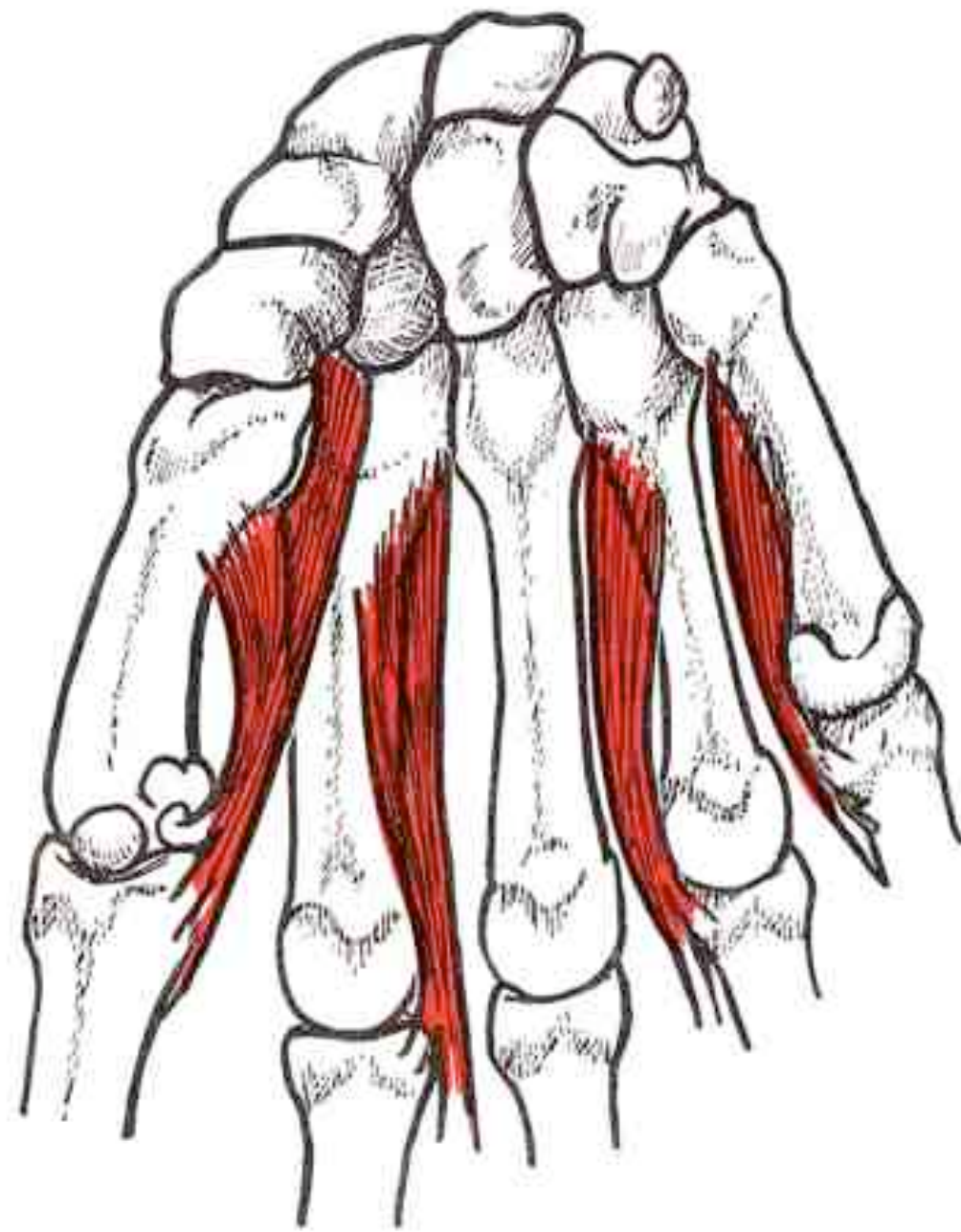


# **3- Les muscles moteurs**

## **B- Les muscles inter-osseux et lombricaux**

### **b- muscles inter-osseux palmaires**

- **insertions: bord antéro-latéral du métacarpien**
  - \* **bord cubital sur M1 et M2**
  - \* **bord radial sur M4 et M5**
- **terminaisons: base de P1 et tendon extenseur**
- **actions:**
  - **flexion MCP**
  - **extension des IP**
  - **rapprochement des doigts de l'axe de la main**
- **innervation: nerf cubital**

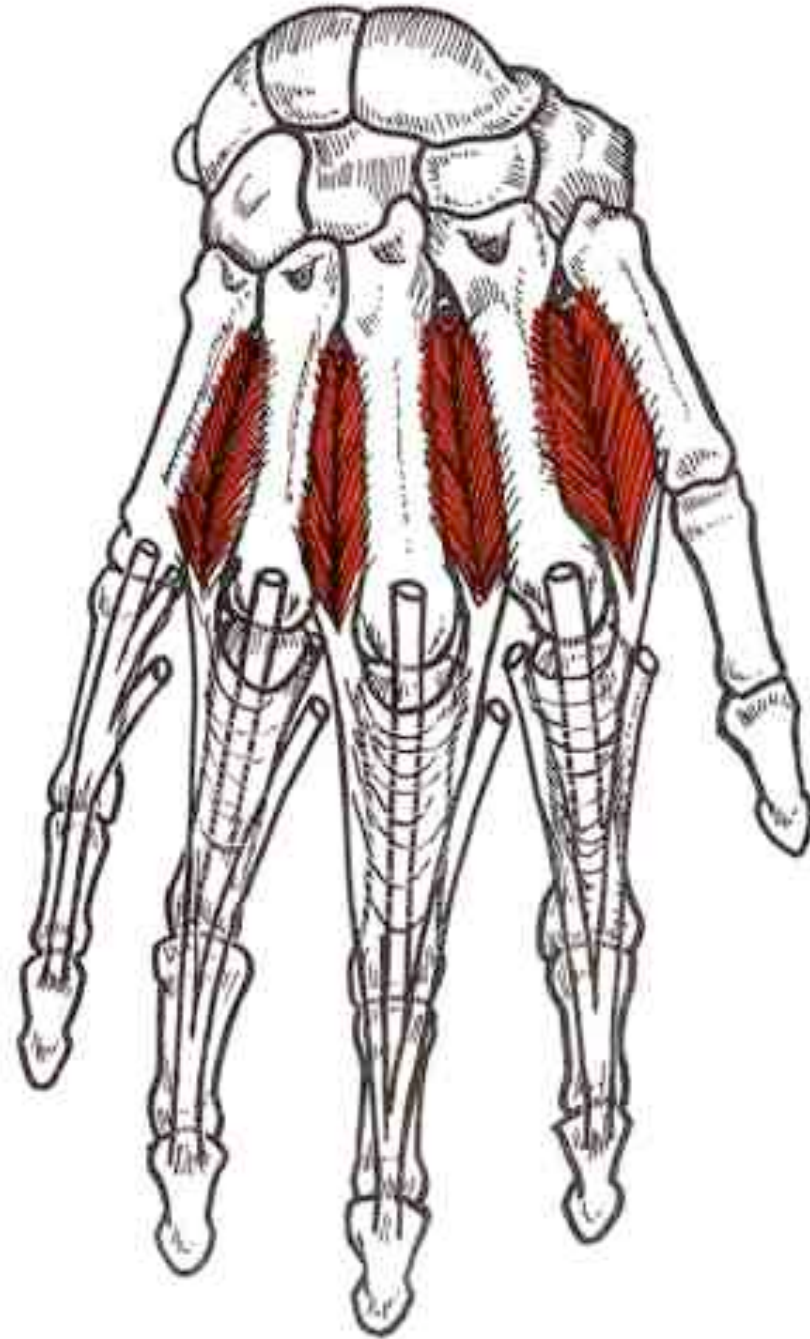


# **3- Les muscles moteurs**

## **B- Les muscles inter-osseux et lombricaux**

### **c- muscles inter-osseux dorsaux**

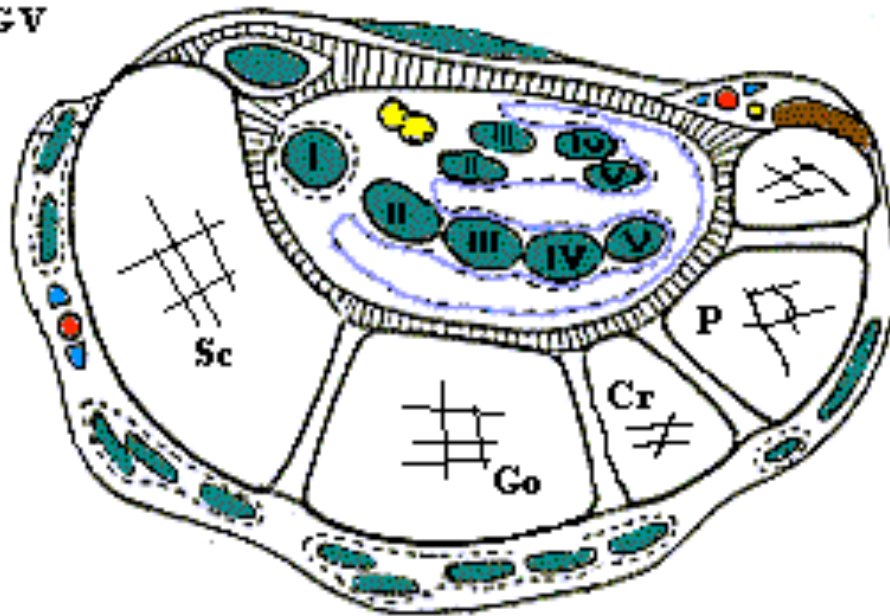
- insertions: bipennés occupant tout l'espace
- terminaisons: base de P1 et expansion fibreuse vers le tendon extenseur, reçoit le muscle lombrical et forme la dossière des interosseux
- actions:
  - flexion MCP
  - extension des IP
  - écartent les doigts de l'axe de la main
- innervation: nerf cubital



# 4- metacarpus: région de passage

La paume de la main fait suite au canal carpien

GV



GVersier

TUBERCULE  
DU  
SCAPHOIDE

CRETE  
DU  
TRAPEZE

TR

CO

SC

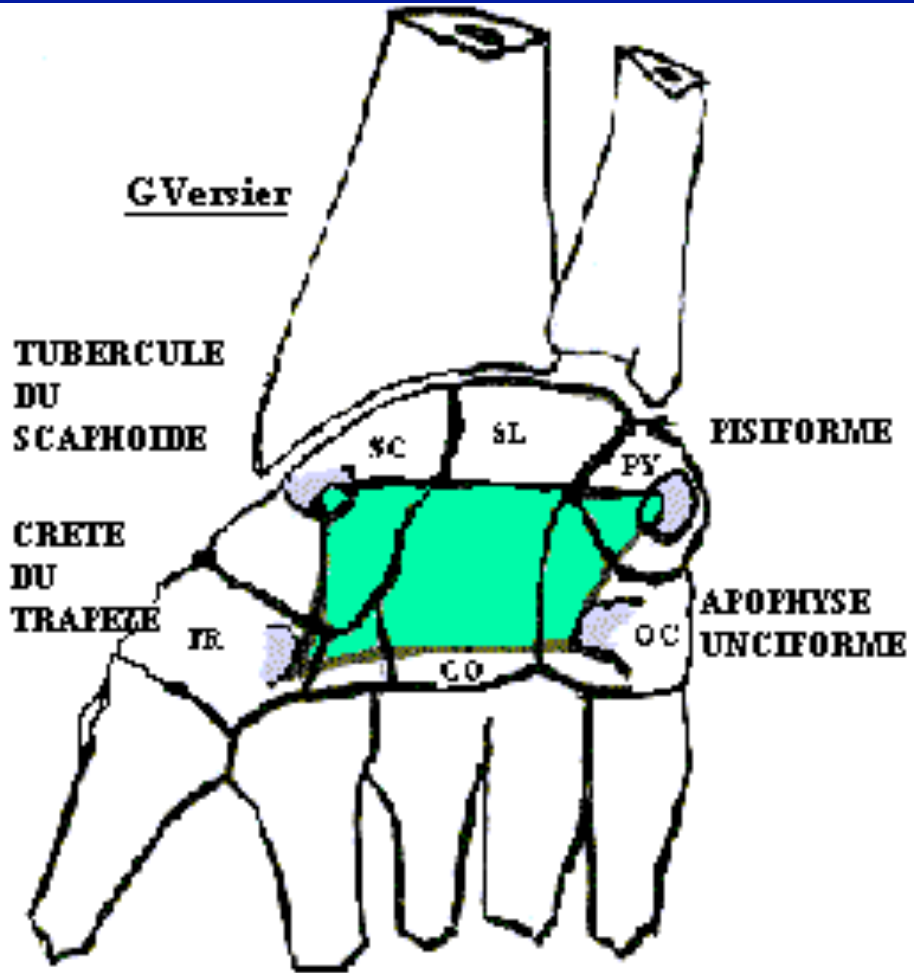
SL

PY

PISIFORME

APOPHYSE  
UNCIFORME

OC

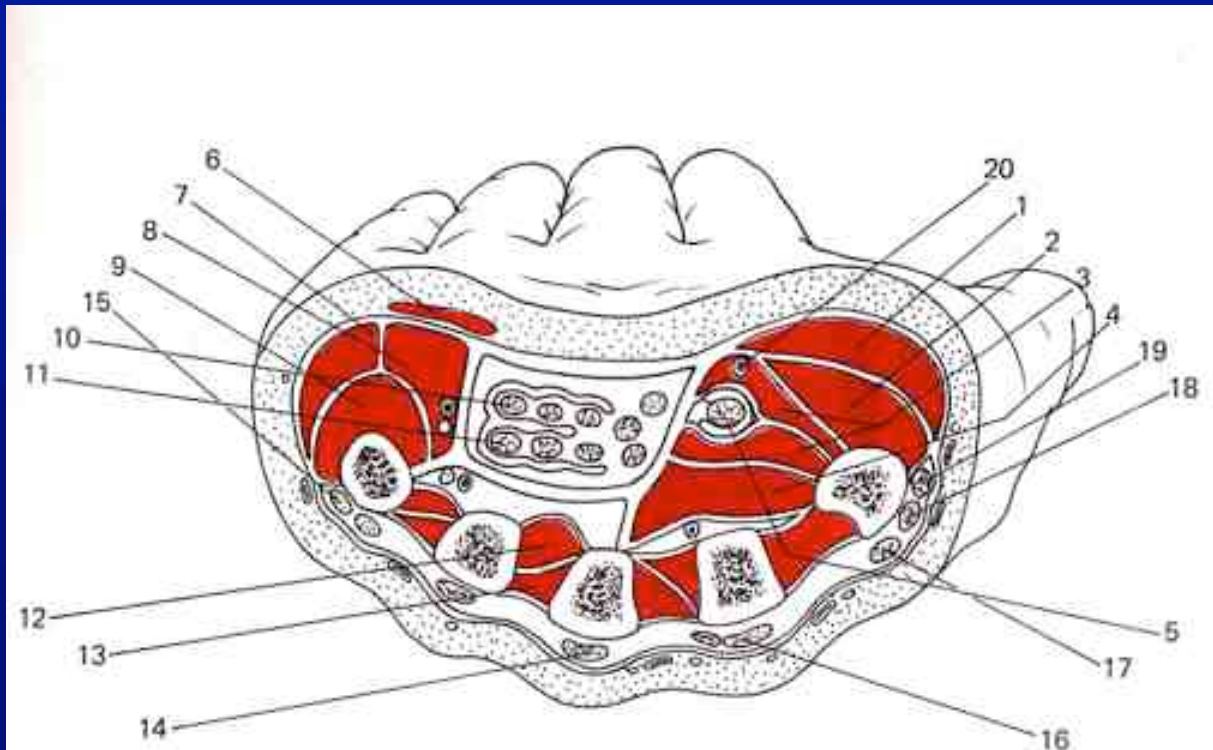




## 4- metacarpus: région de passage

La paume de la main est constituée d'une dépression: le creux de la paume et de 2 saillies:

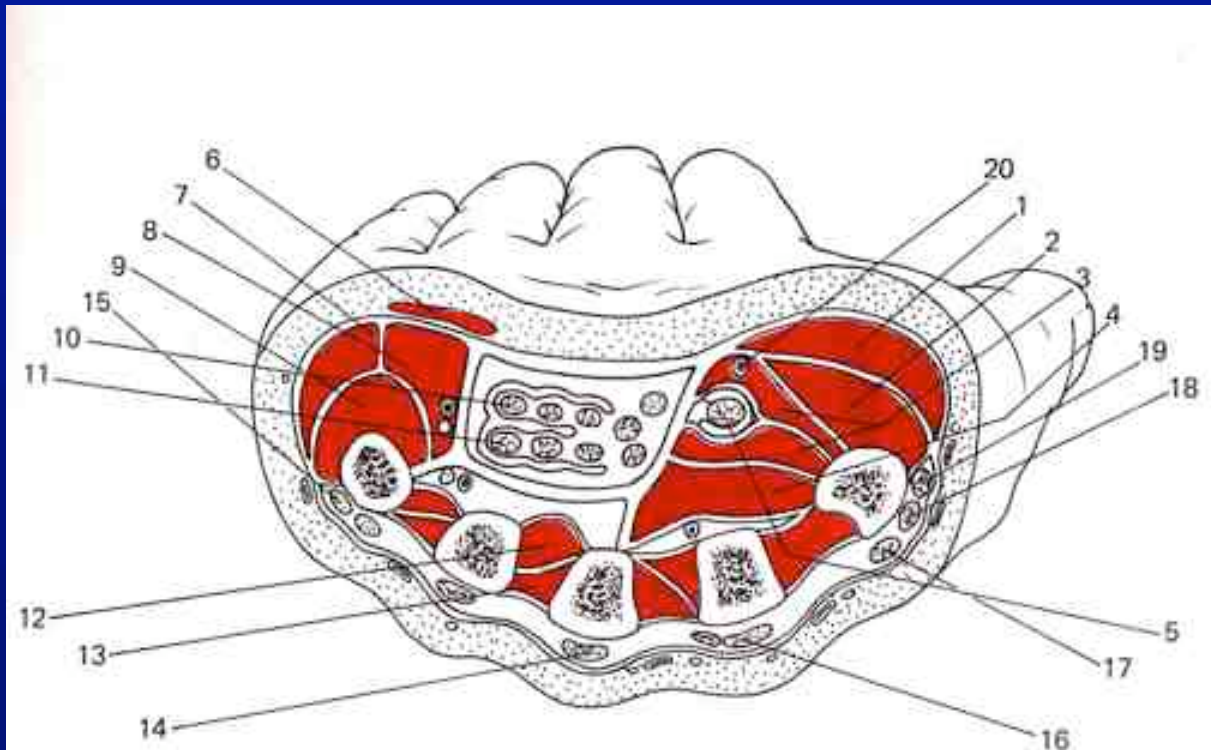
- l'éminence thénar en dehors,
- l'éminence hypothénar en dedans



## 4- metacarpus: région de passage

Ainsi sont délimitées 3 loges:

- la loge palmaire externe pour les muscles thénariens
- la loge palmaire moyenne région de passage
- la loge palmaire interne pour les muscles hypothénariens



# LA CHAÎNE DIGITALE

- **Articulations:**  
**constitution et modèle mécanique**
- **Mouvements**
- **Systemes moteurs**
- **Analyse des forces**

# Constitution articulaire et modèle mécanique

**4 doigts longs assimilables à une chaîne articulée avec:**

**- 4 pièces osseuses**

**\* le métacarpien**

**\* les 3 phalanges (P1, P2, P3)**

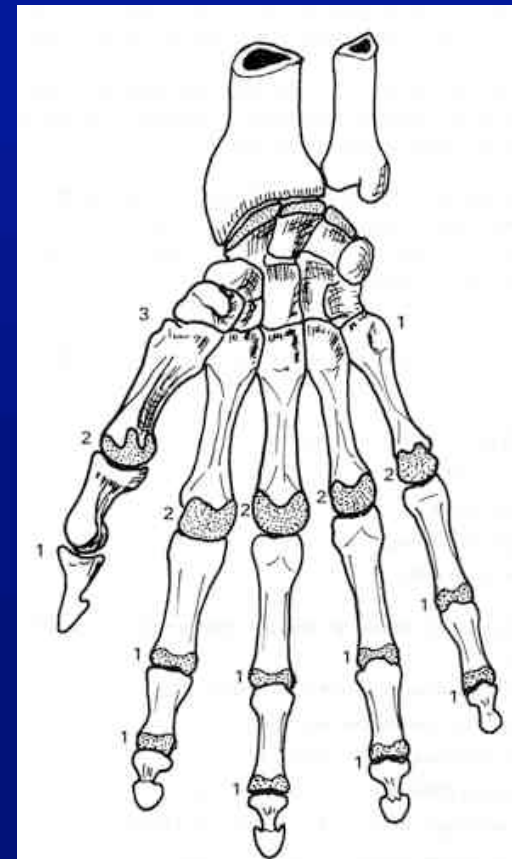
**- 3 articulations**

**\* l'A. métacarpo-phalangienne**

**\* l'A. interphalangienne**

**- proximale (IPP)**

**- distale (IPD)**



# Constitution articulaire et modèle mécanique

## 1- articulation métacarpo-phalangienne

- condylarthrose

- surfaces:

  - \* tête métacarpienne sphéroïde

  - \* base de P1 concave, cavité glénoïde

  - \* fibrocartilage antérieur,  surface de la glène

freine extension = plaque palmaire

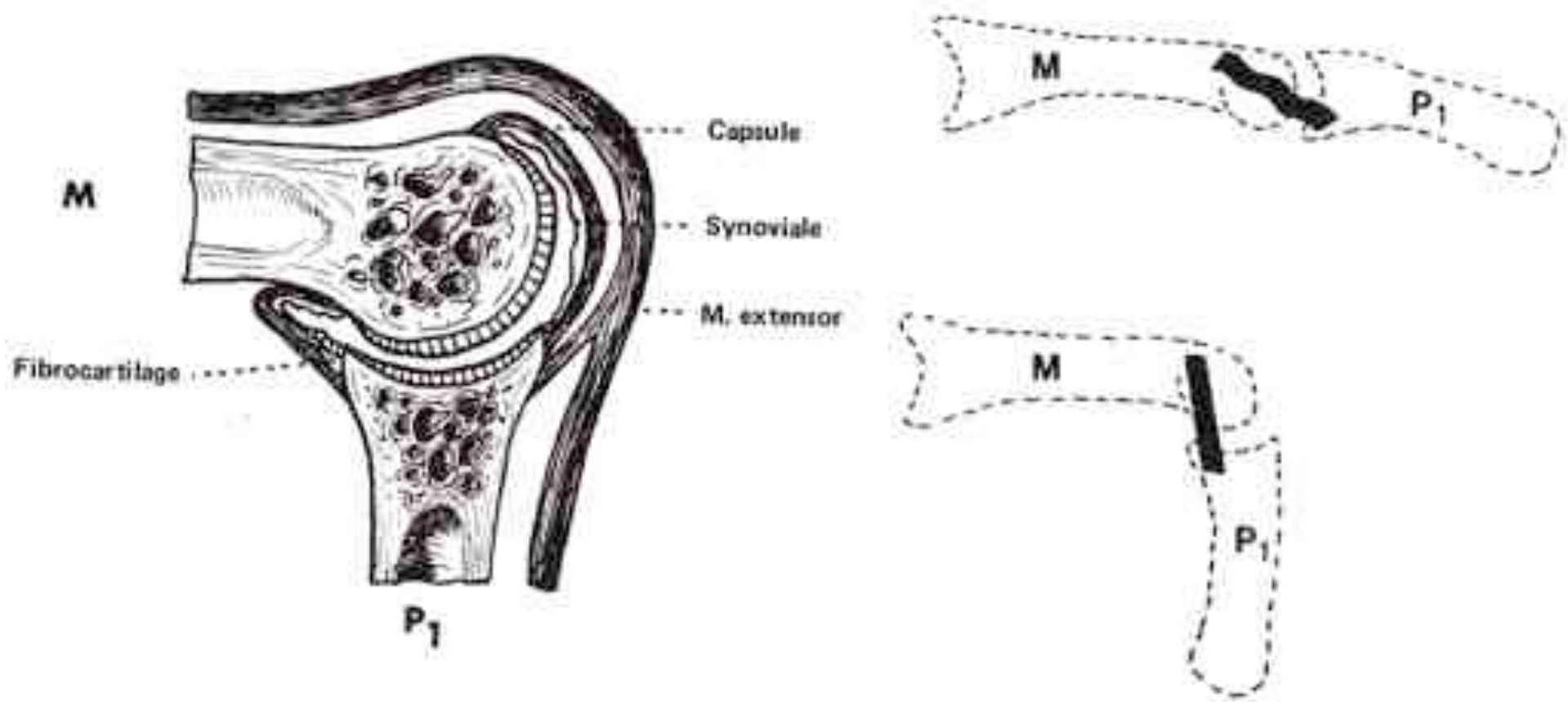
- moyens d'union:

  - \* capsule et synoviale

  - \* ligaments

    - inter-métatarsiens de D2 à D5

    - latéraux détendus en extension  
tendus en flexion



**En flexion: plus de stabilité, moins de mobilité (serrage de manche)  
En extension: plus de mobilité, moins de stabilité (tenir un ballon)**

**2 degrés de liberté +/- rotation de faible amplitude**

# Constitution articulaire et modèle mécanique

## 2- articulation inter-phalangienne

- trochlé-arthrose

- surfaces:

  - \* tête phalangienne en poulie (trochlée)

  - \* base de P2 ou P3 avec 2 cavités glénoïdes

  - \* plaque palmaire agrandie les glènes en avant

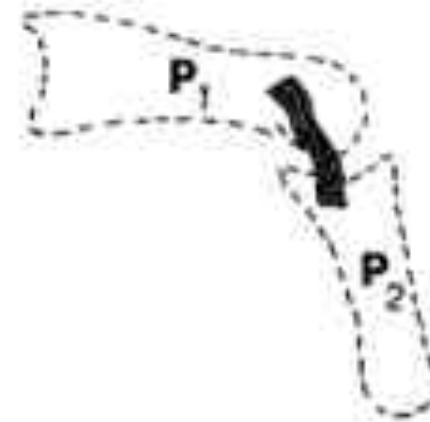
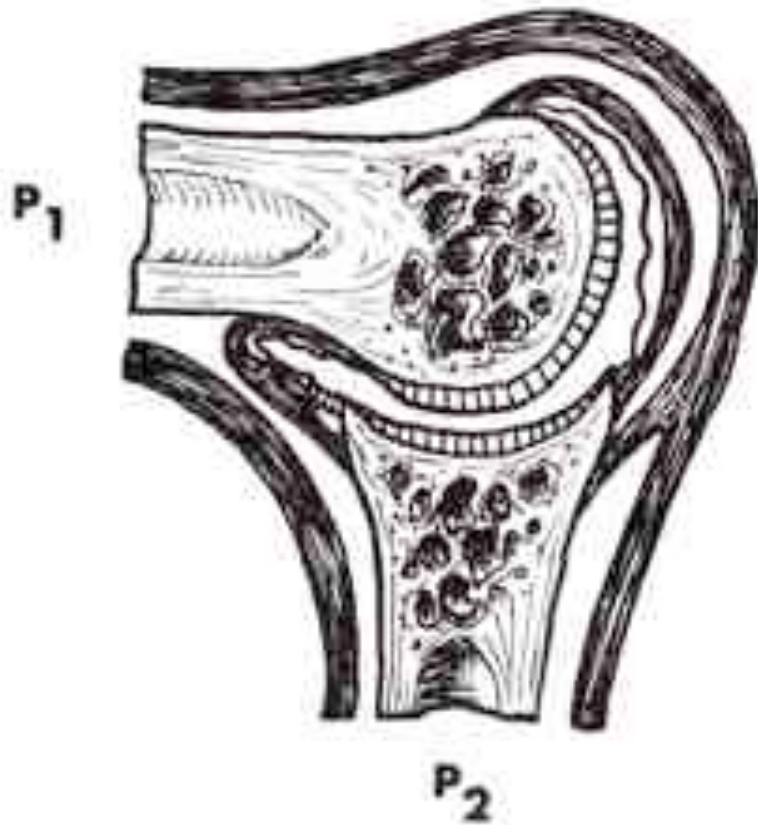
- moyens d'union:

  - \* capsule, synoviale et fibrocartilage palmaire

  - \* ligaments

    - latéraux tendus en extension

      - un peu détendus en flexion



**Extension: position de stabilité**

**1 seul degré de liberté**



# Mouvements

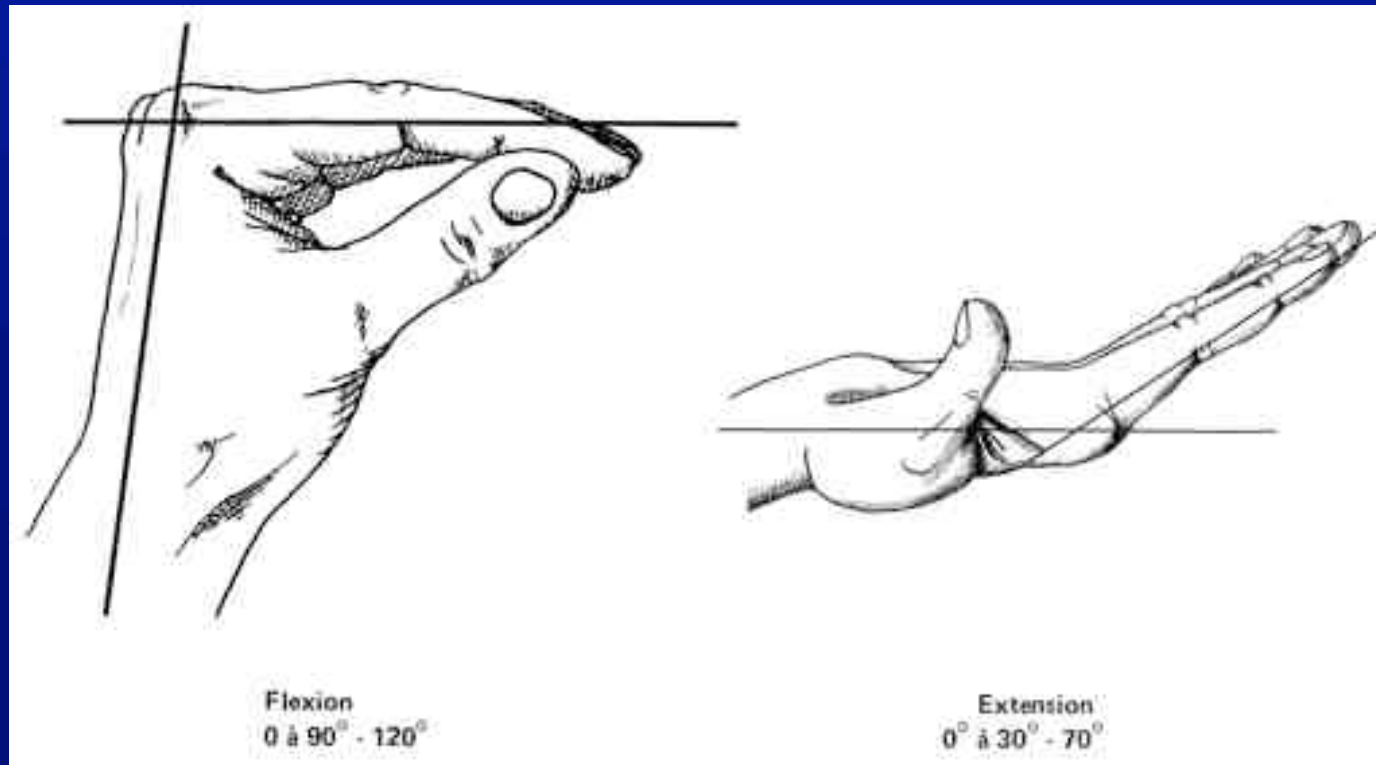
## a- articulation métacarpo-phalangienne

### \* plan sagittal

- flexion plus importante de D2 à D5

D2: 90° D3: 100° D4: 110° D5: 120°

- extension de 0 à 30° en actif, 70° en passif



# Mouvements

## a- articulation métacarpo-phalangienne

### \* **plan frontal**

- **abduction**: éloigner le doigt du 3ème (axe de référence)
- **adduction**: rapprocher ou croiser le 3ème doigt
- **amplitude globale**: 50°
- **conditions**:
  - \* possible ssi doigts en extension
  - \* jamais pur, toujours associés à rotations axiales



**Abduction**  
 $0^{\circ}$ - $50^{\circ}$



**Adduction**

# Mouvements

a- articulation métacarpo-phalangienne

**\* plan horizontal**

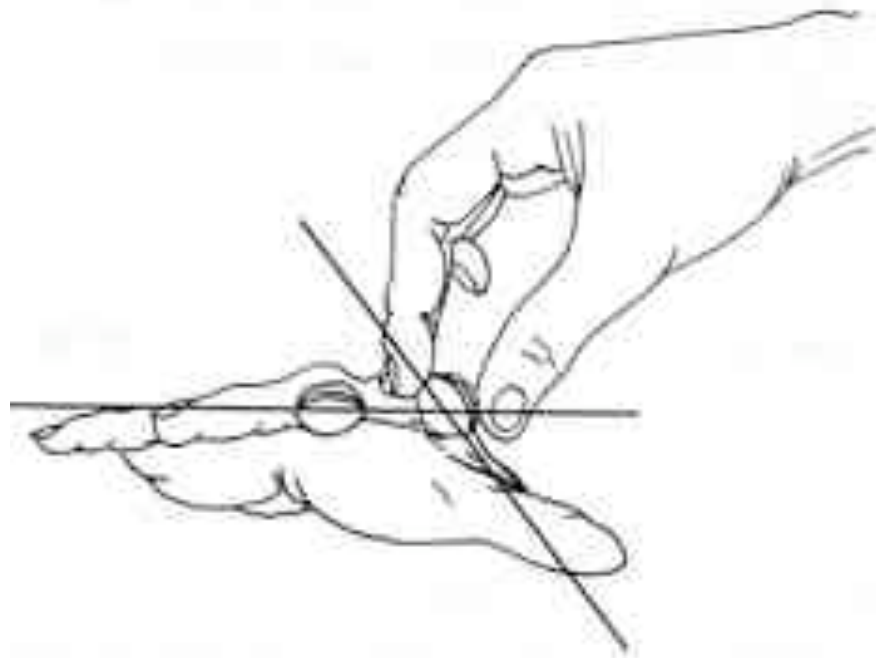
- rotation interne (+abduction):

pulpe regarde M3

- rotation externe (+ adduction)

- amplitude globale: 60°

- association constante avec abduction-adduction



Rotation médiale  
 $0^{\circ} - 30^{\circ}$



Rotation latérale  
 $0^{\circ} - 30^{\circ}$

# Mouvements

a- articulation métacarpo-phalangienne

**\* mouvements combinés: circumduction**

l'extrémité du doigt décrit la base d'un cône dont le sommet se trouve au niveau de l'articulation

# Mouvements

## b- articulation inter-phalangienne

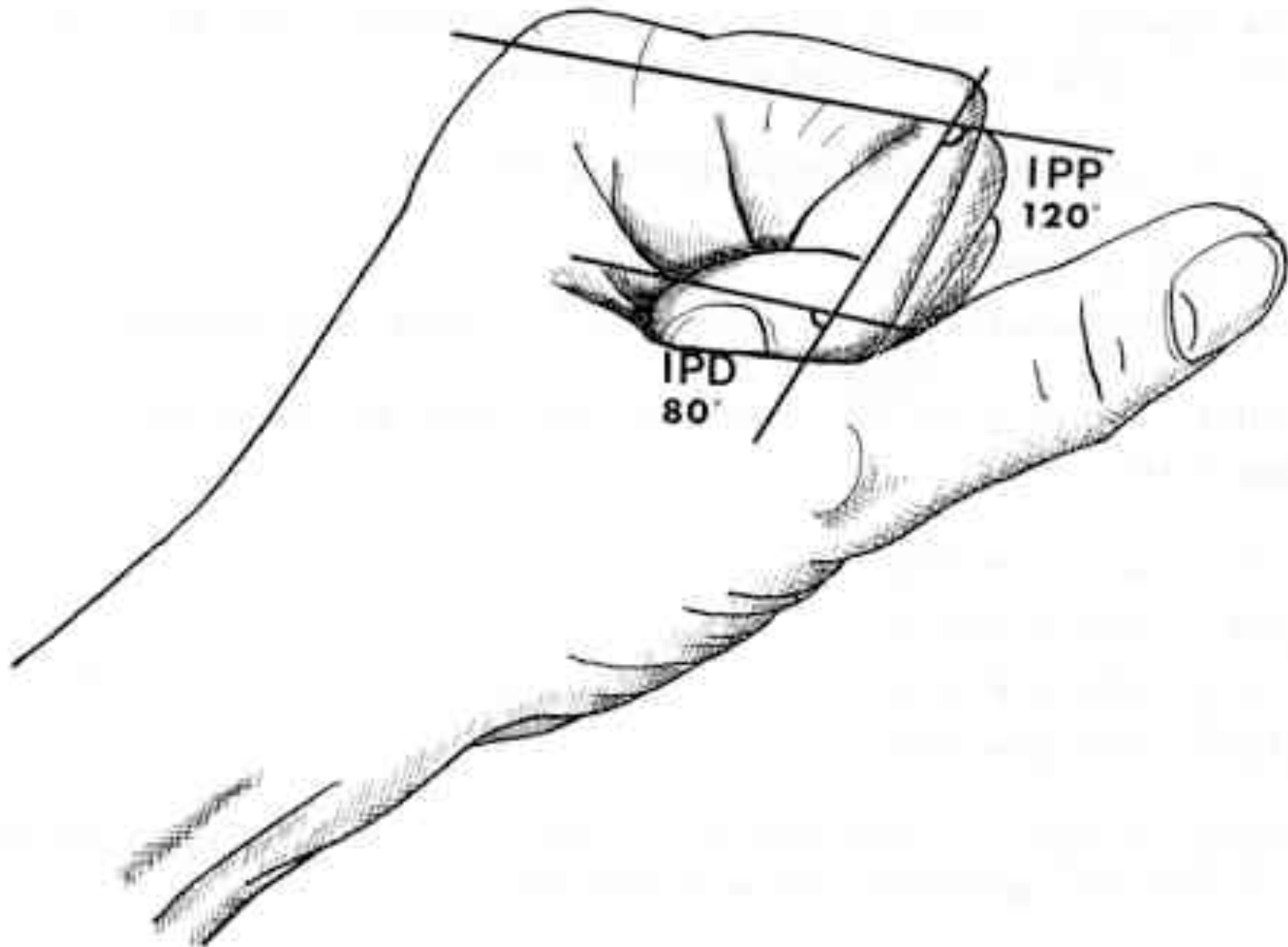
### \* au niveau de l'IPP

- extension nulle
- flexion de 0 à 120°

### \* au niveau de l'IPD

- extension active nulle, passive de 0 à 40°
- flexion de 0 à 80°

nombreuses variations physiologiques (hyperlaxité)





# Systemes moteurs

## 1- système fléchisseur

Constitué par:

- \* muscles interosseux

Terminaison du faisceau profond s'insère sur tubercule latéral de P1

- \* muscle fléchisseur commun superficiel

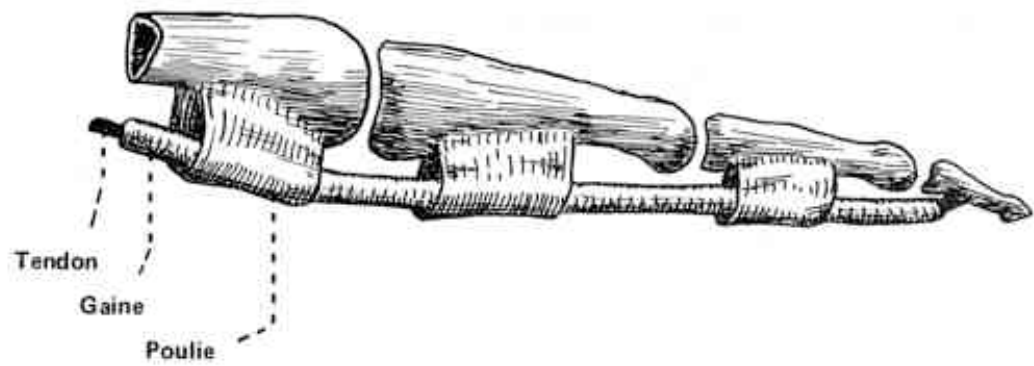
Terminaison par 2 languettes sur bords de P2

- \* muscle fléchisseur commun profond

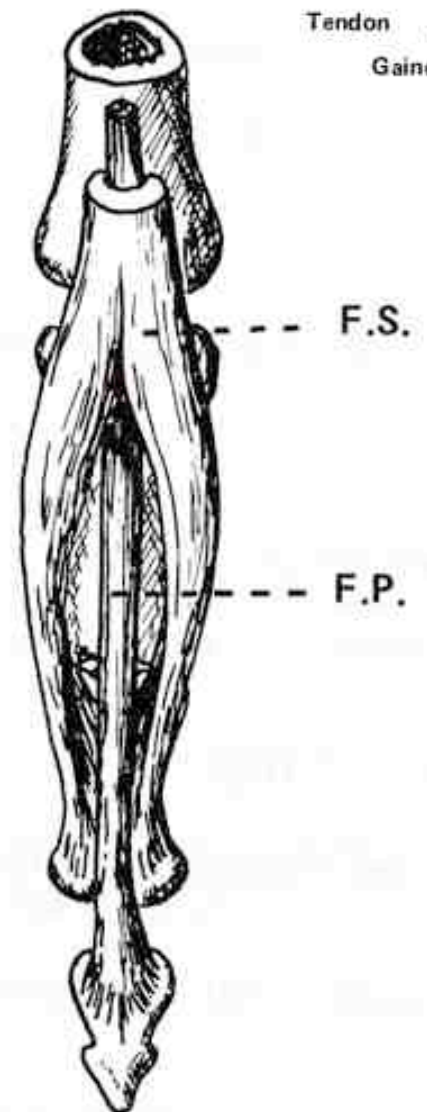
Terminaison base de P3 après passage entre les 2 languettes du FCS

coulisse favorisée par:

- \* gaines synoviales en 2 feuillets
- \* gaine fibreuse avec poulies



Vue antérieure



# Systemes moteurs

## 2- système extenseur

Constitué par:

### \* muscles extenseur commun

- Renforcé par extenseur propre pour II et V
- Terminaison sur base de P1 puis par 3 languettes
  - une médiane sur base de P2
  - deux latérales longeant P1, se fusionnent au dos de P2 et se termine sur P3

### \* muscles interosseux se terminent:

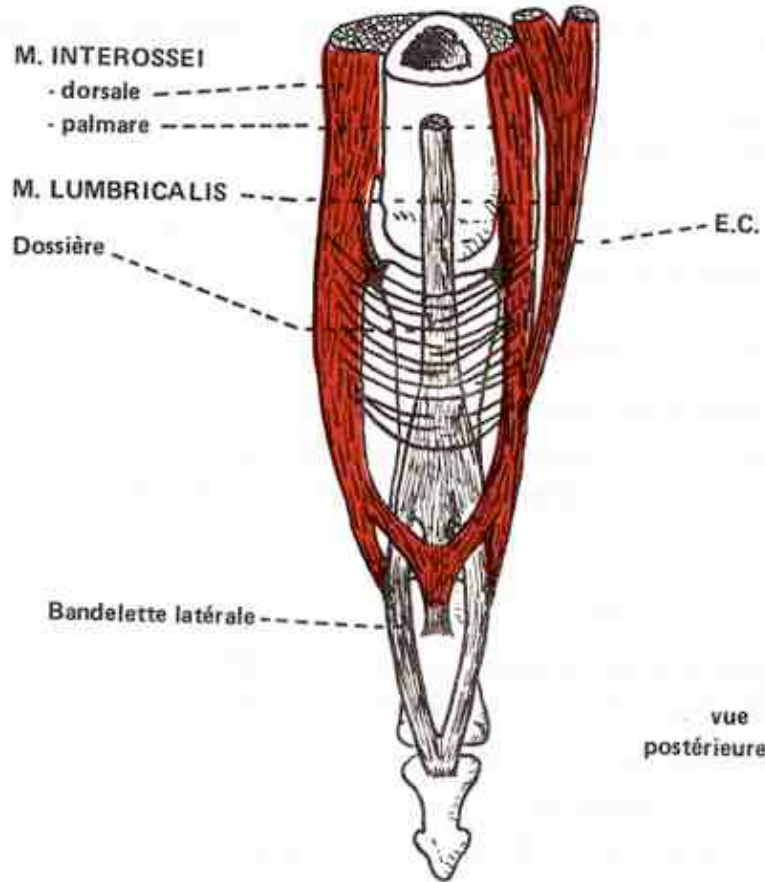
- sur expansion aponévrotique puis dossière (fibres supérieures)
- sur le tendon médial de l'extenseur (fibres moyennes)
- sur les languettes latérales de l'extenseur (fibres inférieures)

### \* muscles lombricaux

qui s'unit aux fibres supérieures des interosseux

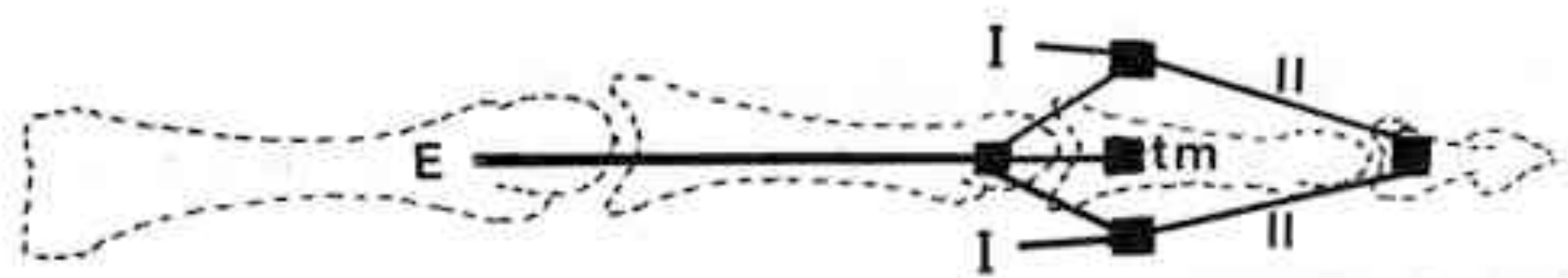


Vue externe



vue  
postérieure





**Schématisation de la terminaison de l'extenseur: triangle**

# Systemes moteurs

## 2- système extenseur

Action des intrinsèques:

**\* tous fléchissent la MP**

**\* tous étendent les IP mais**

-Interosseux agissent si MP est extension

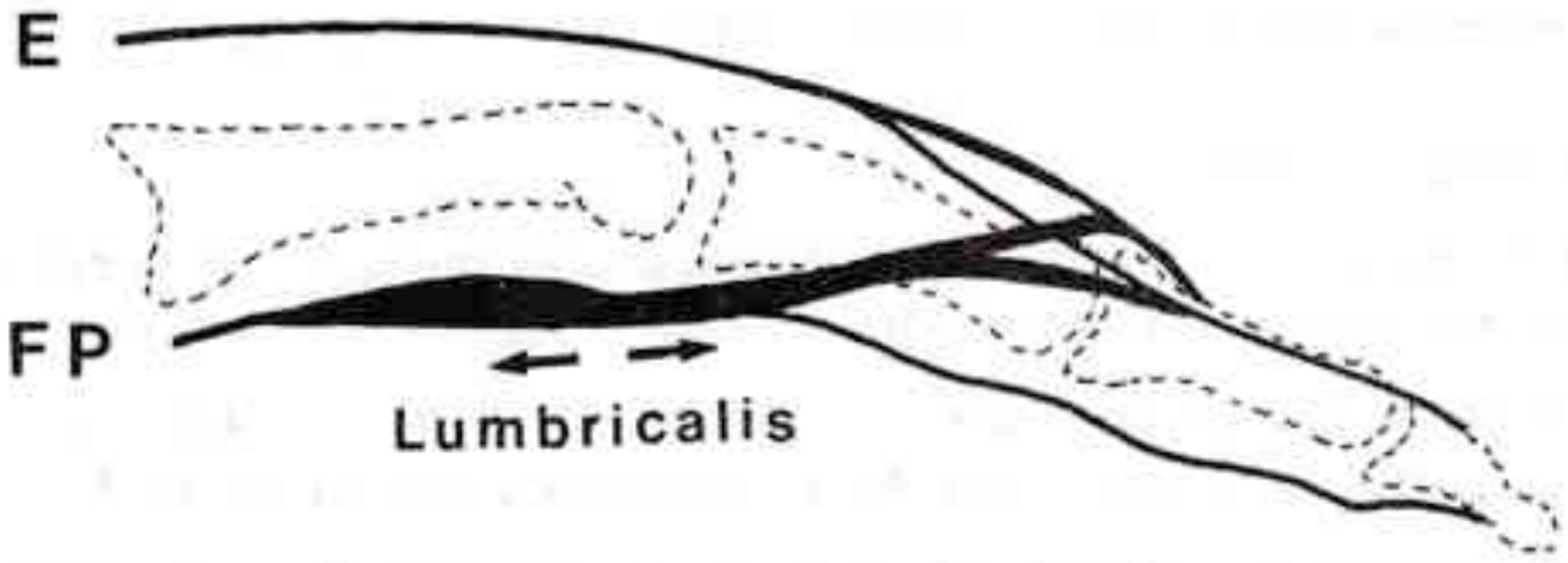
-Lombicaux agissent quelque soit la position de la MP

**\* attraction du FCP par le m. lombrical**

Libération de P3 donc plus de dextérité

**\* « tensiomètre » régulateur de la F-E**

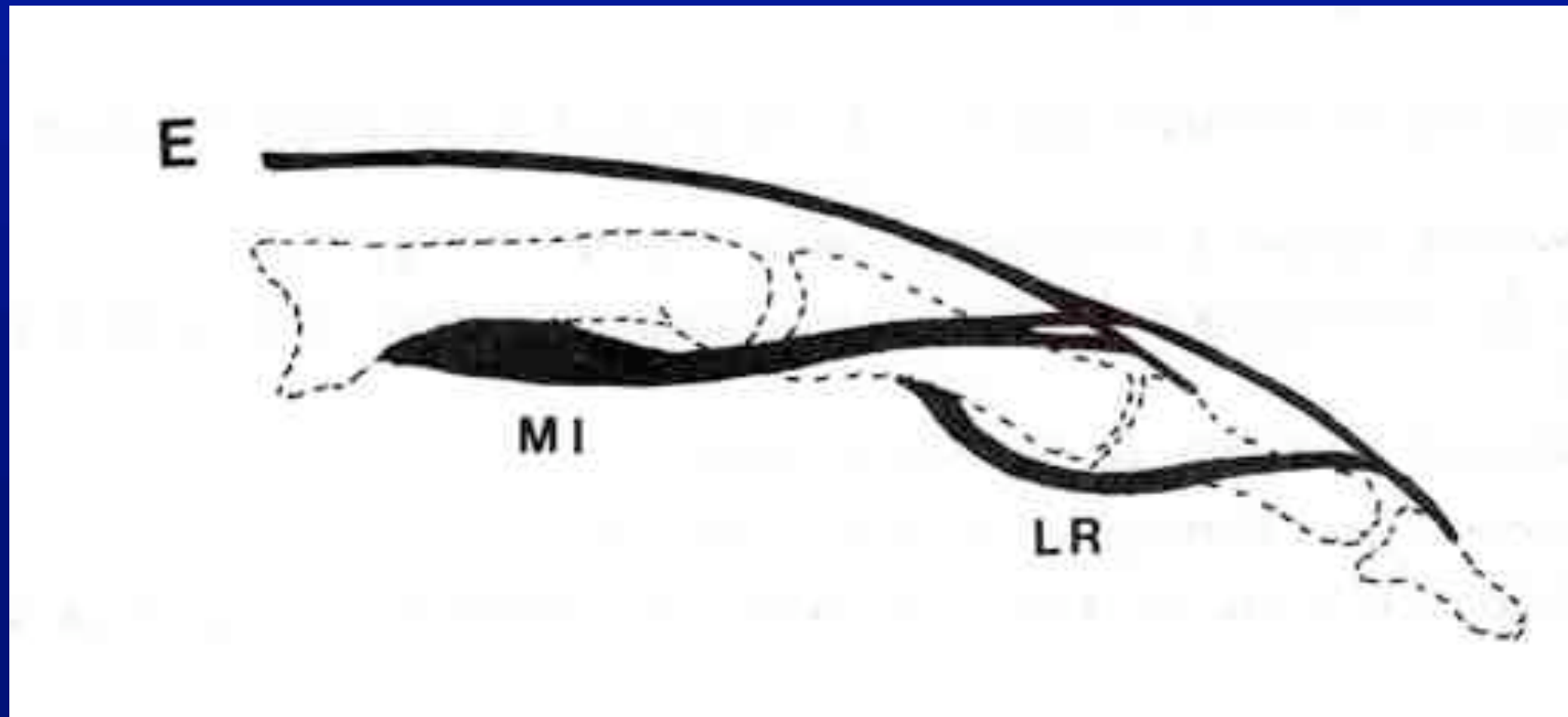
Car m. lombrical est uni aux 2 systèmes



# Systemes moteurs

## 3- ligament rétinaculaire

- Tendu de la gaine fibreuse antérieure
- Terminaison sur languette latérale
- Croise le bord latéral de P2





# Systemes moteurs

- **Déplacement du système extenseur au cours des mouvements**
  - **glissement distal en flexion**
  - **glissement proximal en extension**
  - **déplacement ventral des bandelettes latérales sur IPP au cours de la flexion**

# Systemes moteurs

## 3- système abducteur - adducteur

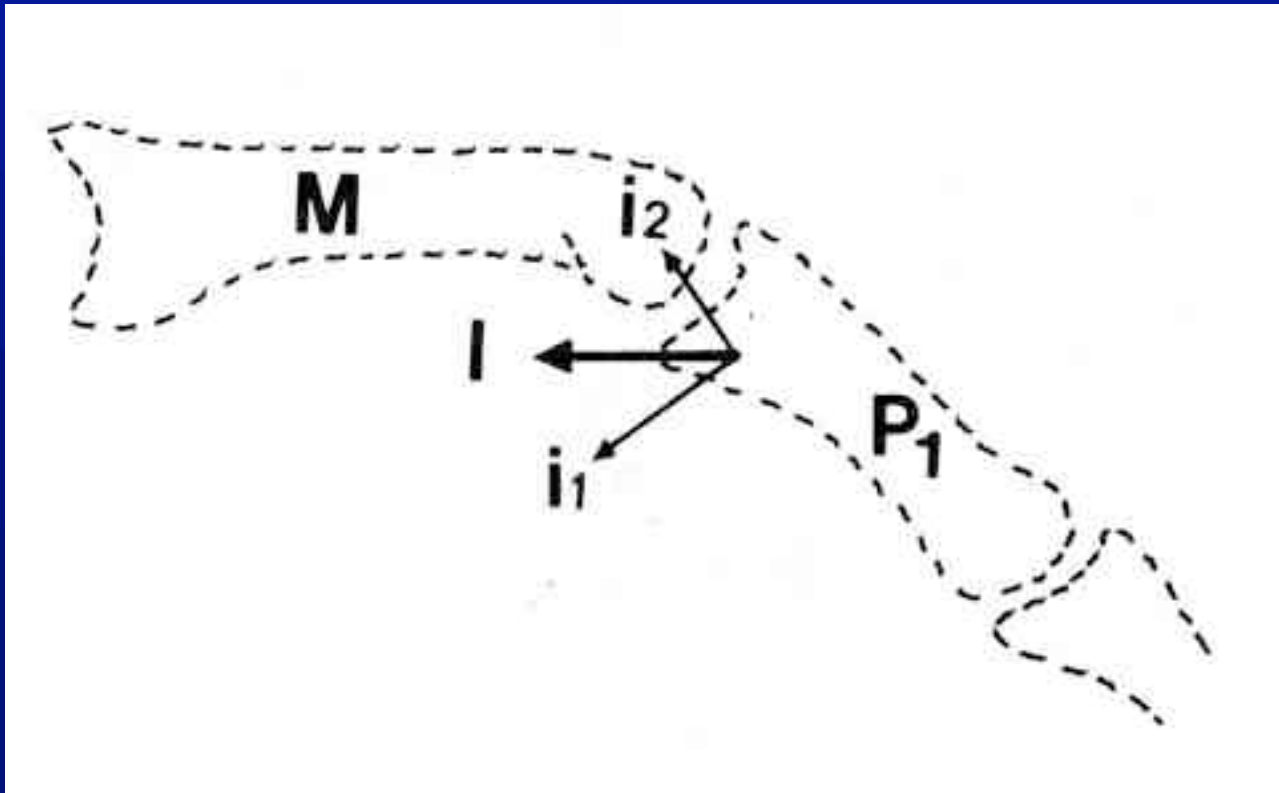
- Représenté par les interosseux
  - IO palmaires sont adducteurs
  - IO dorsaux sont abducteurs
- pour le V: abducteur du V (hypothénarien)

# Analyse des forces

## 1- La flexion des doigts

### a- flexion des MP

Est sous la seule dépendance des inter-osseux dont un faisceau s'insère sur le tubercule latéral de P1: force I

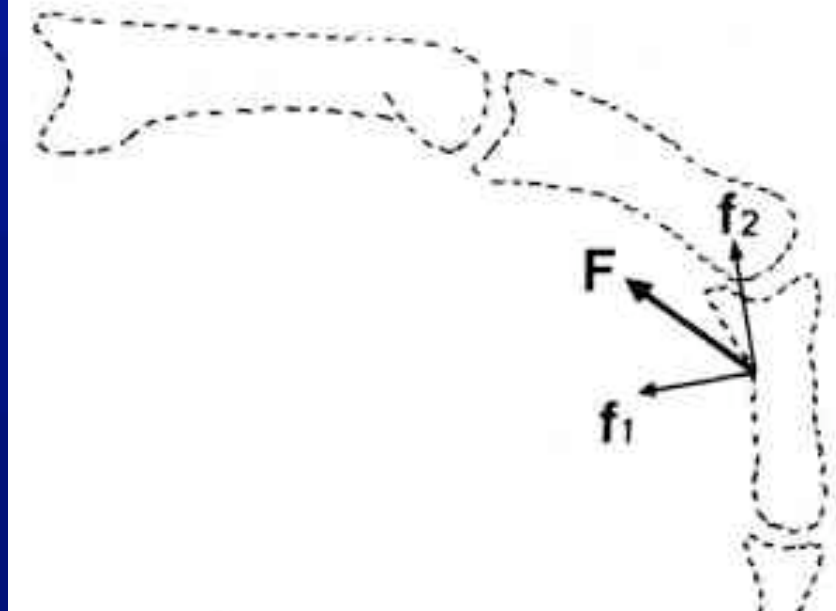
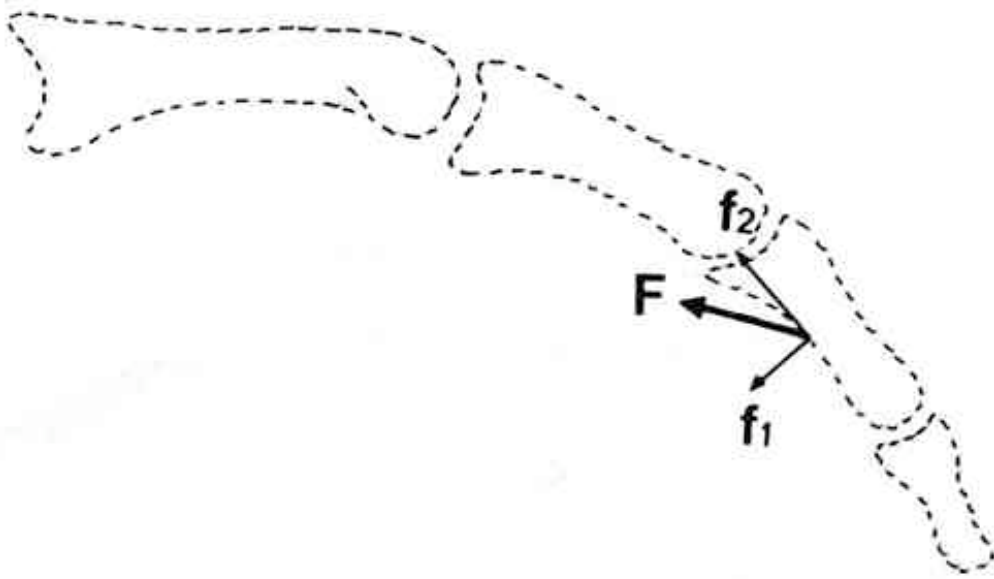


# Analyse des forces

## 1- La flexion des doigts

### b- flexion des IP

- Au niveau de l'IPP:
  - Action du FCS, la force  $f_1$  augmente avec la flexion



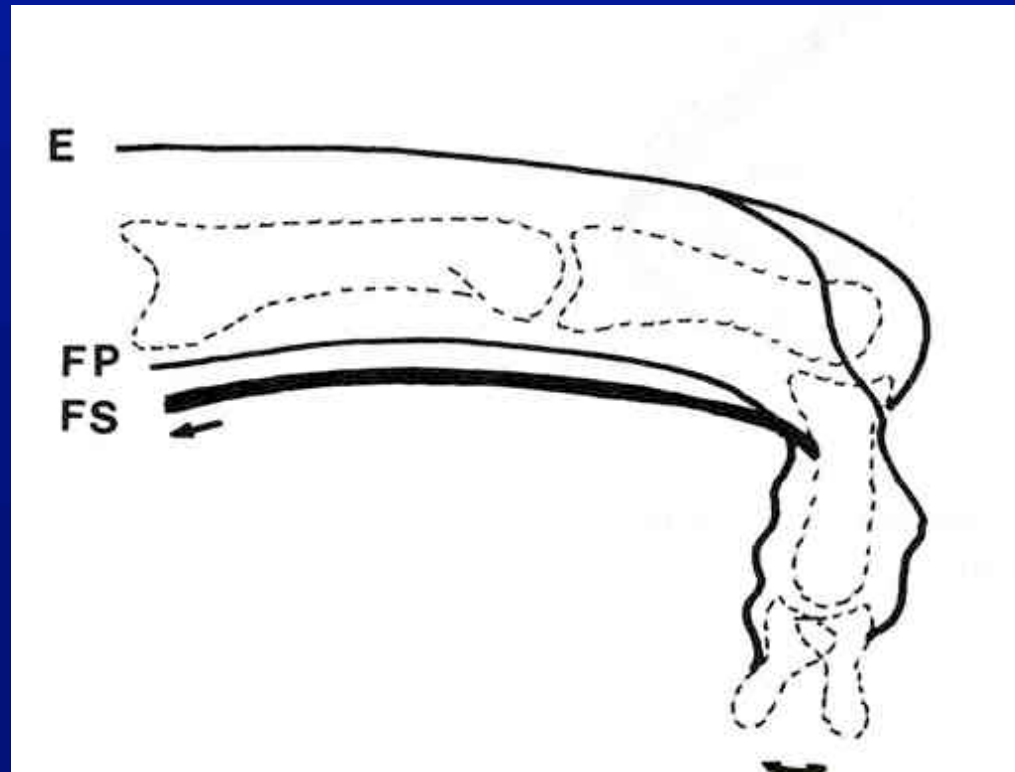
# Analyse des forces

## 1- La flexion des doigts

### b- flexion des IP

- Au niveau de l'IPP:
  - Au delà de  $90^\circ$ , P3 n'est plus contrôlé par le FCP

**Phénomène  
du doigt libre**

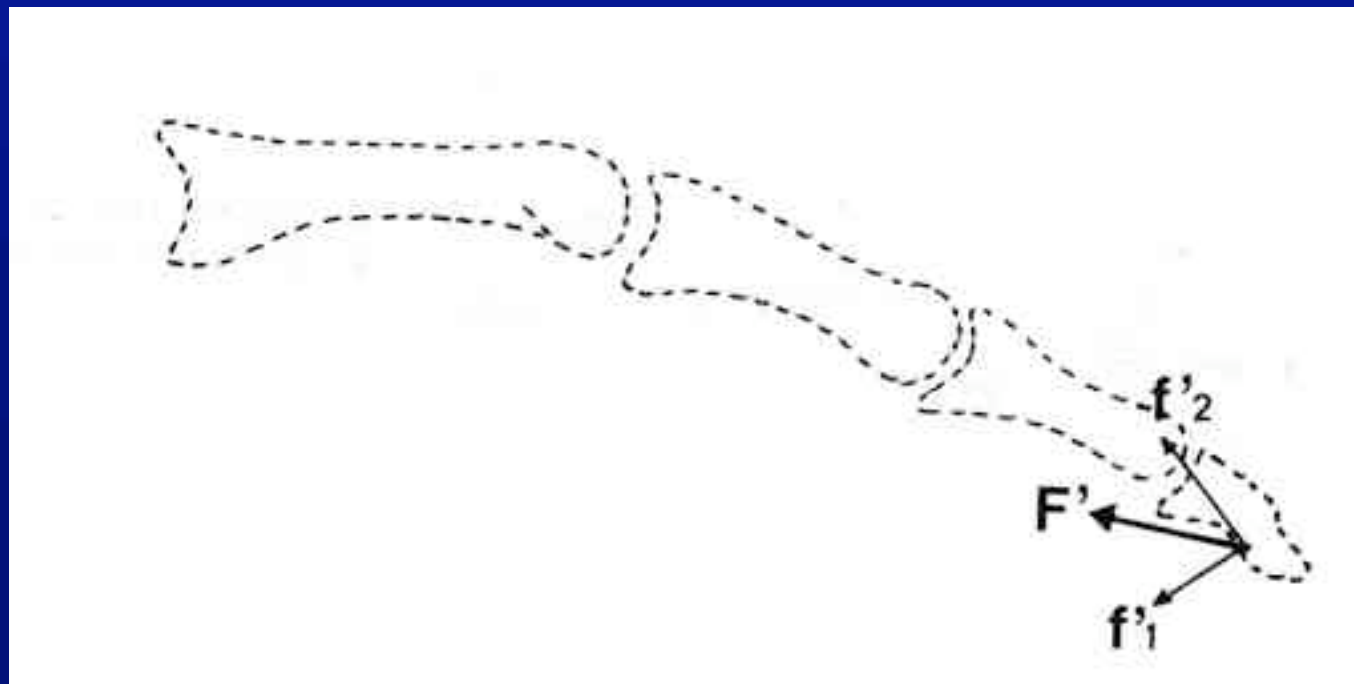


# Analyse des forces

## 1- La flexion des doigts

### b- flexion des IP

- Au niveau de l'IPD:
  - Action du FCP, la flexion de P3 met en tension le ligament rétinaculaire entraînant la flexion de l'IPP



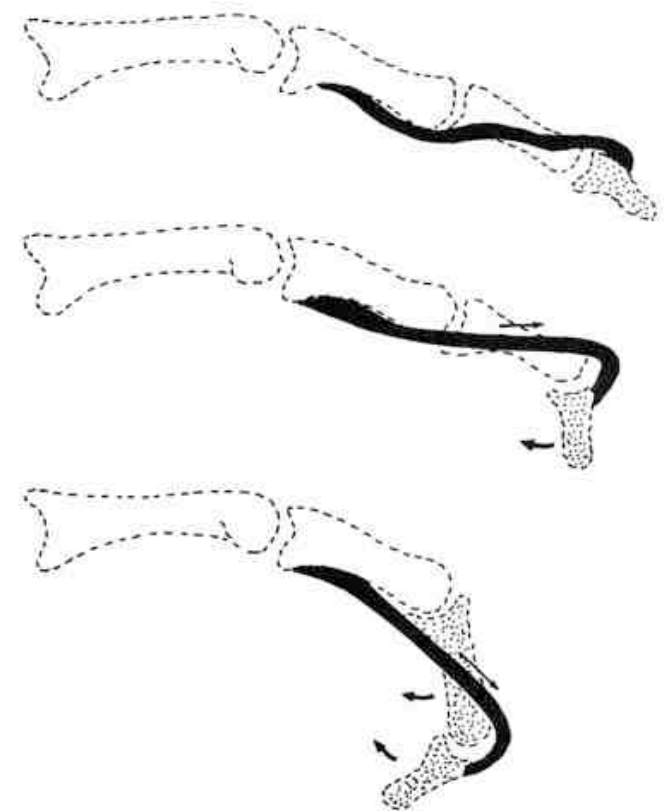
# Analyse des forces

## 1- La flexion des doigts

### b- flexion des IP

- Action couplante du ligament rétinaculaire

**Ainsi, si absence ou lésion du FCS, l'enroulement en flexion du doigt est possible**



# Analyse des forces

## 2- L'extension des doigts

**Beaucoup plus complexe que la flexion:**

- débute par l'extension de la MP
- les IP commence à s'étendre à mi-course de l'extension de la MP
- l'extension de l'IPP précède l'extension de l'IPD
- l'amplitude est plus grande dans l'IPP que l'IPD



# Analyse des forces

## 2- L'extension des doigts

### a- dans la MP

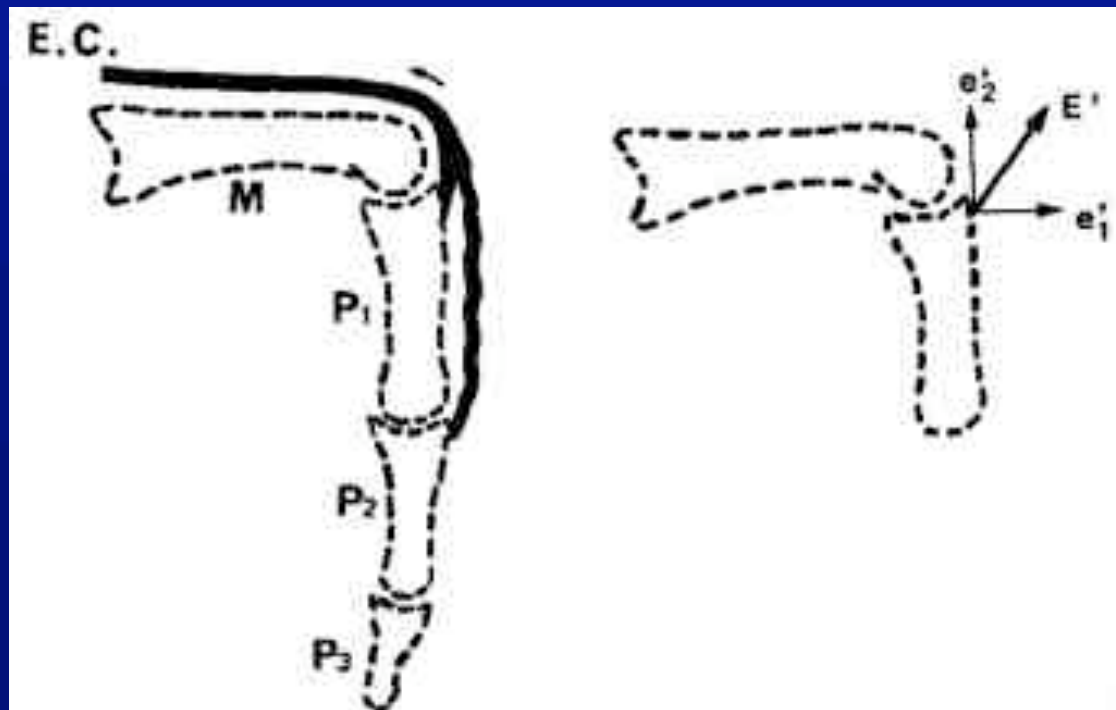
- Action de l'extenseur commun et du FCS (stabilisateur)
- mécanisme dépend de la position des IP
  - IP en extension:
  - IP en flexion

# Analyse des forces

## a- dans la MP

### - si IP en extension

- Glissement proximal du système par mise en tension de sa languette d'insertion sur P1
- Force  $E'$  se décompose en force  $e'1$  d'extension et  $e'2$  de plaquage sur le méta

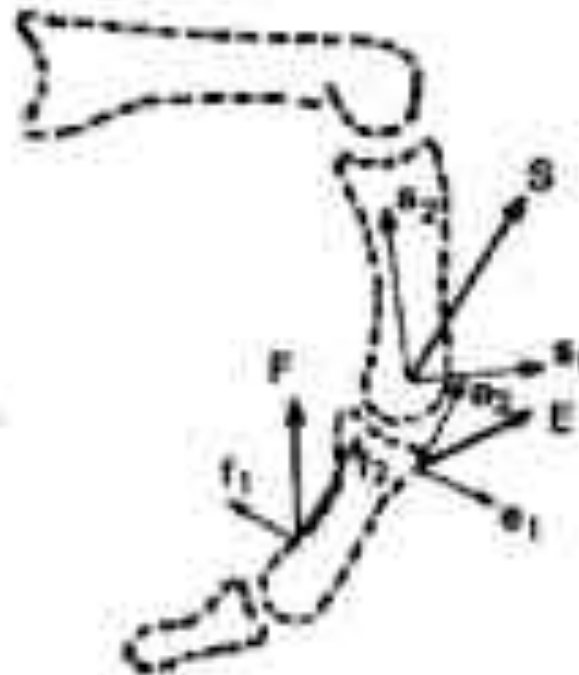
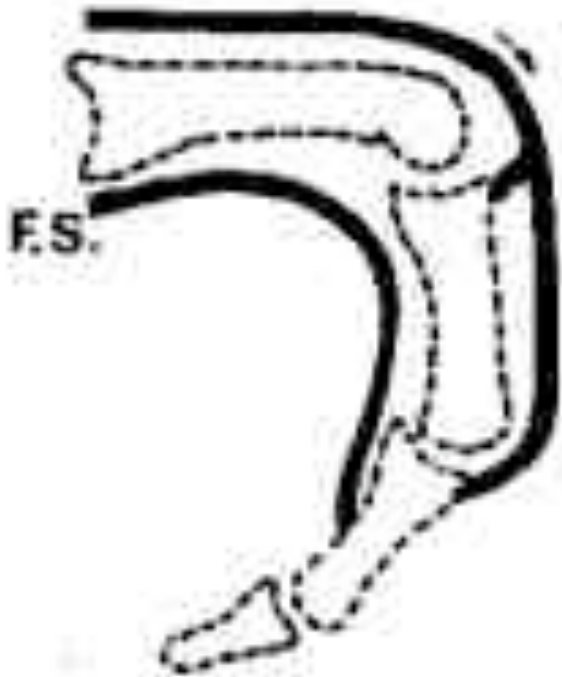


# Analyse des forces

## a- dans la MP

### - si IP en flexion

- Glissement distal du système extenseur avec détente de la languette d'insertion sur P1
- base de P2 refoule en arrière la tête de P1 (e2 et f2)



E force de l'EC  
F force du FCS  
 $S = e2 + f2$

S1 fait tourner P1

S2 plaque P1 sur  
M

# Analyse des forces

## 2- L'extension des doigts

### a- dans les IP

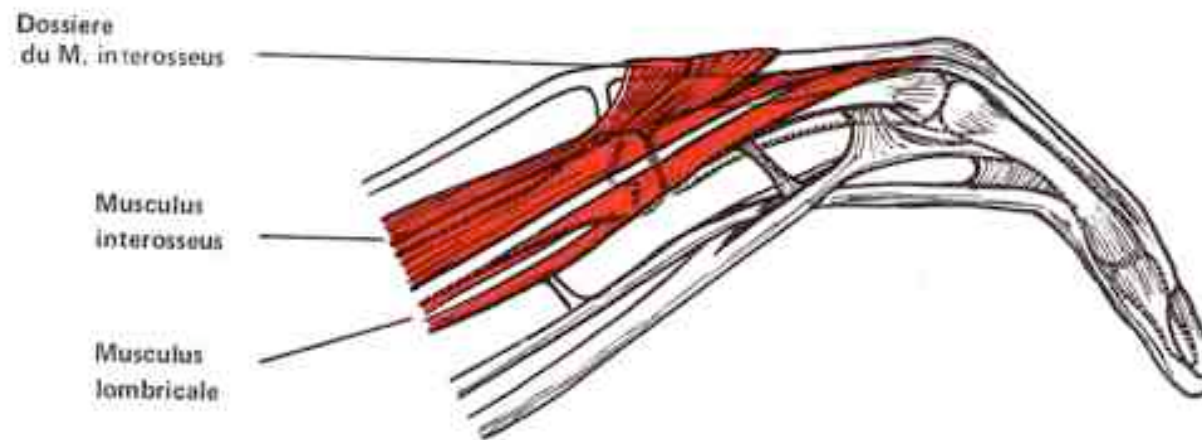
- est sous l'action de l'extenseur commun et des intrinsèques
- le mécanisme dépend de la position de la MP
  - MP en extension:
  - MP en flexion

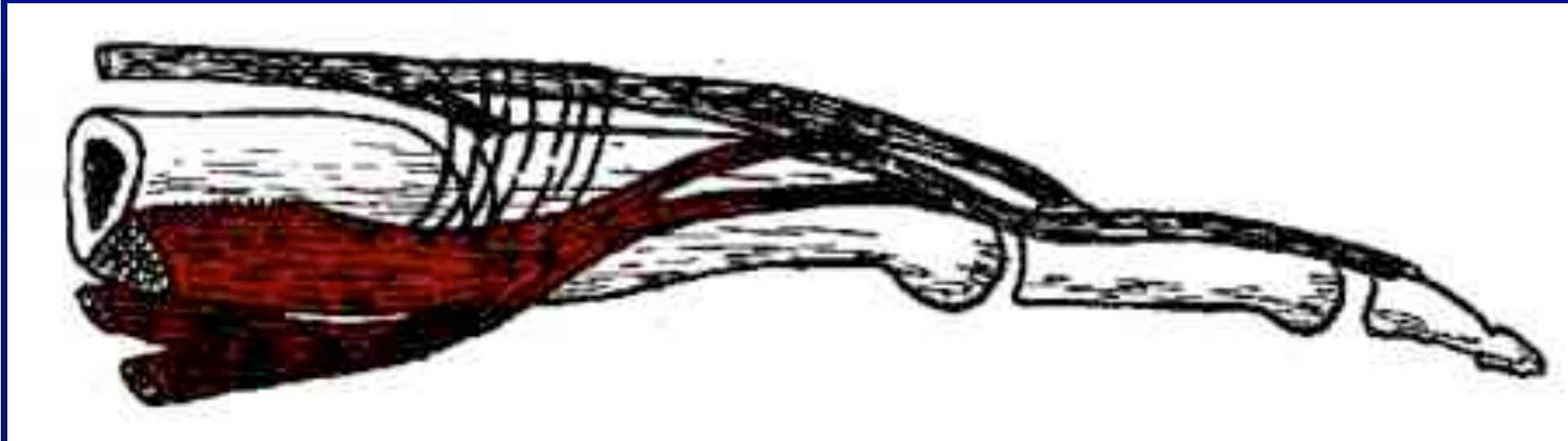
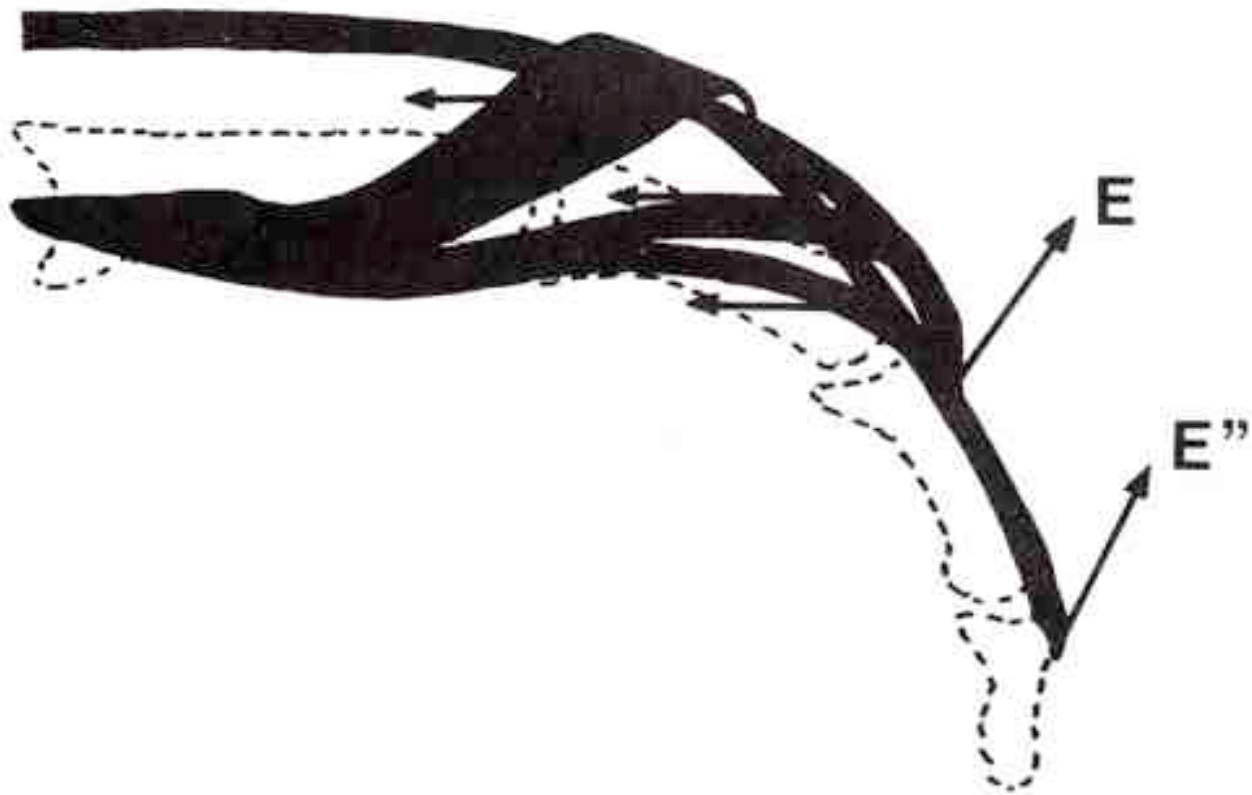
# Analyse des forces

## Si la MP est en extension

### - Action des interosseux:

- en redressant la MP, l'EC ramène la dossière sur le dos de la MP supprimant ainsi les forces qui la plaque à P1 et qui vont alors être transmises au tendon médial et aux bandelettes latérales entraînant l'extension des IP

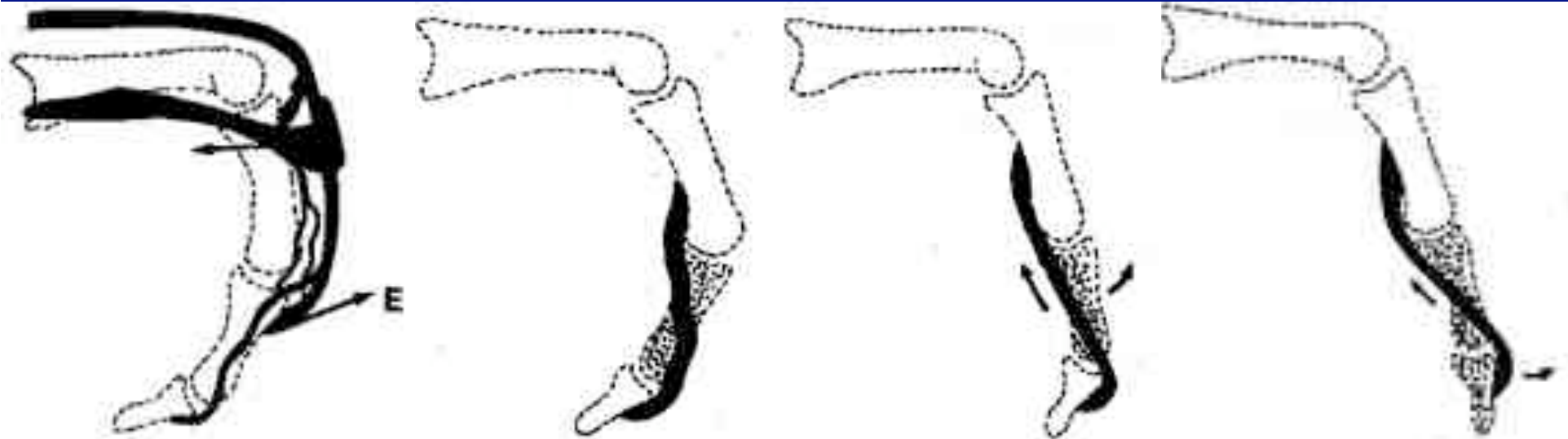




# Analyse des forces

## Si la MP est en flexion

- extension des IP par EC et liga. rétinaculaire:
- les interosseux tire sur la dossière et la plaque sur P1, la maintenant fléchie. La dossière absorbe toutes les forces
- l'EC étend P2 par sa bandelette médiale
- l'extension de l'IPP met en tension le ligament rétinaculaire qui entraîne une extension de P3



# Analyse des forces

**Globalement, on peut retenir que l'extension est sous l'influence:**

- de l'EC si MP est fléchi entre  $90^\circ$  et  $45^\circ$**
- des intrinsèques si MP entre  $45^\circ$  et  $0^\circ$**



# Analyse des forces

## 3- balance entre les 2 systèmes (F-E)

### a- position de repos

- les articulations sont maintenues en légère flexion
- cela nécessite une balance parfaite:
  - au niveau de la MP: équilibre intrinsèques - extenseur commun
  - au niveau de IPP: équilibre fléchisseur CS- extenseur commun
  - au niveau de IPD: équilibre FCP - intrinsèques

### b- moment des forces

$M \text{ fléchisseurs} > M \text{ extenseurs}$



légère flexion

