

Biomécanique du Genou



LCA



PR GILBERT VERSIER
Service de chirurgie orthopédique
HIA BEGIN 94160 SAINT-MANDE

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

INTRODUCTION

- **Articulation intermédiaire portante du MI**
- **2 systèmes articulaires:**
 - la bi-condylienne fémoro-tibiale, complexe
 - la trochléenne fémoro-patellaire
- **Même enceinte capsulo-synoviale**

INTRODUCTION

- Sollicitations mécaniques très élevées
- Mauvaises conditions mécaniques
 - Surfaces non concordantes
 - Articulations superficielles
 - Tendons terminaux proche du centre de rotation donc ce qui diminue leurs moments et leur action stabilisatrice
 - Système ligamentaire sophistiqué

INTRODUCTION

- **Et pourtant deux impératifs:**
 - grande stabilité en particulier en extension
 - grande mobilité (flexion) autorisant la course
- **2 degrés de liberté**
 - flexion-extension
 - mais rotation en flexion

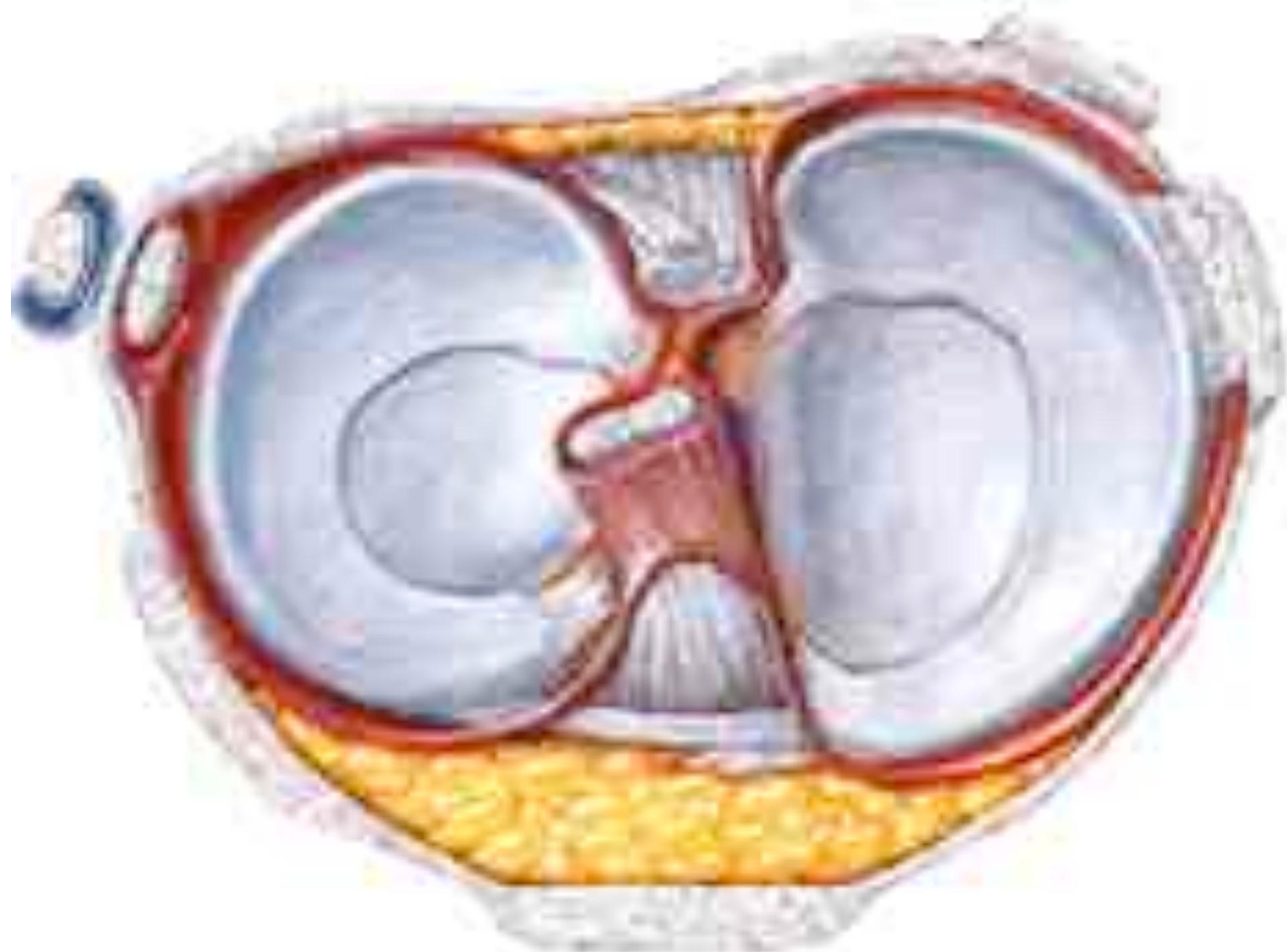
ANATOMIE

- 3 pièces osseuses asymétriques
- Les condyles sont asymétriques
- Les plateaux tibiaux sont asymétriques
- Les versants rotuliens et les berges trochléennes sont asymétriques
- 3 compartiments:
 - Fémoro-tibial interne
 - Fémoro-tibial externe
 - Fémoro-patellaire
- Une capsule et une synoviale commune



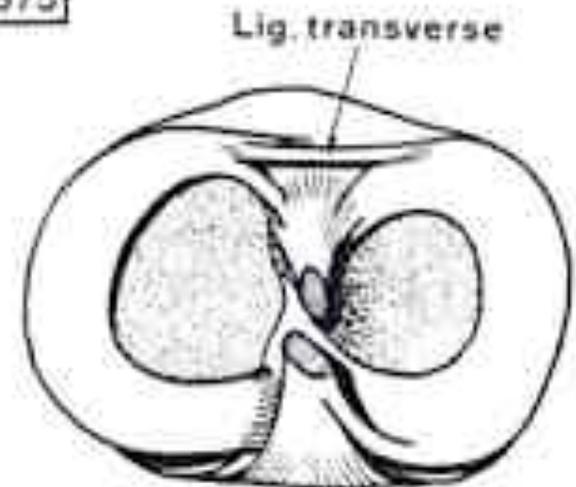
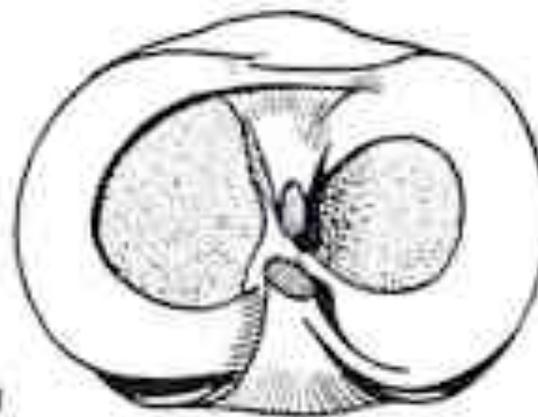
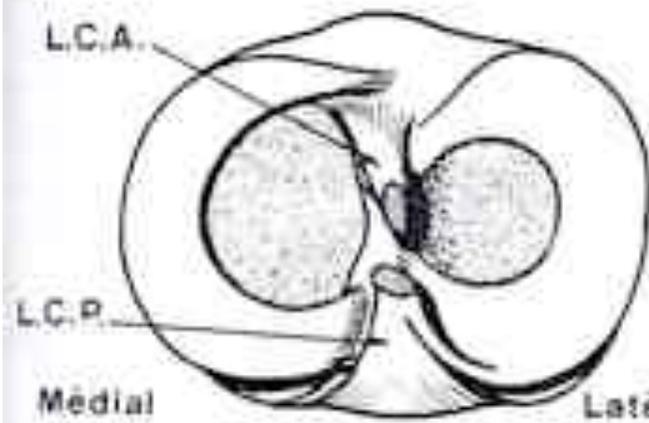






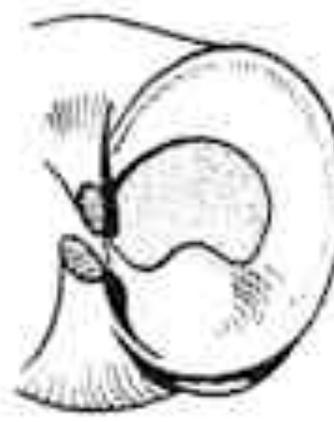
Variations des ménisques

575



(d'après de Palma)

VARIATIONS : CORNES ANTERIEURES



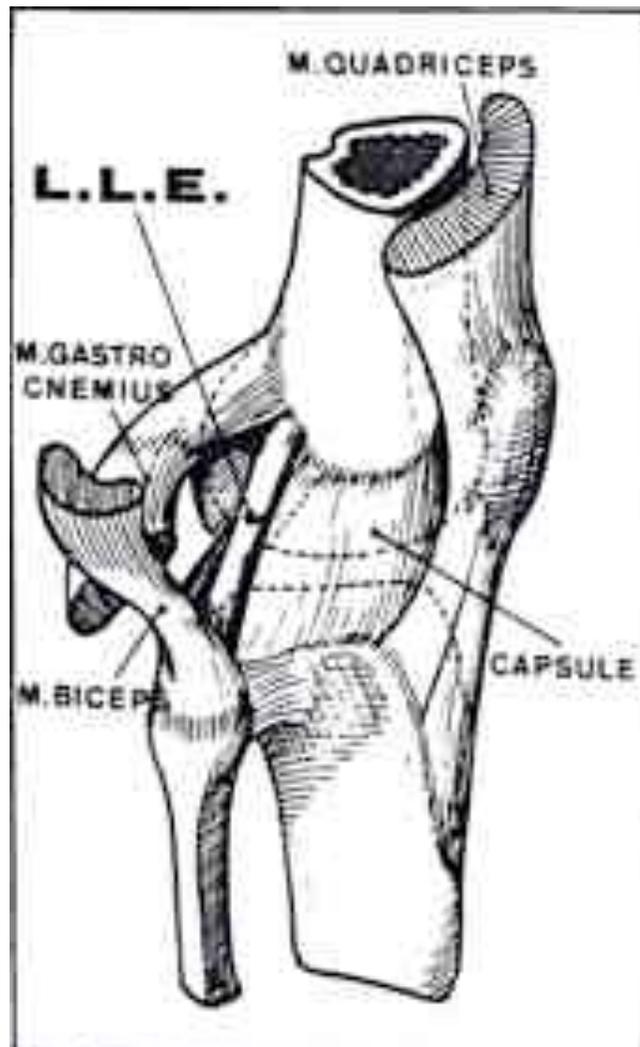
MENISQUES DISCOÏDES











Le lig. latéral externe en flexion

(COLLATERAL LATERAL OU COLLATERAL FIBULAIRE)

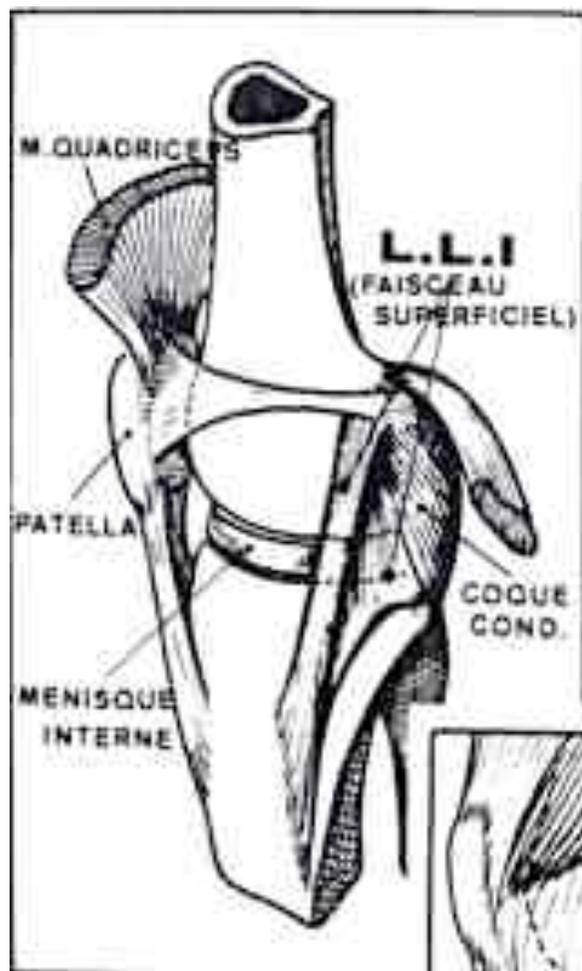
5421





Le lig. latéral interne en flexion (COLLATERAL MEDIAL OU COLLATERAL TIBIAL)

5422



LE LIGAMENT
CAPSULAIRE

MOUVEMENTS

- **Position référentielle:**
 - position zéro-anatomique
 - debout, au garde à vous, genou en extension
- **Position fonctionnelle**
 - Position genou déverrouillé
 - la plus fréquemment adoptée en attitude courante

MOUVEMENTS

- **Dans le plan sagittal**
 - flexion-extension
 - toujours associé à des mouvements de rotation
 - intérêt dans la physiologie
 - intérêt dans la physio-pathogénie
 - distinguer le passif de l'actif
 - extension est la position de référence:
 - alignement Tête / appui fémoro-tibial / centre poulie
 - le mouvement est alors l'hyperextension

MOUVEMENTS

- **Dans le plan sagittal**

- **flexion**

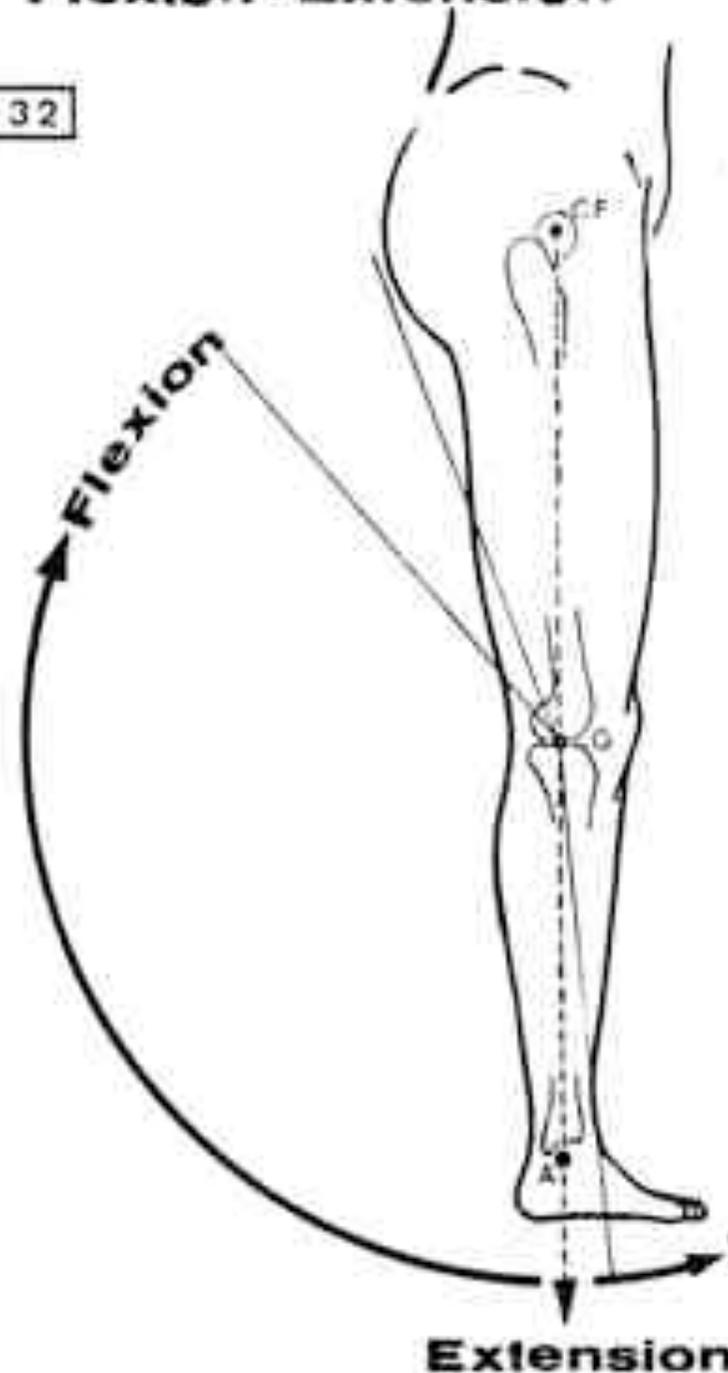
- **150° en passif**

- **120° à 140° en actif**

- **plus importante si hanche fléchie que hanche en hyperextension car muscles de la cuisse presque tous biarticulaires donc détendus par la flexion de hanche**

Flexion · Extension

32



Flexion passive

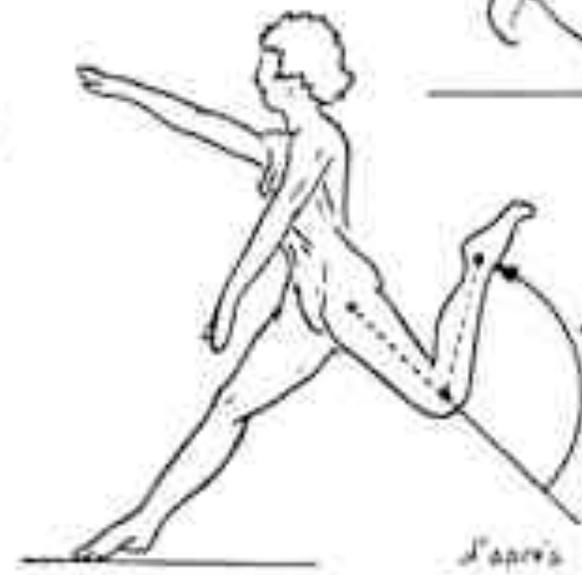


160

Flexions actives



140



120

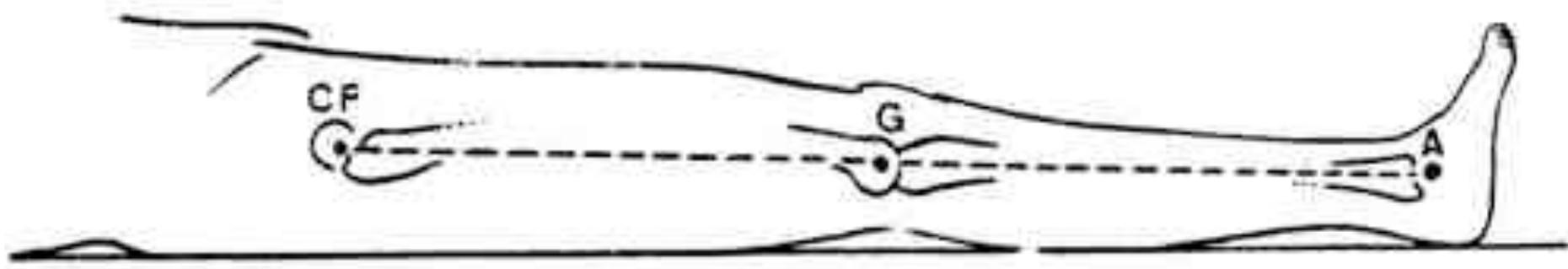
d'après Kapandji

Extension

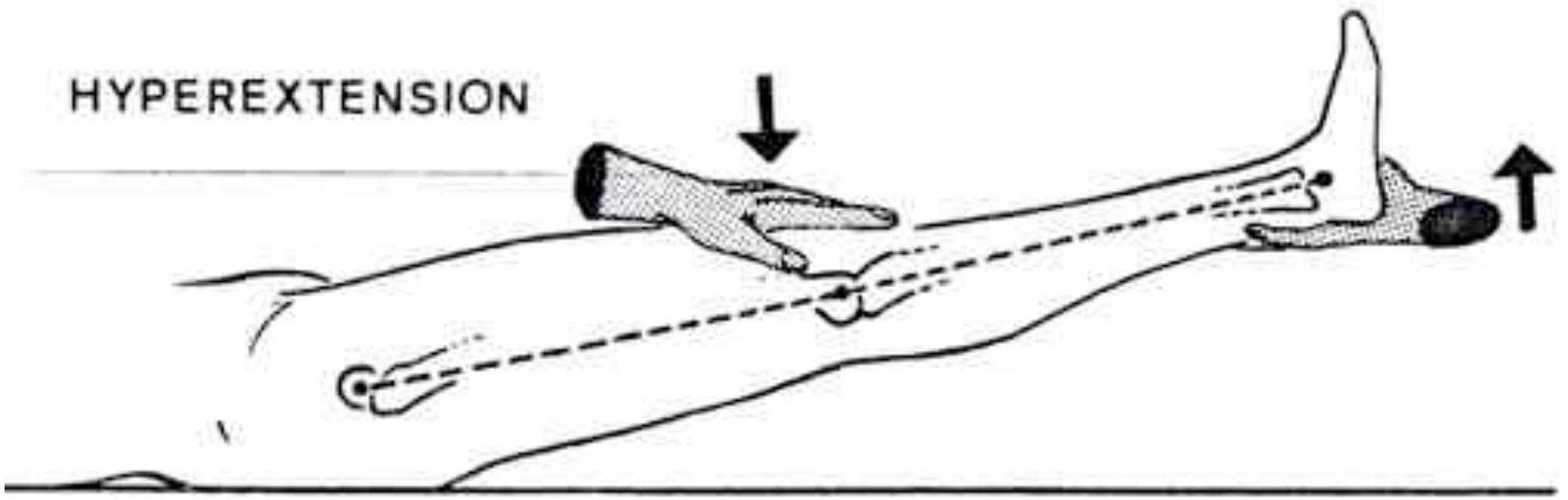
MOUVEMENTS

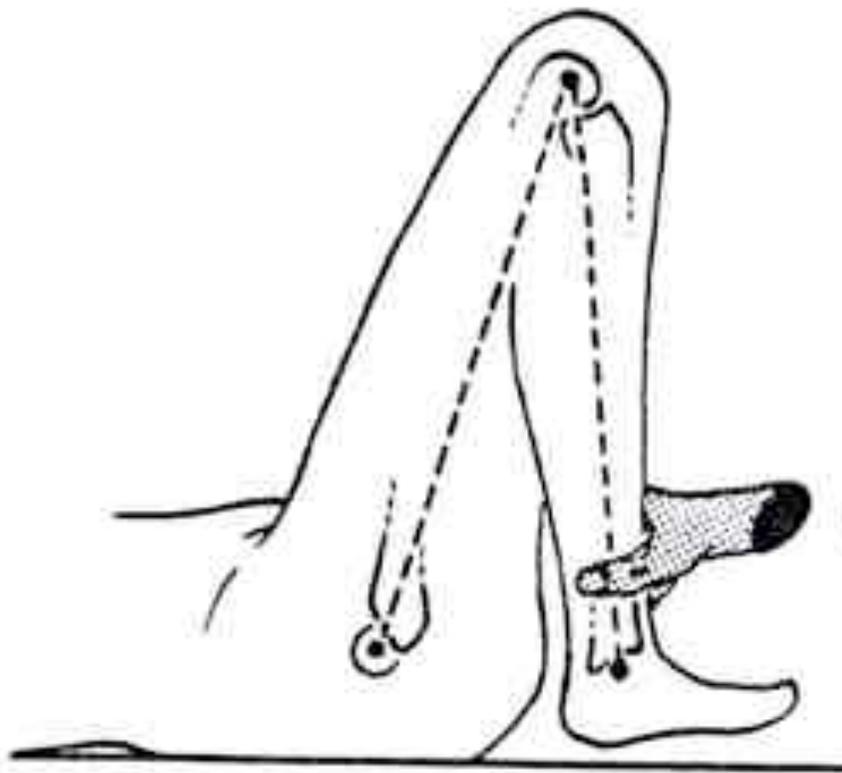
- **Dans le plan sagittal**
 - **hyperextension**
 - essentiellement passif
 - amplitude faible 0 à 5°
 - variable selon laxité
 - constitutionnelle (hyperlaxité)
 - pathologique (recurvatum)
 - **mesures en décubitus dorsal (bassin fixé)**

EXTENSION

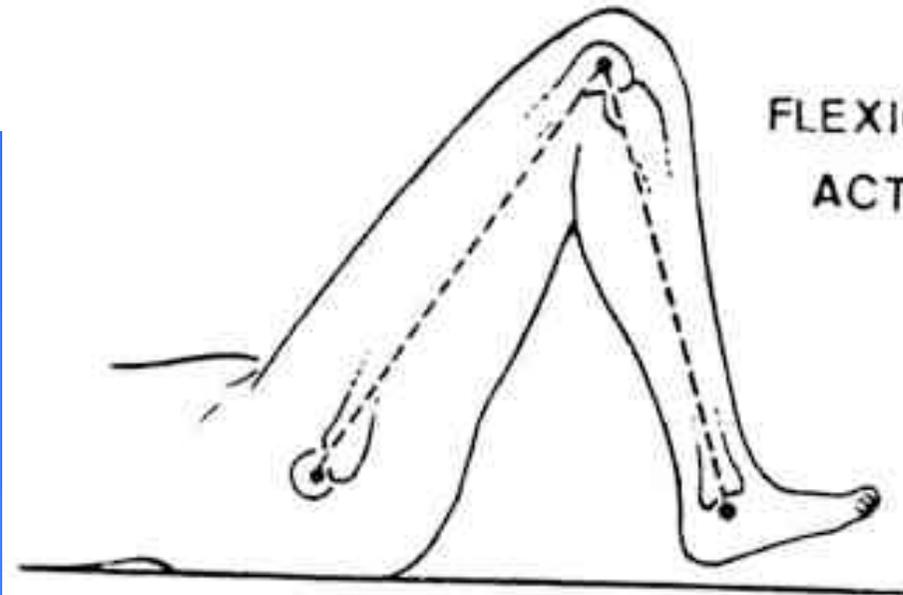


HYPEREXTENSION





FLEXION PASSIVE



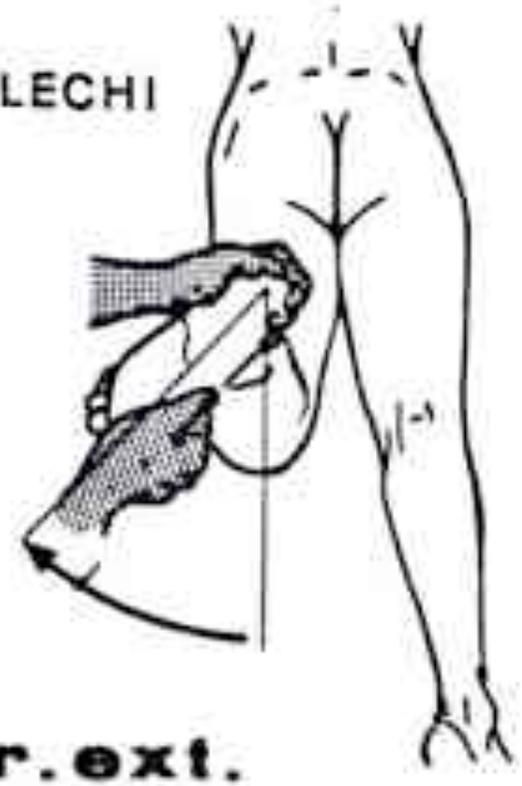
FLEXION
ACTIVE

MOUVEMENTS

- **Dans le plan horizontal**
 - rotation axiale interne ou externe
 - action de porter le pied en DD ou en DHS
 - étude uniquement passive
 - assis jambe pendante
 - décubitus ventral genou fléchi
 - pas de rotation en extension (genou verrouillé)
 - 5 à 10° en RI, 5 à 10° en RE



GENOU FLECHI

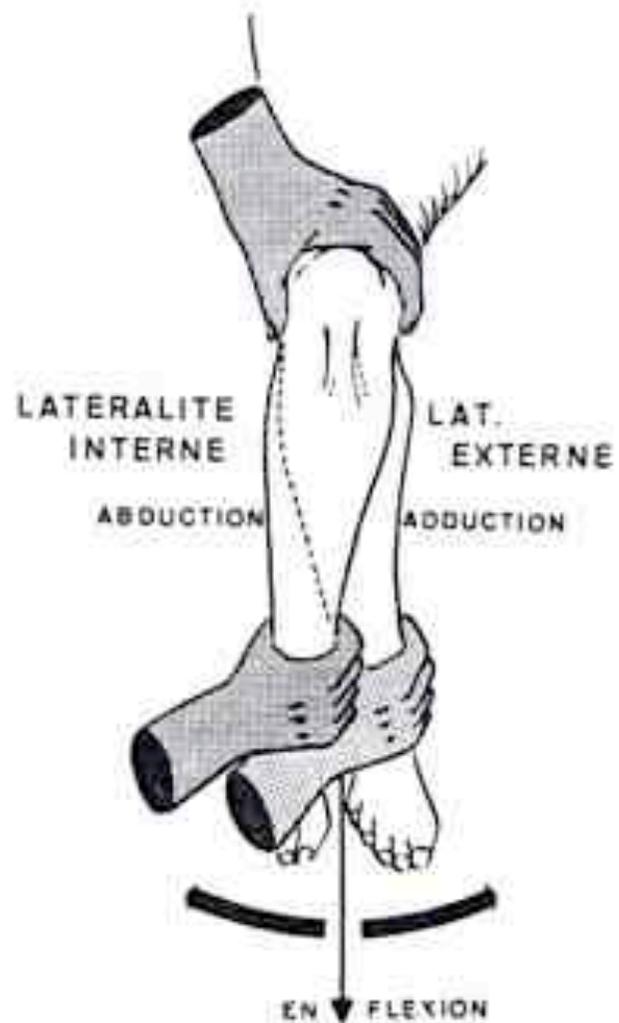


d'après Kapandji



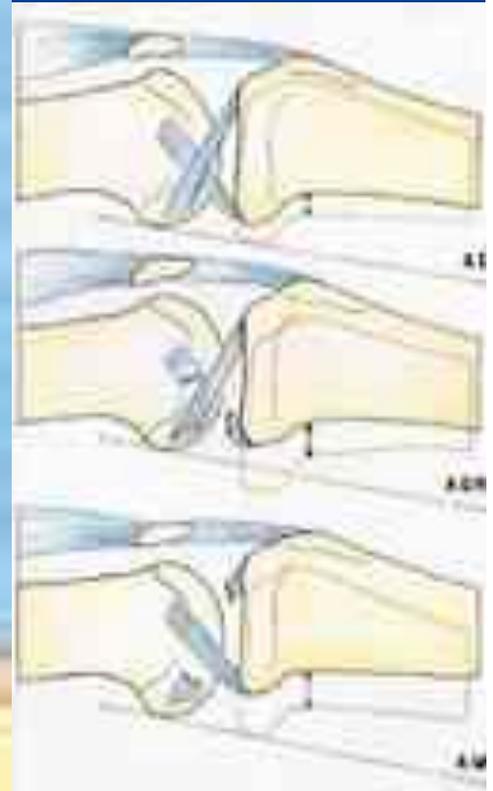
MOUVEMENTS

- **Dans le plan frontal**
 - **adduction (varus) et abduction (valgus)**
 - **jamais en extension**
 - **de faible amplitude**
 - **Uniquement en flexion sur un genou normal**
 - **mesures difficiles car rotation de hanche associée**
- **Testing en varus et valgus: baillement FT**



MOUVEMENTS

- **Glissement antéro-postérieur (tiroir)**
 - très faible sur un genou normal (2 à 3 mm)
 - mesure sur un genou déverrouillé
 - recherche de laxité antéro-postérieure
 - test de Lachman-Trillat à 20° de flexion
 - tiroir antérieur (LCA et formations périphériques)
 - tiroir postérieur à 30° (formations périphériques)
 - tiroir postérieur à 70° (LCP)
- **Mouvement roulement-glissement (cf après)**



Test de LACHMANN



TIROIRS

Direct

Rot. Int.

Rot.Ext.

LES AXES

- **axe fémoro-tibial mécanique**
 - correspond au poids du corps (axe mécanique du membre inférieur)
 - milieu de la TF
 - milieu du genou
 - milieu de la cheville
 - définit le morphotype (normal, valgus, varus)
- **axe fémoro-tibial anatomique**
 - normalement en valgus car valgus fémoral
- **interligne habituellement horizontal**

LES AXES

- la mesure se fait:
 - cliniquement debout et couché
 - écart intercondylien
 - écart intermalléolaire
 - de profil (flessum et recurvatum)
 - radiologiquement sur pangonométrie



Normo axé



genu varum



genu valgum



Genu varum



Genu valgum



Pangonométrie debout de face en appui bipodal



Genu varum

normo axé

genu valgum



— axe mécanique = poids du corps

LA STABILISATION DYNAMIQUE

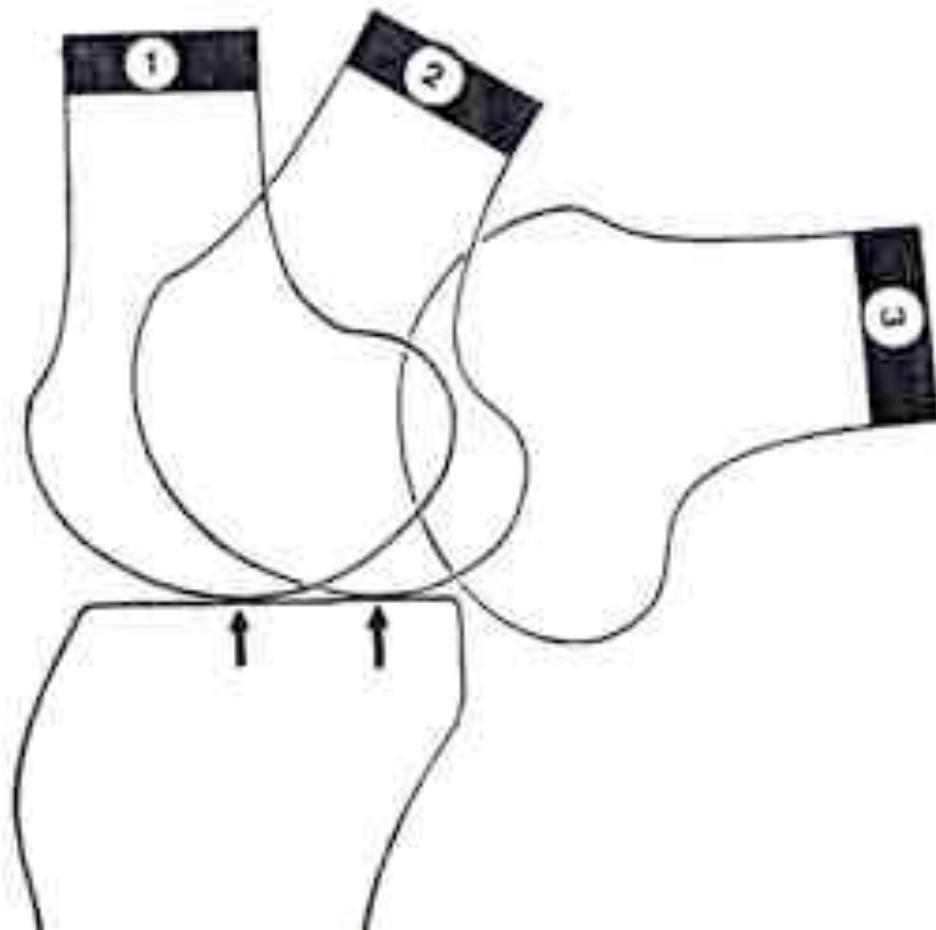
- Le peu de congruence des 3 articulations du genou et la nécessité d'une mobilité contrôlée en particulier en flexion, imposent la présence d'un système de stabilisation ligamentaire très développé pour
 - le complexe fémoro-tibial
 - l'articulation fémoro-patellaire

LA STABILISATION DYNAMIQUE

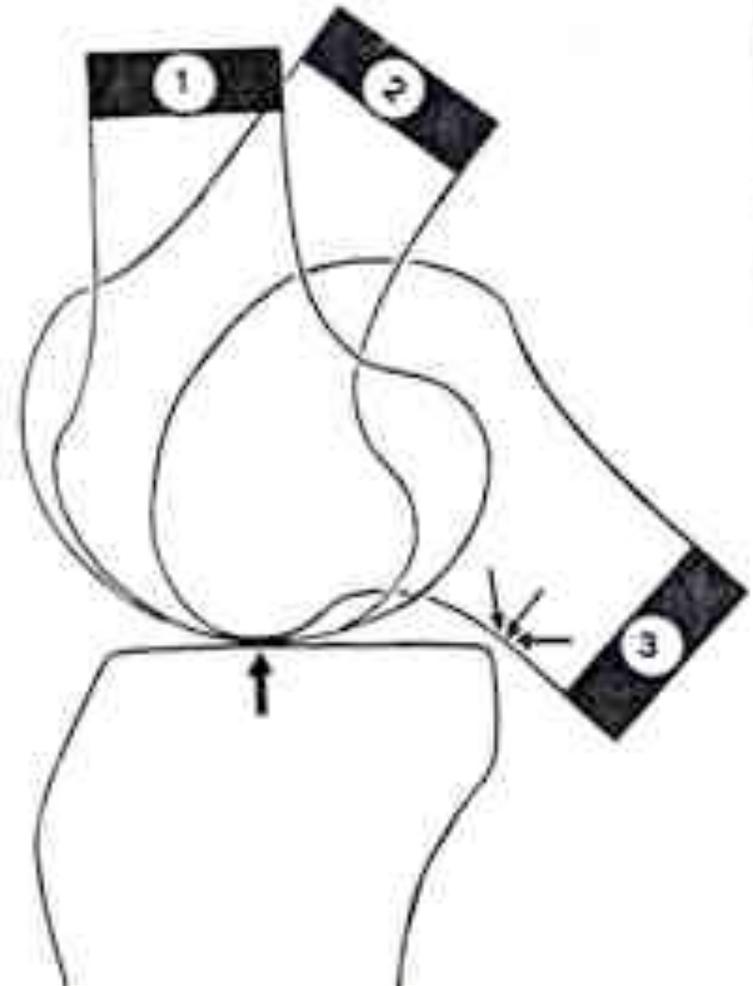
- **le complexe fémoro-tibial** est constitué de la juxtaposition des 2 compartiments FT interne et externe:
 - articulation double condylienne associée
 - en fait plus une trochléenne
 - rayon de courbure irrégulier en spirale différent au niveau de chaque condyle
 - les plateaux tibiaux sont des glènes, gouttières transversales
 - la congruence faible est améliorée par ménisque

LA STABILISATION DYNAMIQUE

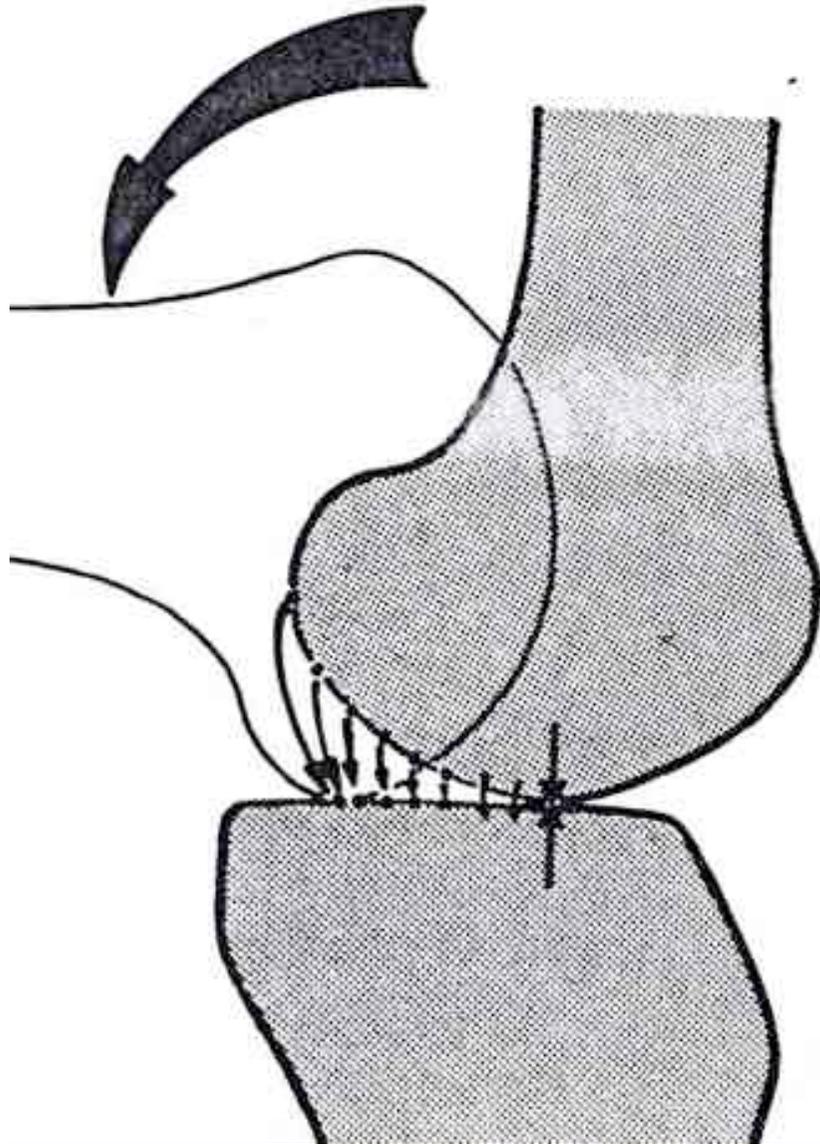
- **le mouvement des condyles en flexion-extension**
 - **en théorie:**
 - soit roulement pur des condyles comme une boule sur un plateau limitant le degré de flexion car risque de luxation
 - soit patinage comme un pneu lisse sur la glace qui limiterait très rapidement la flexion (contact avec le fémur), et entraînerait une usure tibiale précoce
 - **en pratique: roulement-glissement**



roulement pur



patinage



Phase 1: Roulement pur
pendant 15°

Phase 2: roulement
associé à un patinement

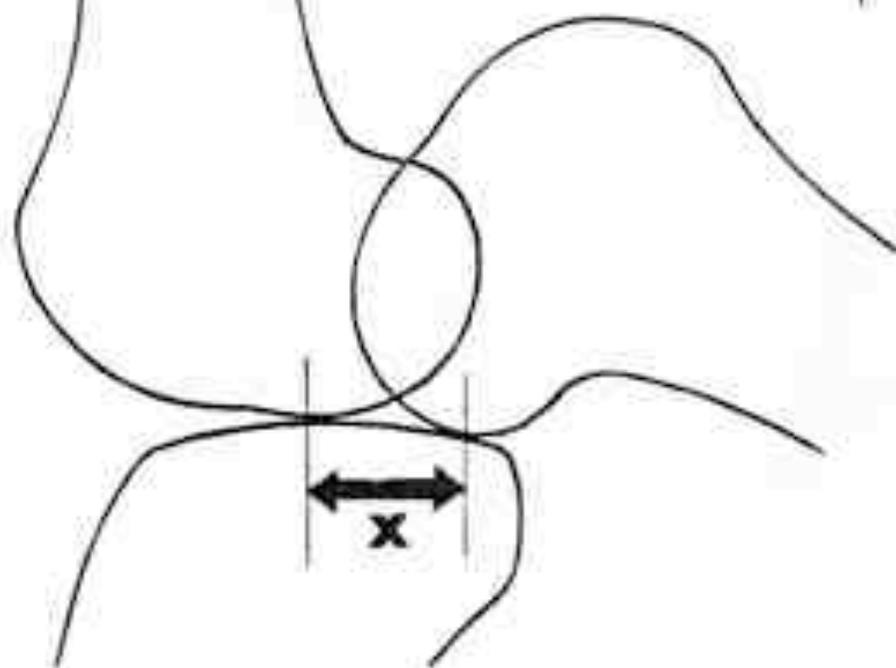
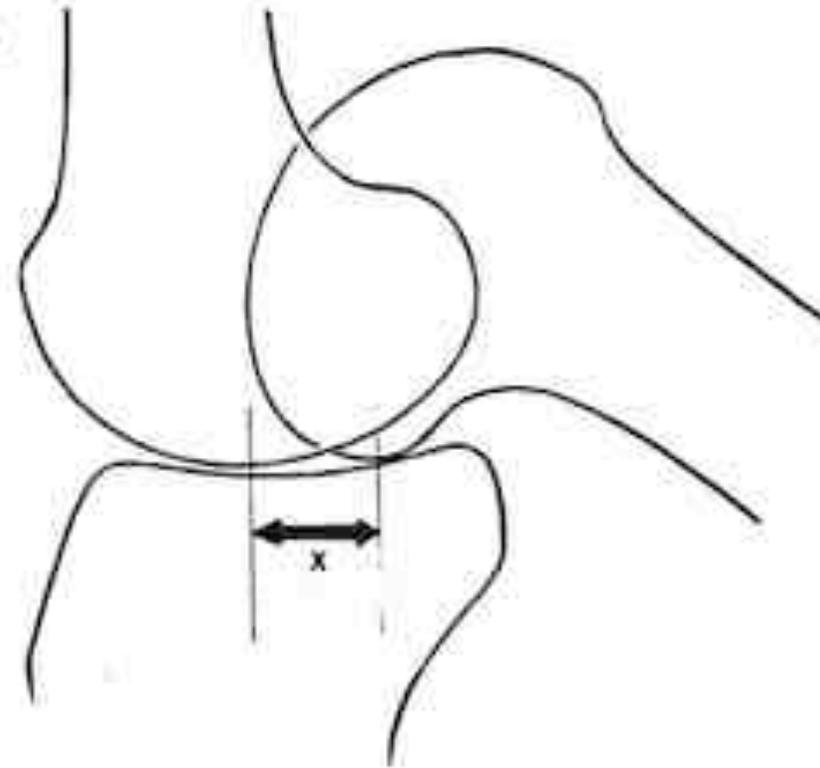
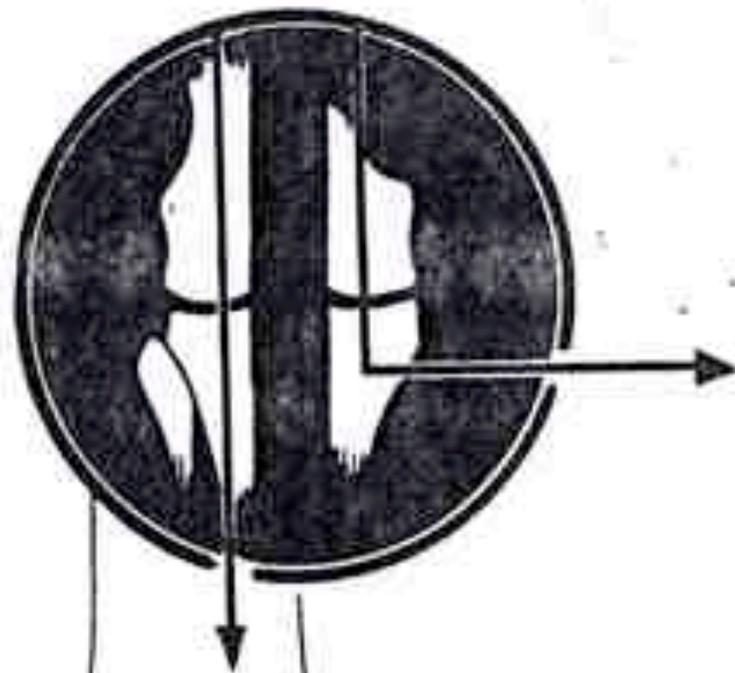
Phase 3: patinement pur
à partir de 120°

ainsi:

dans la flexion, le condyle
glisse et recule

dans l'extension, le condyle
glisse et avance

Le condyle latéral recule plus que le condyle médial



Le recul 5323
des condyles
en flexion

LA STABILISATION LIGAMENTAIRE

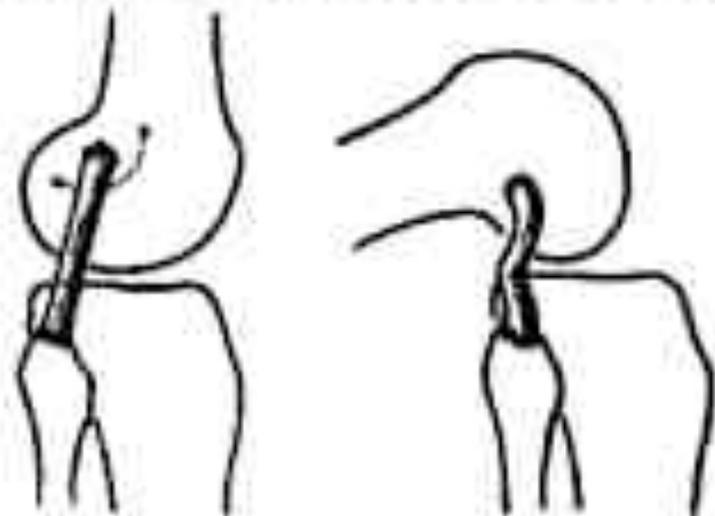
- la stabilisation des condyles en flexion-extension
 - est assurée par
 - les ligaments périphériques
 - les ligaments croisés
 - est maximale en extension

- **stabilisation due aux ligaments collatéraux**
 - **détente en flexion du LLI et du LLE**
 - Incomplète pour le LLI (2 plans)
 - Complète pour le LLE
 - **mise en tension maximale en extension (participation +++ des coques condyliennes)**
 - **stabilité médiale > latérale (contraintes valgus)**

Le lig. latéral interne en flexion
(COLLATERAL MEDIAL OU COLLATERAL TIBIAL)

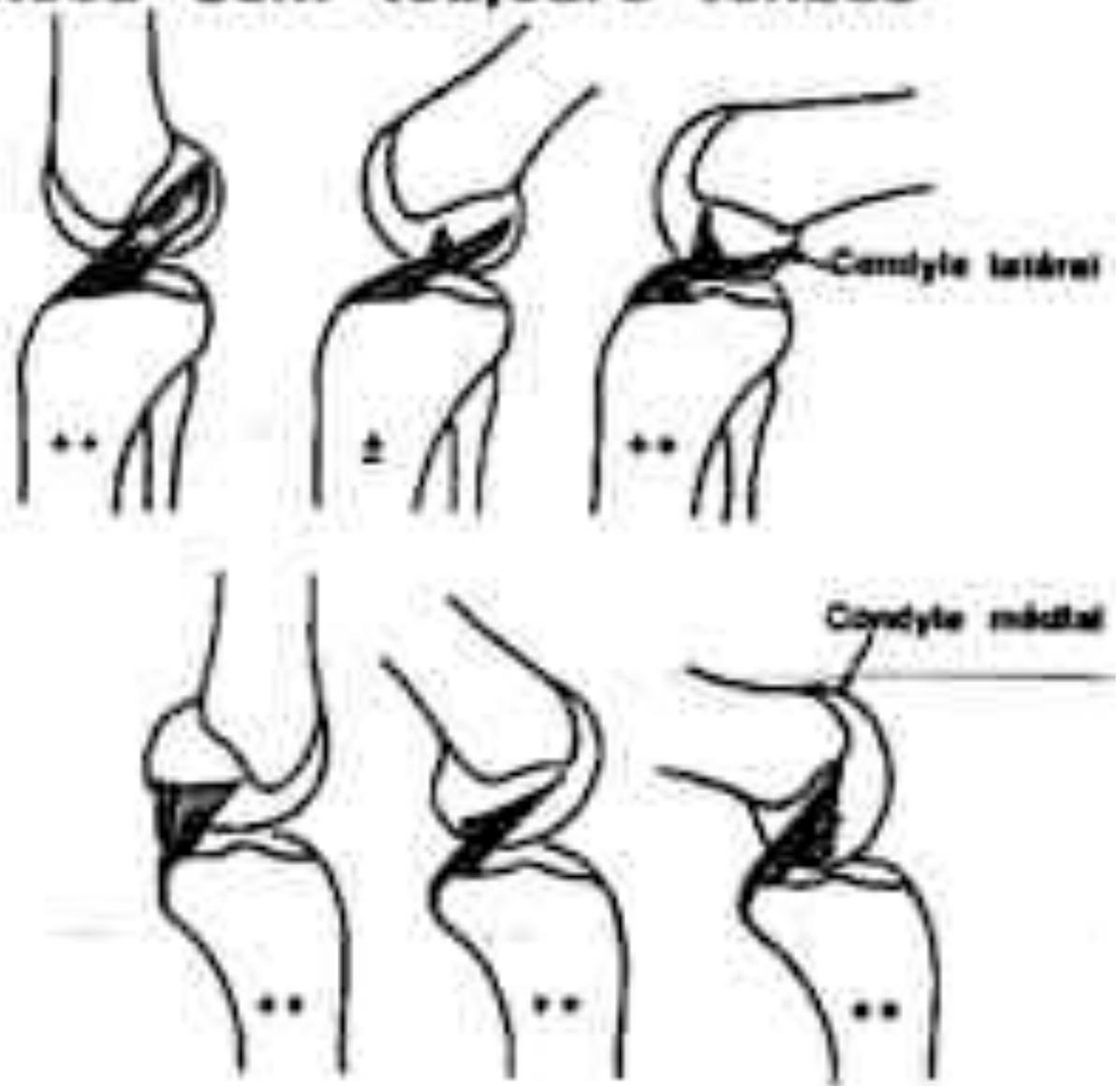
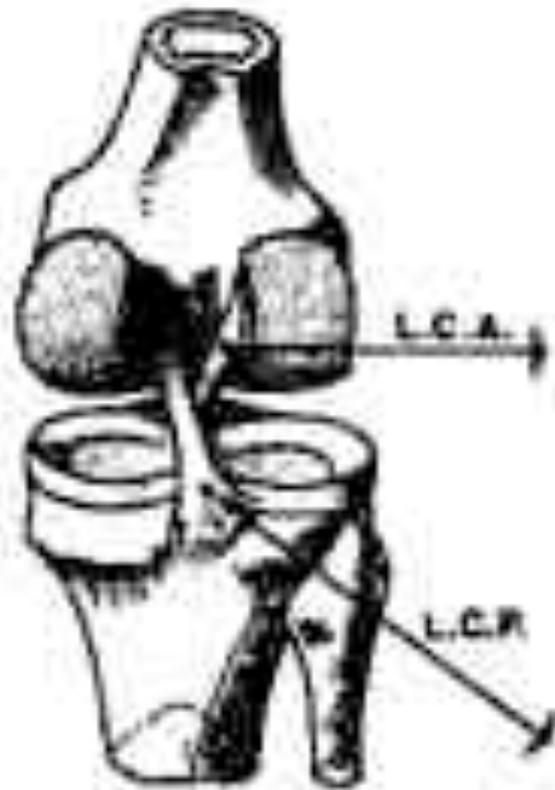


Le lig. latéral externe en flexion
(COLLATERAL LATERAL OU COLLATERAL FIBULAIRE)



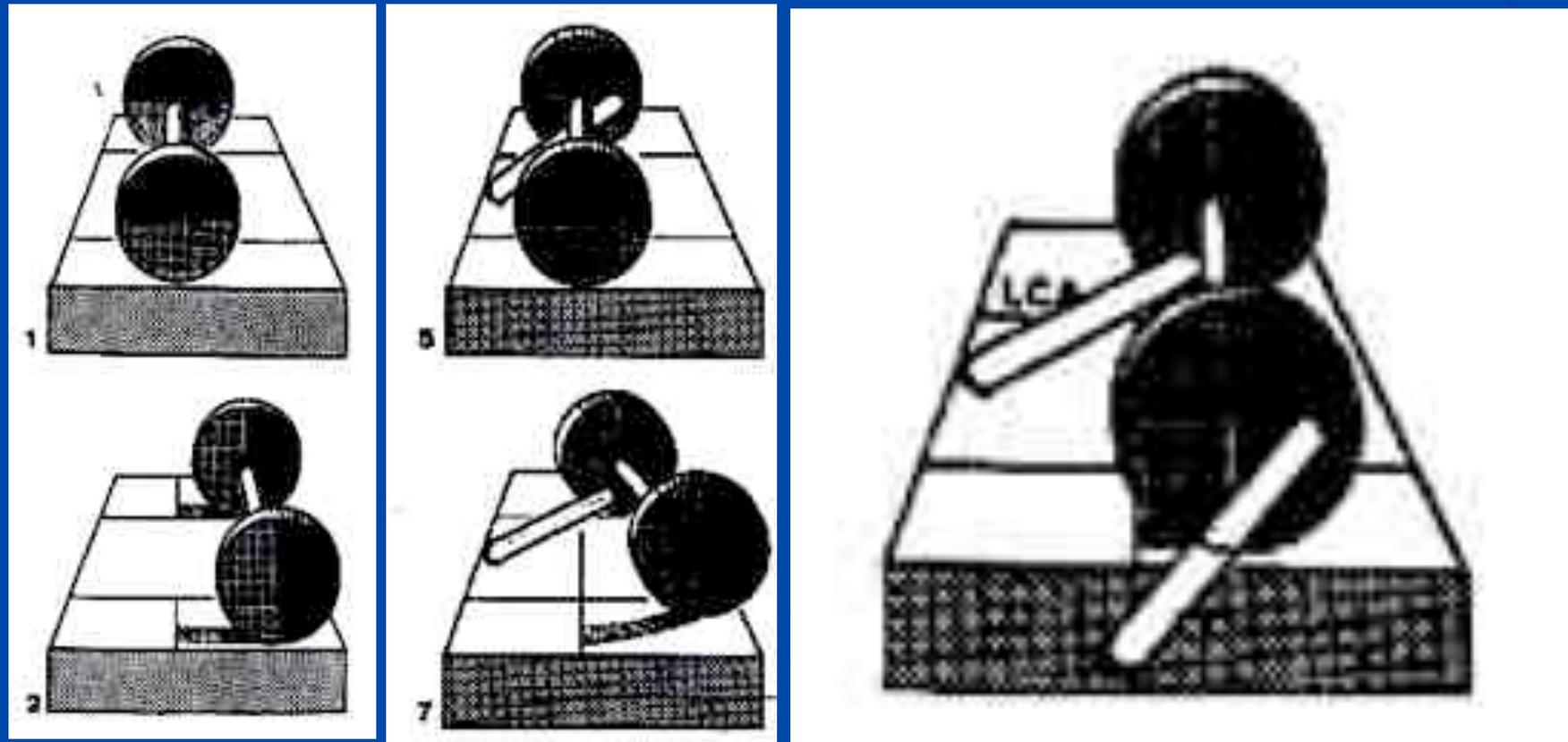
- **stabilisation due aux ligaments croisés**
 - ils sont indispensables à la stabilisation antéro-postérieure en dehors de l'extension pour lutter contre le déplacement en tiroir antéro-postérieur
 - ils pallient l'insuffisance des formations périphériques en flexion
 - seule une disposition croisée en flexion et en extension de ces ligaments autorise:
 - une mobilité en flexion-extension
 - une stabilisation lors de ce mouvement
 - leur disposition fasciculaire et croisée explique que les LC sont toujours en tension au cours de la flexion-extension

Les ligaments croisés sont toujours tendus



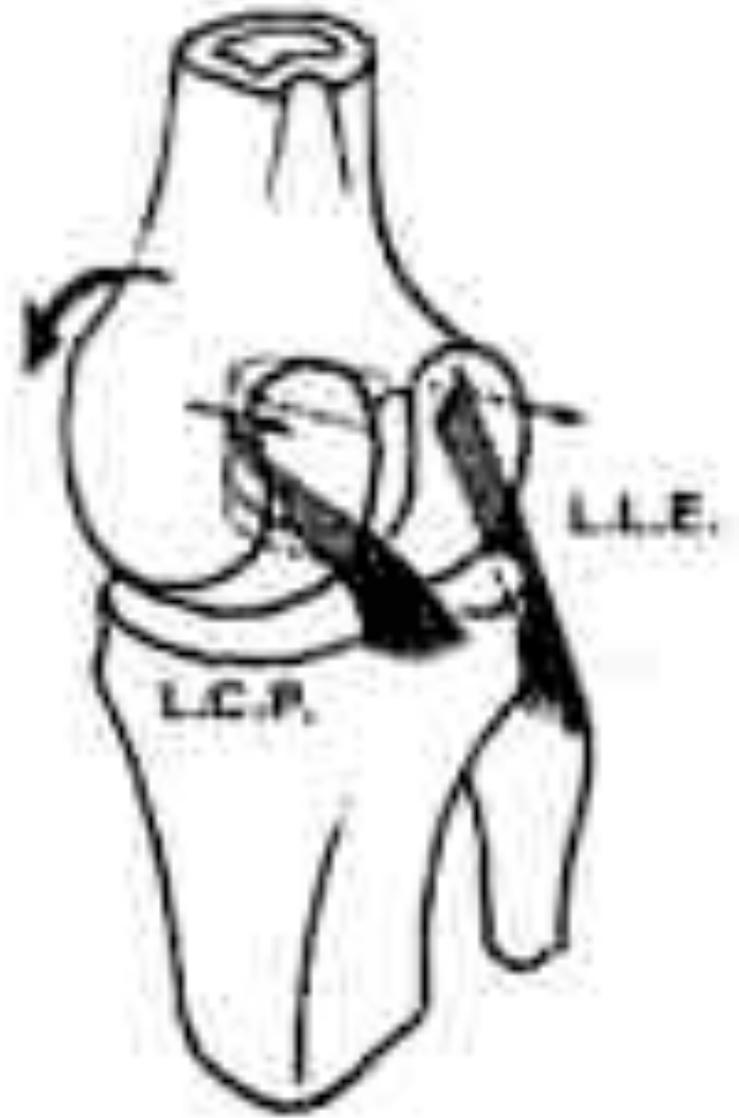
■ Le LCA

- freine le recul du condyle externe lors de la flexion et lui impose un roulement patinant
- son action est couplée à celle du LLI sur le condyle interne, la partie antérieure du fx superficiel du LLI restant tendu en flexion



■ Le LCP

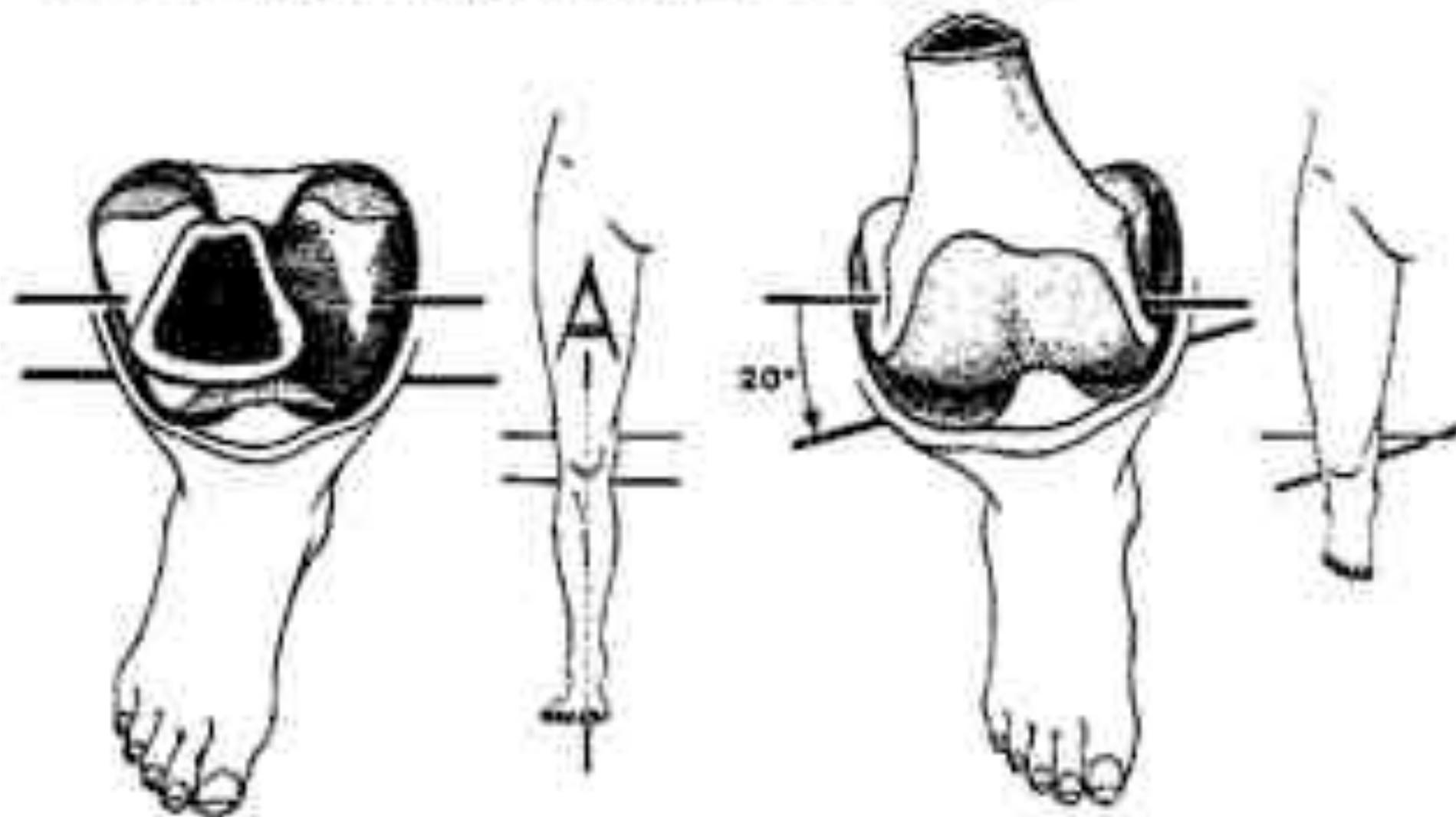
- freine l'avancée du condyle interne lors du passage de la flexion à l'extension et lui impose un roulement patinant
- son action est couplée à celle du LLE sur le condyle externe, qui en se tendant lors de l'extension freine l'avance du condyle externe et l'oblige à patiner



LA STABILISATION LIGAMENTAIRE

- **la rotation automatique du genou**
 - rotation interne en flexion
 - rotation externe en extension
- **Sous la dépendance de:**
 - inégalité des courbures condyliennes
 - inégalité de recul des condyles sur les glènes

La rotation automatique du genou



LA STABILISATION LIGAMENTAIRE

- **inégalité des courbures condyliennes**
 - **rayon de courbure et diamètre du condyle externe sont plus petits**
 - **axe de flexion, axe bicondylien, est oblique vers le bas et le dehors**

LA STABILISATION LIGAMENTAIRE

- **inégalité de recul des condyles sur les glènes**
 - le massif bicondylien pivote en rotation externe sur les plateaux tibiaux
 - cela est du:
 - amarrage du CI plus serré que celui du CE
 - les glènes tibiales sont différentes
 - la glène interne a une forme de cupule
 - la glène latérale est convexe en sagittal et concave en frontal

LES MENISQUES

- Formations fibro-cartilagineuses
- Formes différentes (CI OE)
- Triangulaires à la coupe
- Fixés au tibia (freins) et à la capsule (sauf au niveau du hiatus poplité pour le ME)

LES MENISQUES

■ Rôles multiples:

- augmentent la concavité des glènes donc la congruence améliorent la répartition des contraintes
- améliorent la lubrification par une meilleur répartition du liquide et la réalisation d'un double film liquidien
- augmentent la stabilité articulaire (cales)

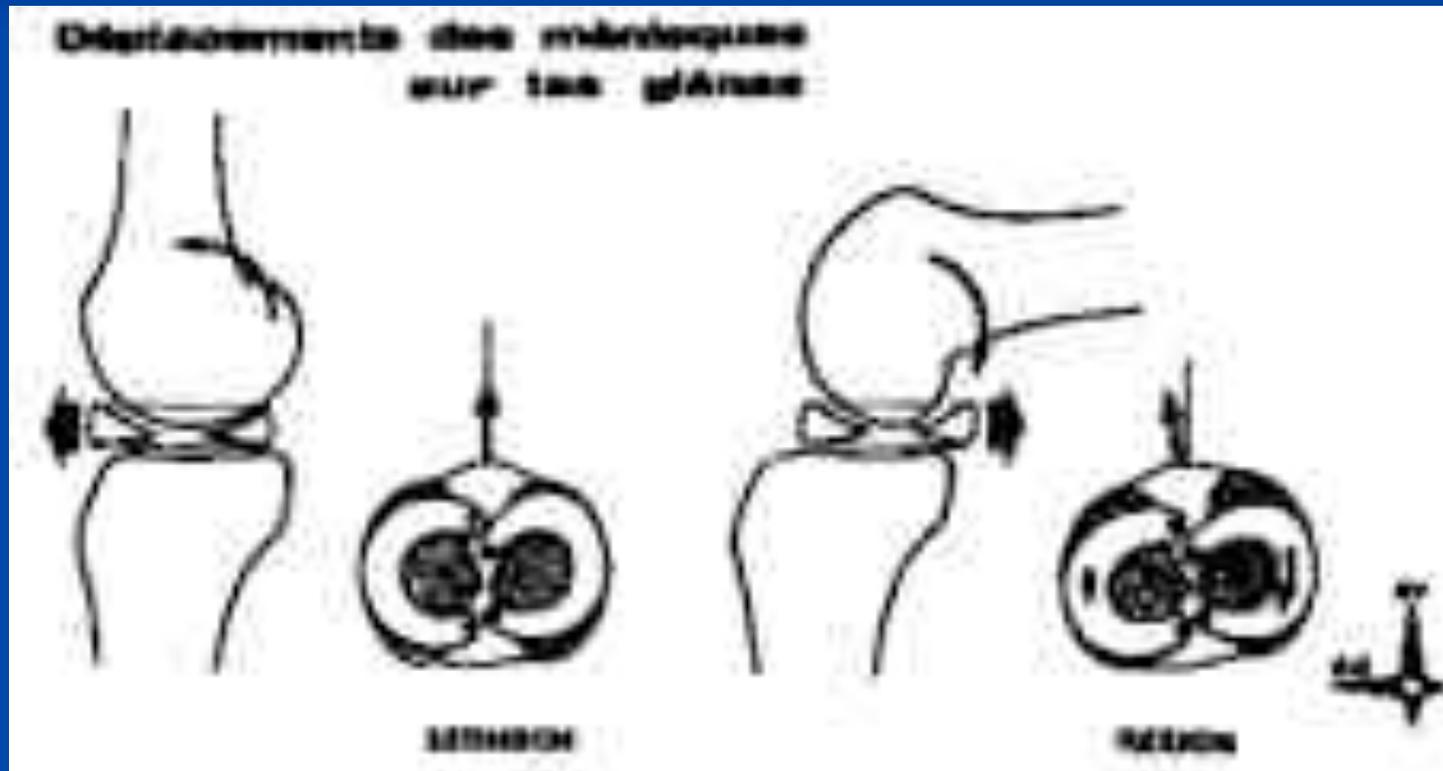


diminution des P unitaires et du coefficient de

friction

LES MENISQUES

- mobilité des ménisques en flexion-extension



LES MENISQUES

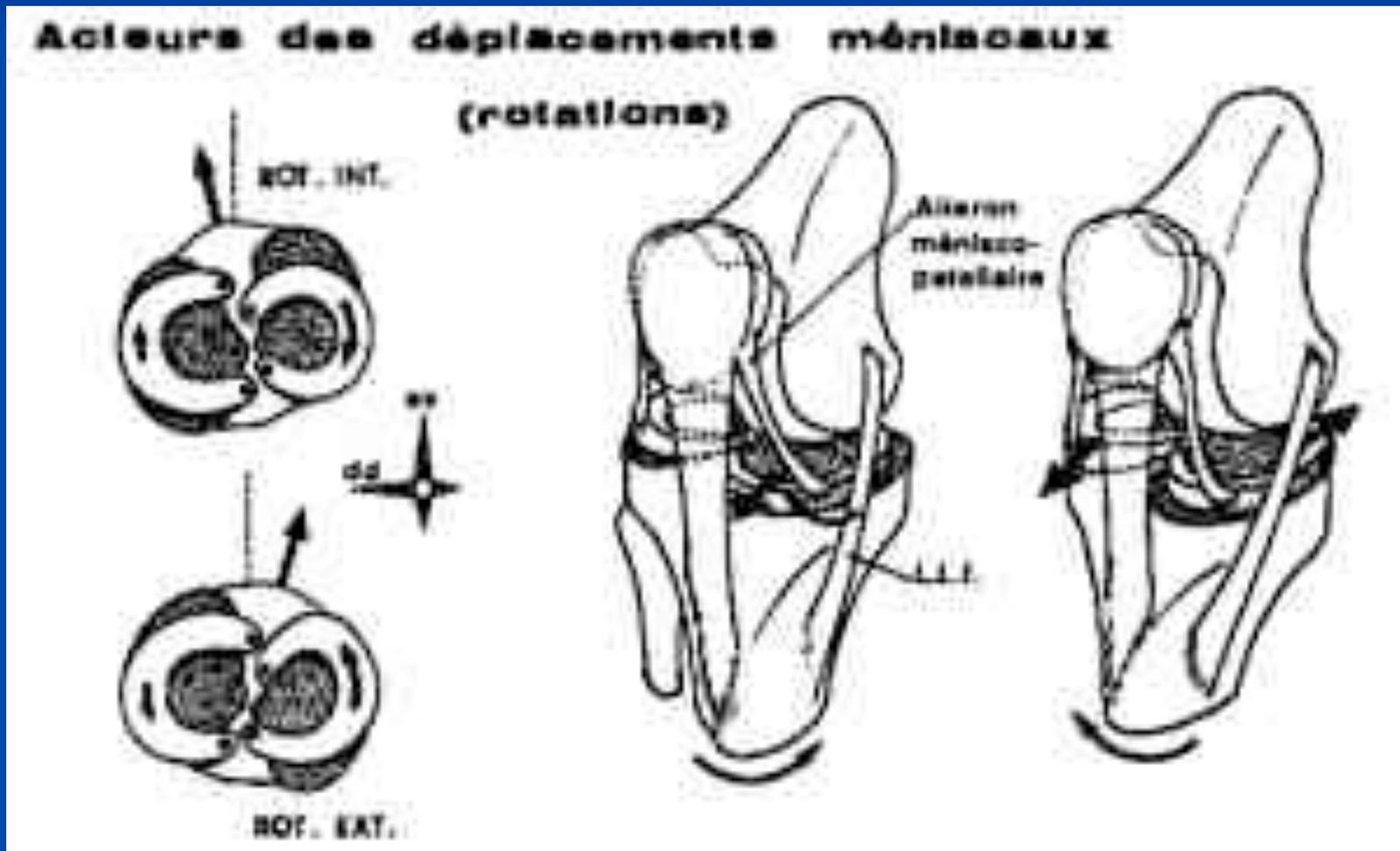
- cette mobilité des ménisques est due:
 - à un **mécanisme passif** dû à la chasse du coin méniscal par le condyle qui recule en flexion, qui avance en extension (pris en défaut si mvt rapide)
 - à un **mécanisme actif**:
 - de la flexion vers l'extension:
 - de l'extension vers la flexion

LES MENISQUES

- les mécanismes actifs sont:
 - **de la flexion vers l'extension:**
 - Patella vers l'avant et traction par ligament adipeux, ligament transverse, ligaments ménisco-patellaires
 - LLI avance et attire la capsule et donc le ménisque
 - Ligament ménisco-fémoral de Humphrey fait avancer la corne postérieure (libre) du ME
 - **de l'extension vers la flexion**
 - relâchement des attaches antérieures
 - contraction du muscle poplité et du $\frac{1}{2}$ membraneux qui possèdent des attaches méniscales
 - LLI recule

LES MENISQUES

- mobilité des ménisques en rotation



LES MENISQUES

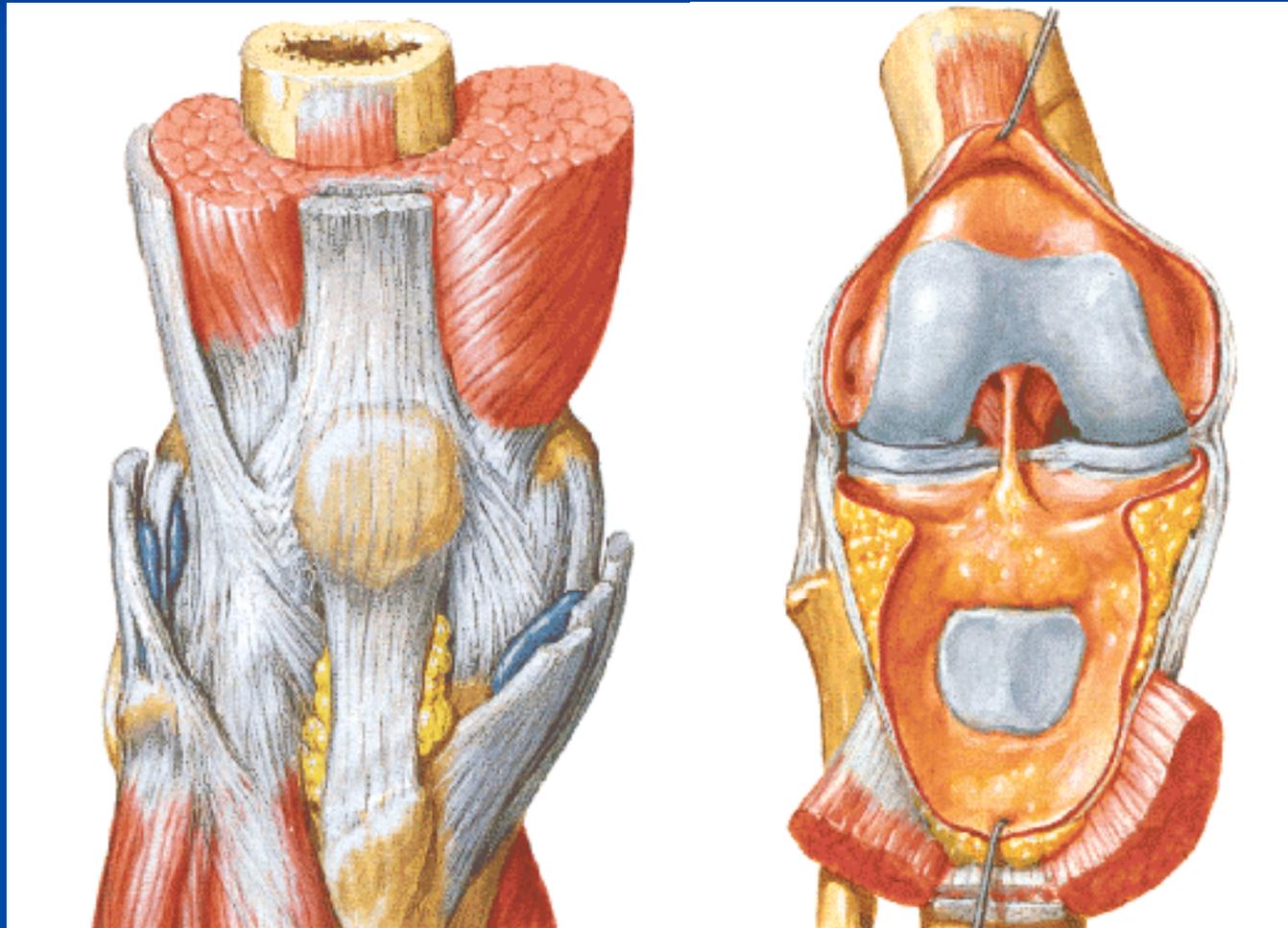
- **mobilité des ménisques en rotation**
 - ils suivent le condyle correspondant
 - par exemple en rotation externe de jambe
 - recul du MI et avancée du ME
 - **2 mécanismes**
 - passif par la poussée des condyles
 - actif lors des déplacements de la rotule et la traction des ligaments patello-méniscaux

LES MENISQUES

- la mobilité des ménisques est très complexe et précise, leur permettant d'échapper à l'écrasement entre condyles et glènes
- cette complexité explique la fréquence des lésions méniscales

L'ARTICULATION FEMORO-PATELLAIRE ET L'APPAREIL EXTENSEUR

- l'appareil extenseur



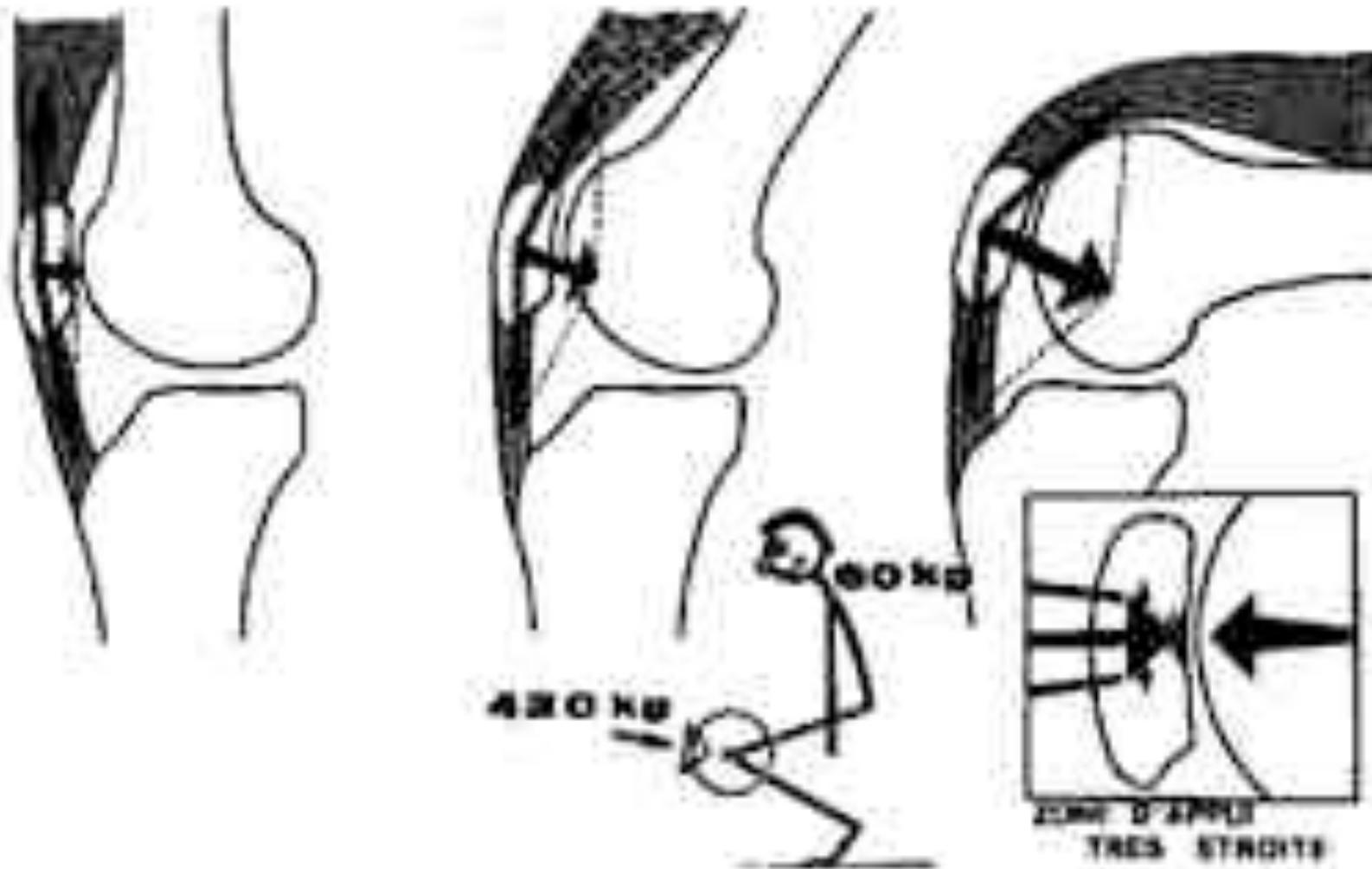
L'ARTICULATION FEMORO-PATELLAIRE ET L'APPAREIL EXTENSEUR

- la patella a 3 fonctions:
 - protection antérieure du genou
 - glissement de l'appareil extenseur dans trochlée
 - modifie axe de travail et efficacité du quadriceps

L'ARTICULATION FEMORO-PATELLAIRE ET L'APPAREIL EXTENSEUR

- glissement de l'appareil extenseur dans trochlée
 - comparaison corde-poulie
 - possible si:
 - allongement possible du quadriceps
 - cul de sac sous quadricipital libre
 - surfaces articulaires intactes
 - contraintes majeures
 - augmentent avec la flexion
 - augmentent avec la raideur musculaire

Pressions très élevées sur la patella



0 kg en extension, quadriceps décontracté
120 kg à 90° de flexion
260 kg à 130° de flexion, 420kg à 145°

L'ARTICULATION FEMORO-PATELLAIRE ET L'APPAREIL EXTENSEUR

- **Modification de l'axe de travail et efficacité du quadriceps**
 - le Q a un axe oblique en DD et en bas (parallèle au fémur qui est en valgus) alors que le tendon rotulien a un axe de travail oblique vers le bas et le dehors
 - ces 2 axes forment un angle ouvert vers le DH
 - la force résultante est subluxante vers le DH
 - la rotule dans sa trochlée empêche la luxation lors de la contraction du quadriceps

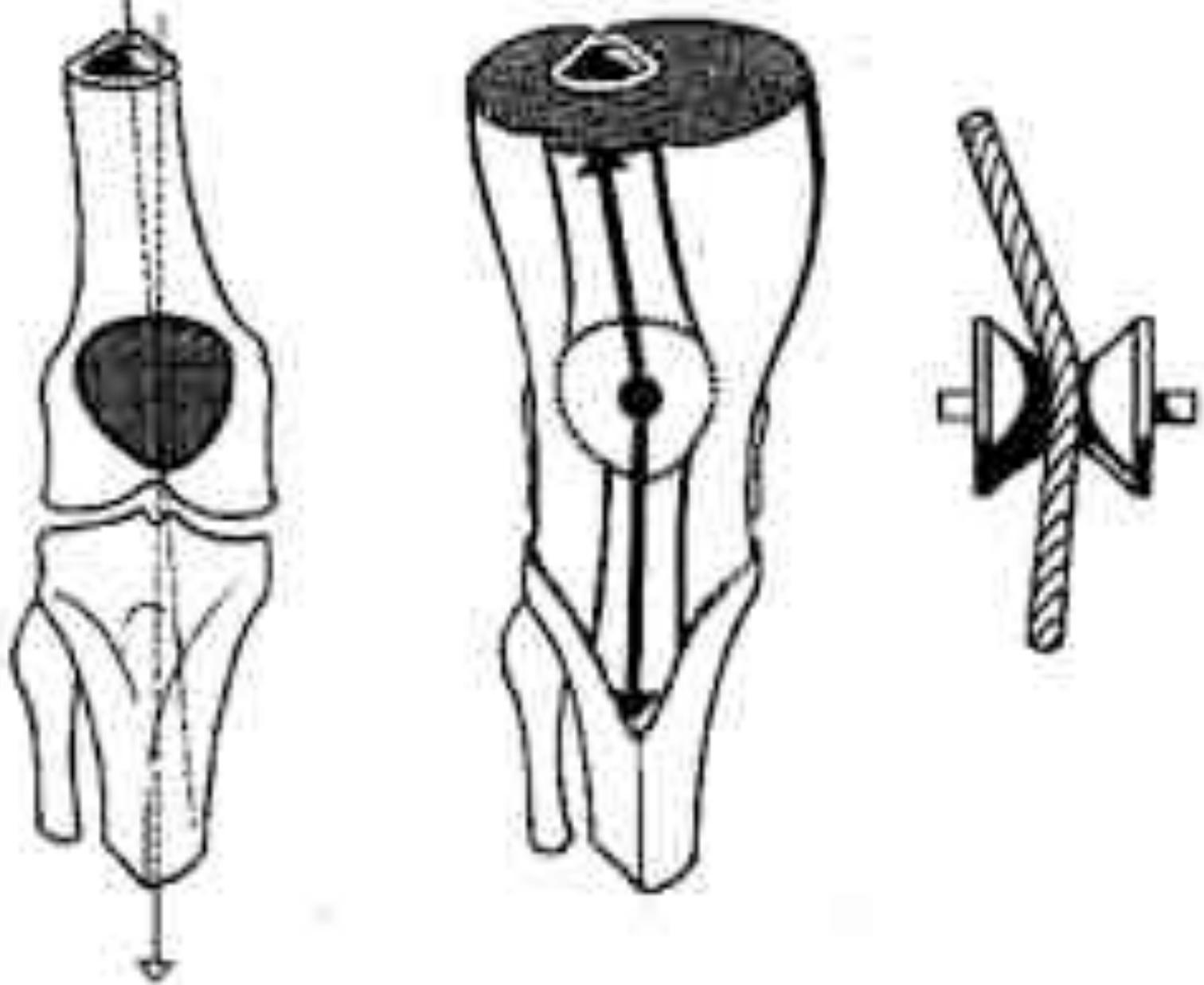
L'ARTICULATION FEMORO-PATELLAIRE ET L'APPAREIL EXTENSEUR

- **Augmentation de l'efficacité du quadriceps**
 - La force de traction du Q est située dans le plan du tendon rotulien
 - la rotule éloigne la partie proximale du TR du centre de rotation du genou et augmente le moment d'action de la force de traction du Quadriceps

L'ARTICULATION FEMORO-PATELLAIRE ET L'APPAREIL EXTENSEUR

- La stabilisation de la rotule est indispensable du fait de la résultante des forces de traction qui présente une composante subluxante externe
 - en flexion, outre la meilleure concordance articulaire fémoro-patellaire, 2 mécanismes stabilisateurs interviennent:
 - la force de placage de la rotule
 - l'alignement en flexion du système extenseur par la rotation interne automatique qui déporte en DD la Tubérosité Tibiale Antérieure

La patella maintient le m. quadriceps



L'ARTICULATION FEMORO-PATELLAIRE ET L'APPAREIL EXTENSEUR

- en extension ou entre 0 et 15° de flexion, la force subluxante externe est constante à laquelle s'oppose 4 mécanismes
 - la berge externe de la trochlée (risque de dysplasie)
 - l'aile interne rotulien interne
 - la rotation interne automatique
 - le vaste interne +++

L'ARTICULATION FEMORO-PATELLAIRE ET L'APPAREIL EXTENSEUR

- on peut en déduire les anomalies anatomiques qui favorisent la luxation de la rotule:
 - la désaxation du système extenseur en particulier le positionnement trop externe de la TTA (baïonnette)
 - la rotule haute, positionnée au dessus de la trochlée
 - la dysplasie de la trochlée (surtout berge externe)
 - l'insuffisance du vaste interne

LES MOTEURS DU GENOU

- les extenseurs sont les muscles du quadriceps innervés par le crural
- les muscles fléchisseurs
 - nombreux
 - biarticulaires (sauf poplité et court biceps)
 - de puissance très inégale

LES MOTEURS DU GENOU

- les muscles fléchisseurs puissants
 - semi-membraneux en dedans
 - biceps en dehors
- les muscles fléchisseurs plus faibles
 - jumeaux
 - couturier
 - droit interne
 - demi-tendineux
 - poplité

LES MOTEURS DU GENOU

- les muscles biarticulaires ont une puissance fléchissante plus importante la hanche fléchie
 - examen flexion active hanche fléchie
 - extension de hanche mesurée genou fléchi
- la flexion active est pratiquement sous la seule dépendance du $\frac{1}{2}$ membraneux et du biceps (peu d'action des muscles de la patte d'oie sur la flexion)
- fléchisseurs < extenseurs (rapport 1 sur

LES MOTEURS DU GENOU

■ les muscles rotateurs

- Action comparable aux rênes sur la tête d'un cheval
- Rotateurs internes:
 - patte d'oie
 - poplité
 - ½ membraneux
- Rotateur externe: biceps