

# Triade cinétique

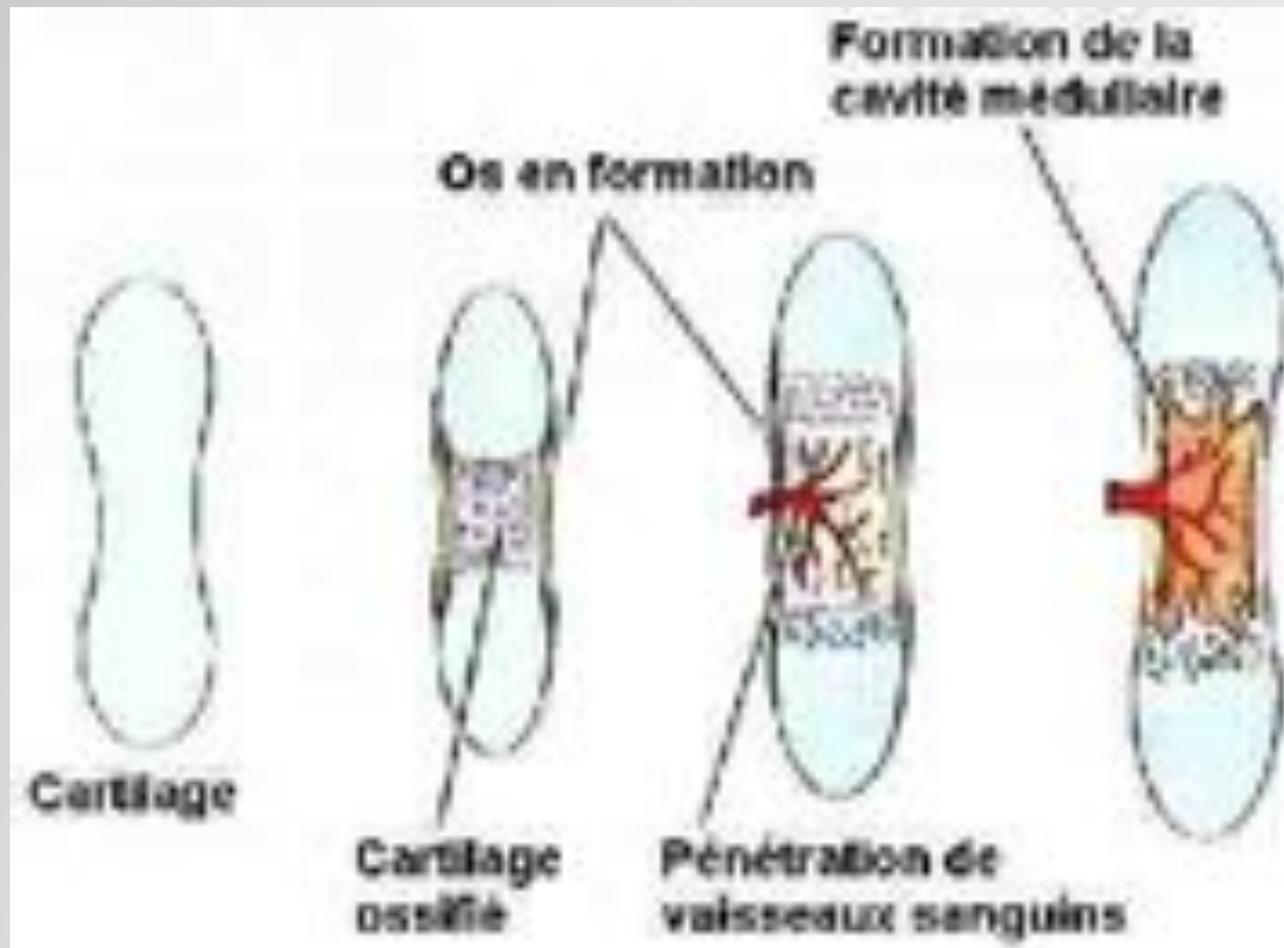
L'os



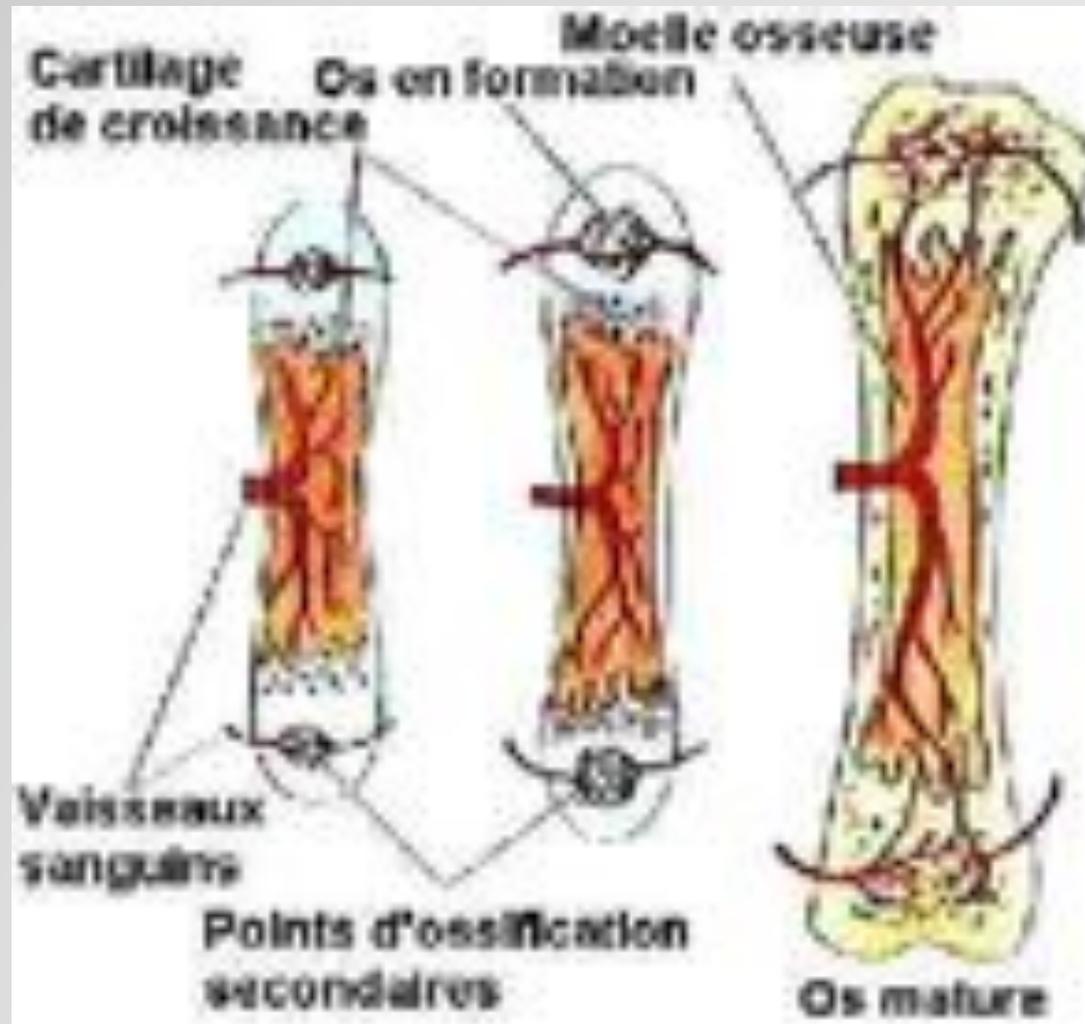
# L'os

- Forme de l'os
  - Os long: segment de membre
  - Os plat: au niveau des ceintures et crâne
  - Os court : métacarpien

# L'os



# L'os



schémas tirés de biomécanique  
fonctionnelle Dufour, Pillu

# L'os

- Couches externes fabriquées par les **ostéoblastes** du périoste
- Les cellules spongieuses s'ossifient rapidement (ostéocytes)
- Se transforme en os compact à partir du centre
- Transformation accompagnée de résorption osseuse formant du canal médullaire (contenant la moelle osseuse).

# L'os

- Ce double processus dépend de l'activité de cellules spécialisées, les **ostéoclastes et ostéoclastes**
- Il reste toujours un espace restreint qui assure la circulation sanguine et la nourriture de l'os (canal de Havers).

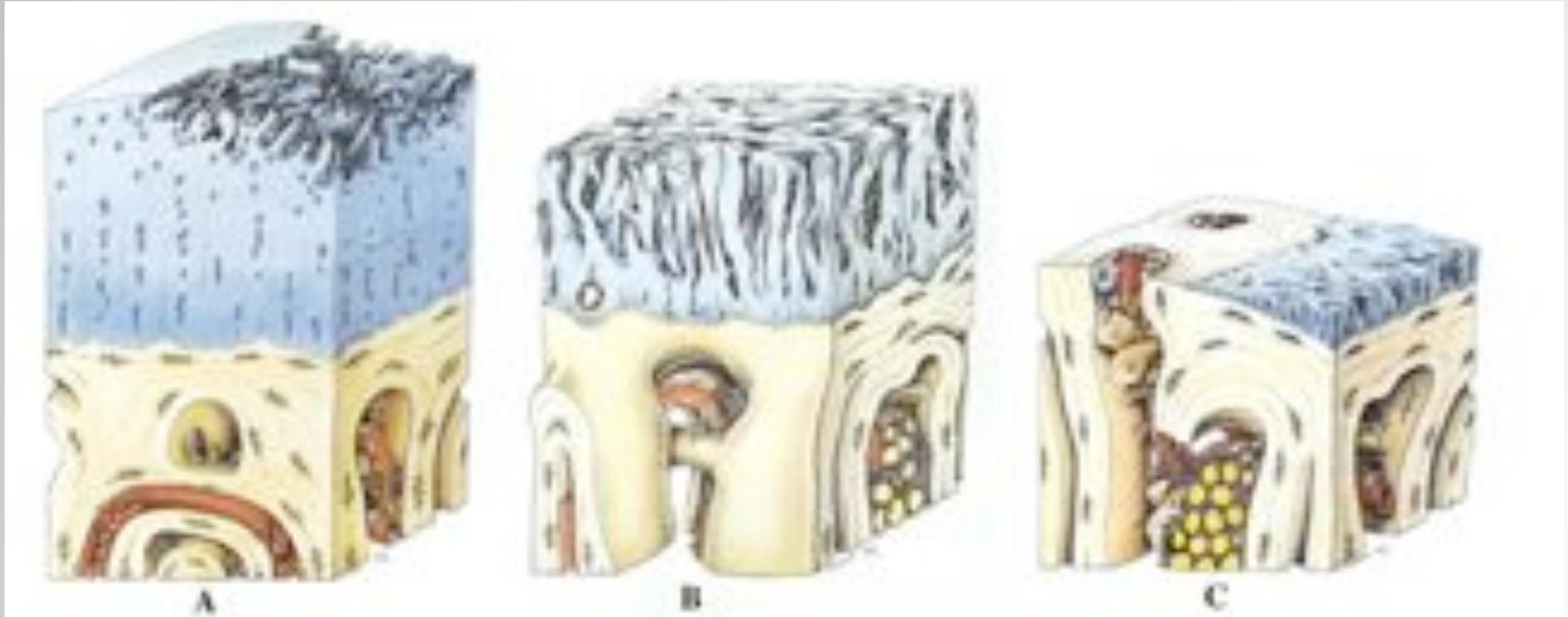
# L'os

- L'os soumis à une charge constante croît davantage qu'un os au repos
- Cette charge résulte du poids du corps (**forces de compression**) et de la traction exercée par les muscles (**forces de fonction**)

# L'os

- Le **cartilage articulaire** est un élément important des articulations
- Assure une grande liberté de mouvement
- Recouvre les surfaces des os.
- Permet le mouvement entre deux segments osseux
- Répartition des charges sur les surfaces articulaires ainsi que des glissements quasi sans friction.

# Atteinte dégénérative



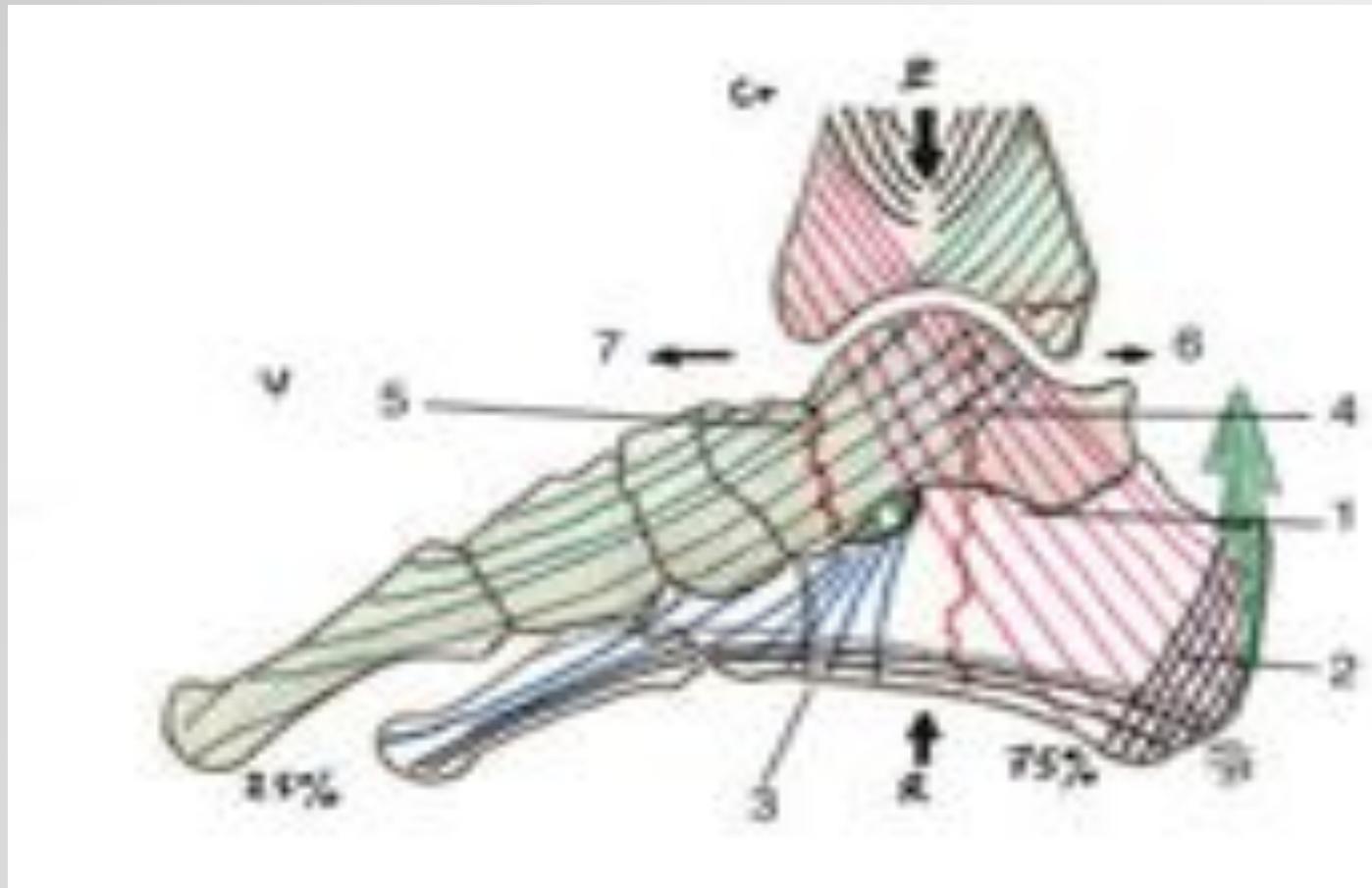
# L'os

- L'os et le cartilage s'organisent pour résister aux contraintes
- **Lignes de force** afin de répondre aux contraintes imposées à la structure osseuse
- Ces lignes sont appelées **travées osseuses**
- Les mêmes lignes apparaissent à la surface des cartilages articulaires



# L'os

- Les travées osseuses



# L'os

- **Propriétés de l'os**

- Rigidité : élasticité faible mais présente
  - Fonction de la densité de l'os
  - Rapport entre l'ostéoblastie et l'ostéoclasie
  - Si déséquilibre entre les deux
    - Cal hypertrophique
    - Ostéoporose
    - Maladie de Paget

# L'os

- Solidité
  - L'os peut résister à une pression de 15 kgs par millimètre carré de section et à 10 kgs de traction
  - Vertèbre lombaire résiste à une tonne (Boigey)
    - Solidité perturbée par la déminéralisation
      - Ostéoporose
      - Ostéite
      - Pathologie néoplasique

# L'os

- Le squelette sec ne pèse que 7kg
- L'os contient 70 % d'eau
- Léger et résistant

# Notions de contraintes

- Les différents éléments de la triade cinétique sont soumis à des contraintes
- Chacun des tissus réagit à ces contraintes en fonction de ses constituants propres
- Néanmoins les tissus suivent les mêmes lois face aux contraintes

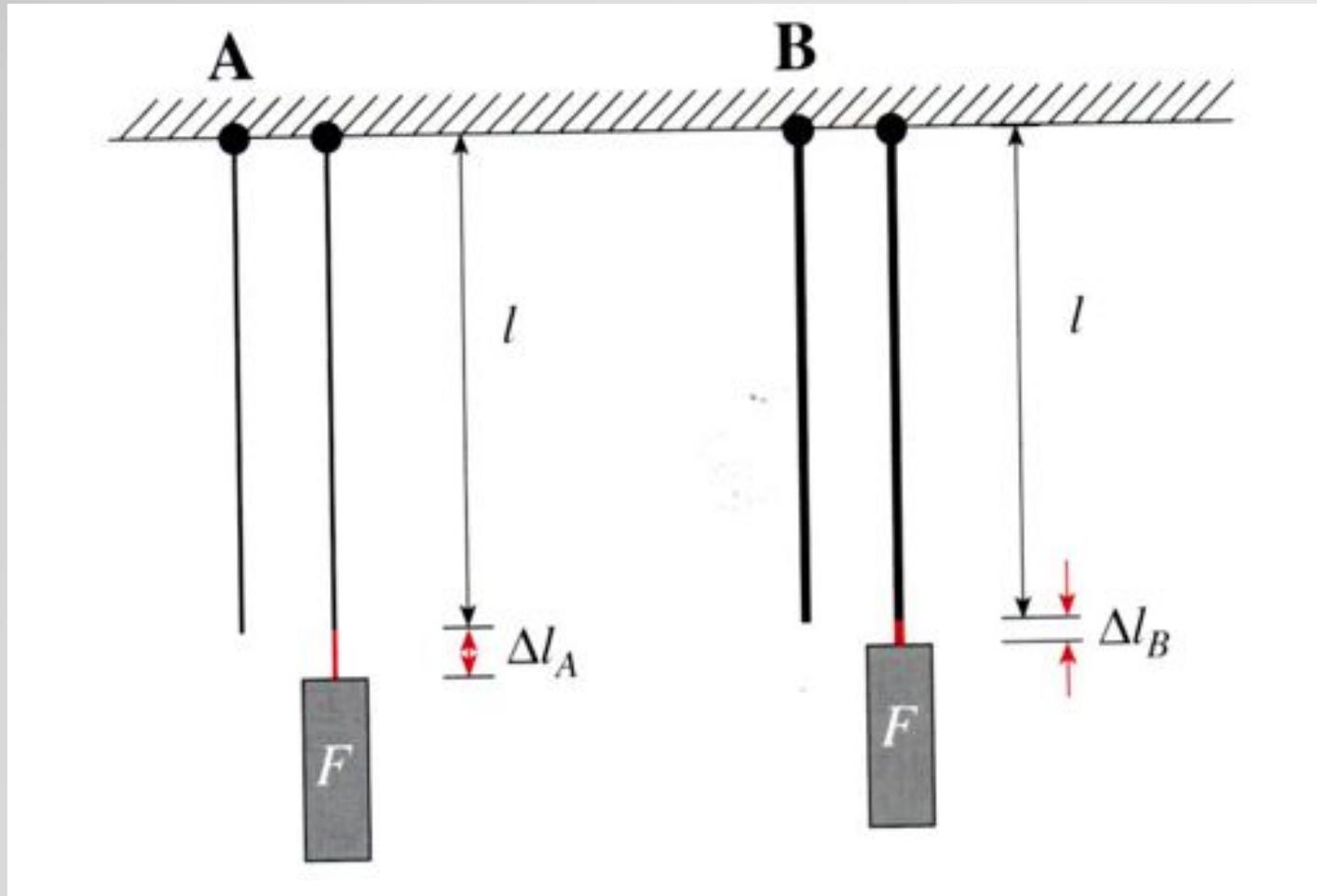
# Contrainte

- La contrainte est égale à la force ramenée à la surface sur laquelle elle s'exerce
- Unité: N/m<sup>2</sup>
- Les contraintes se présentent sous trois formes élémentaires
  - Traction, compression, cisaillement
  - Formule de la contrainte
    - $\sigma = F/S$

# Les contraintes

- Elles vont entraîner des déformations
- Ces déformations se traduisent par une modification de l'allongement du tissu sollicité
- Nous aurons donc  $\varepsilon = \Delta l / l$ 
  - La déformation est sans unité puisqu'elle correspond à une variation de longueur
  - (soit allongement, soit raccourcissement)

# Notion d'allongement



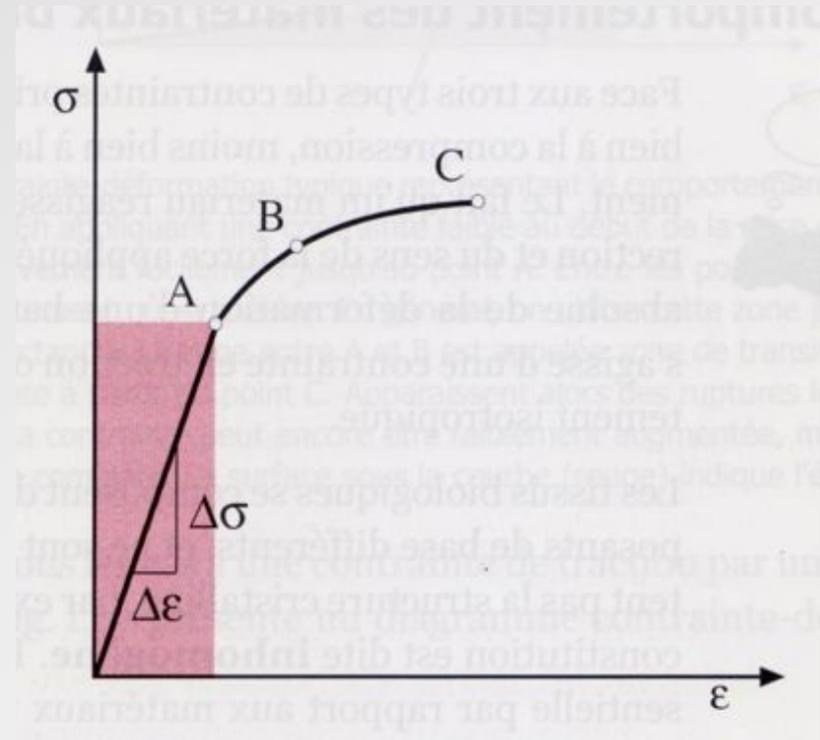
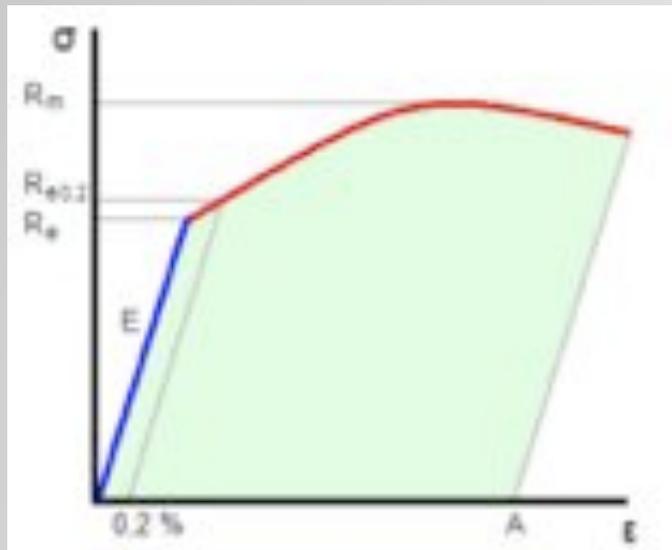
La section de l'élastique a doublé entre A et B

# Diagramme contrainte-déformation

- La relation entre la contrainte et la déformation est représentée par le diagramme contrainte-déformation
- Un solide a d'abord une déformation de type linéaire selon rapport de proportionnalité entre la contrainte et la déformation
- Ce comportement est nommé module d'élasticité ou module de Young

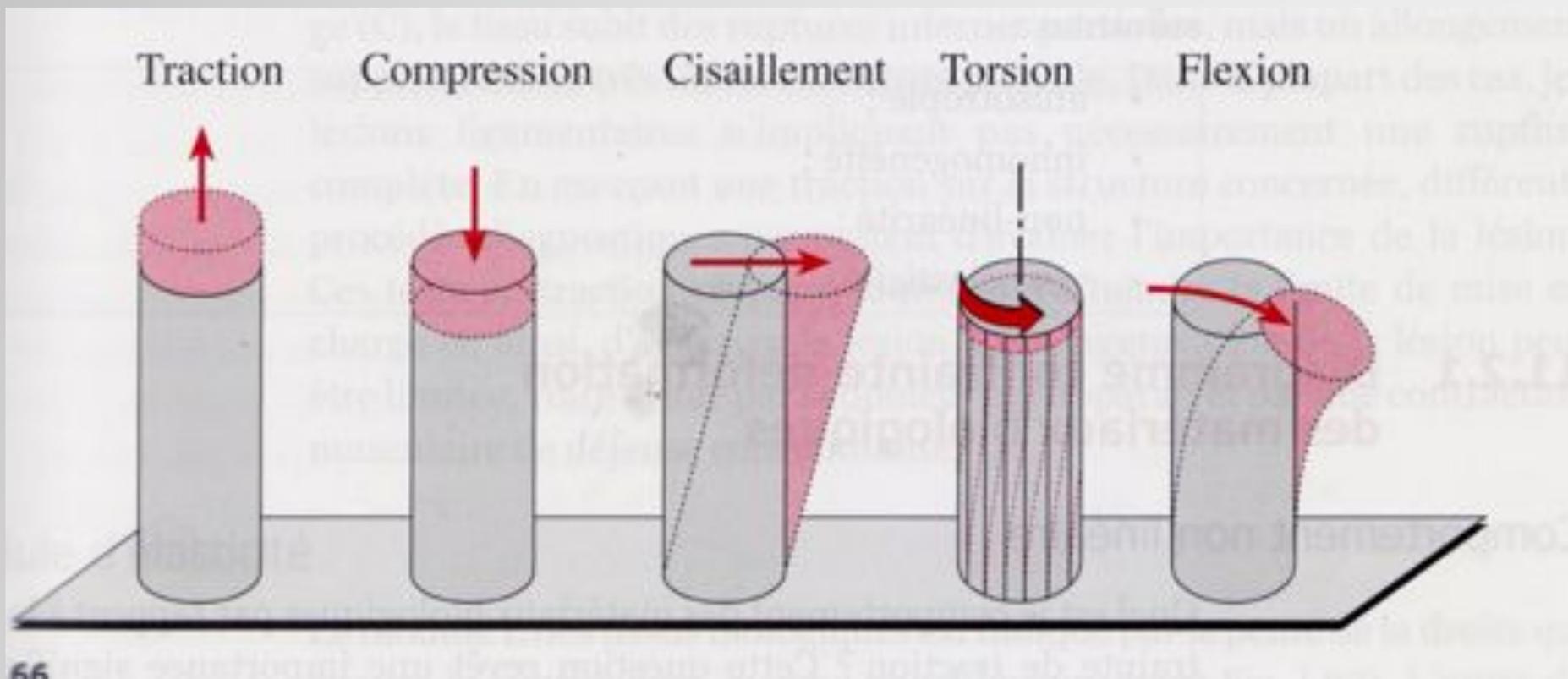
- $$E = \sigma / \varepsilon$$

# Module de Young



A: limite de proportionnalité, B: limite d'élasticité, C: point de rupture

# Différentes formes de contraintes



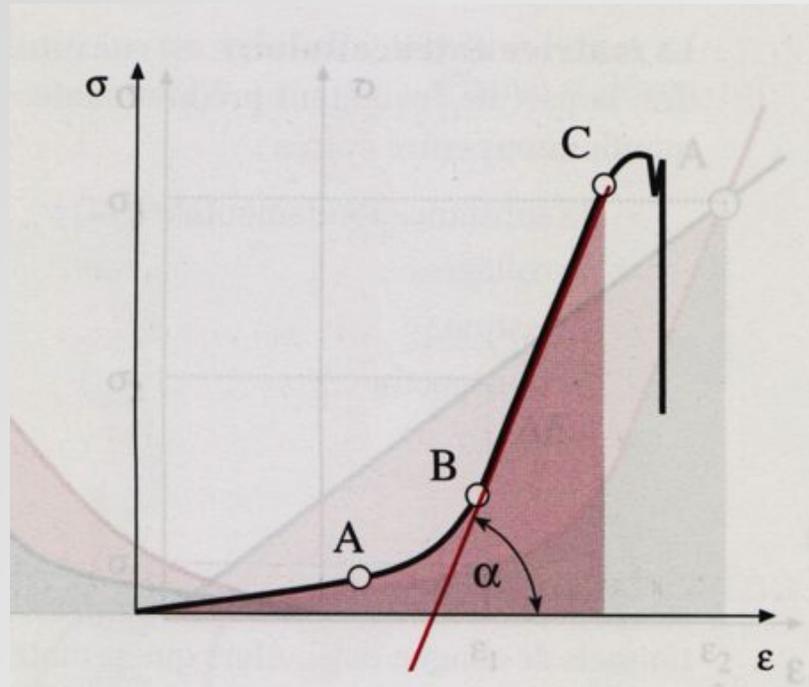
# Différentes réactions à la déformation

- **Elasticité**: capacité à reprendre sa forme initiale lorsque la force a été supprimée (relaxation)
- **Plasticité** : capacité à conserver la forme obtenue (allongement) après arrêt de la force
  - La déformation plastique s'obtient lorsque la limite d'élasticité est atteinte
  - Si la contrainte continue, on arrive à la charge de rupture

# Comportement des tissus biologiques

- Ils sont aussi des tissus de constitution inhomogène
- La déformation que subit les matériaux biologiques est dite de type déformation non-linéaire
- On parlera aussi de visco-élasticité des tissus biologiques

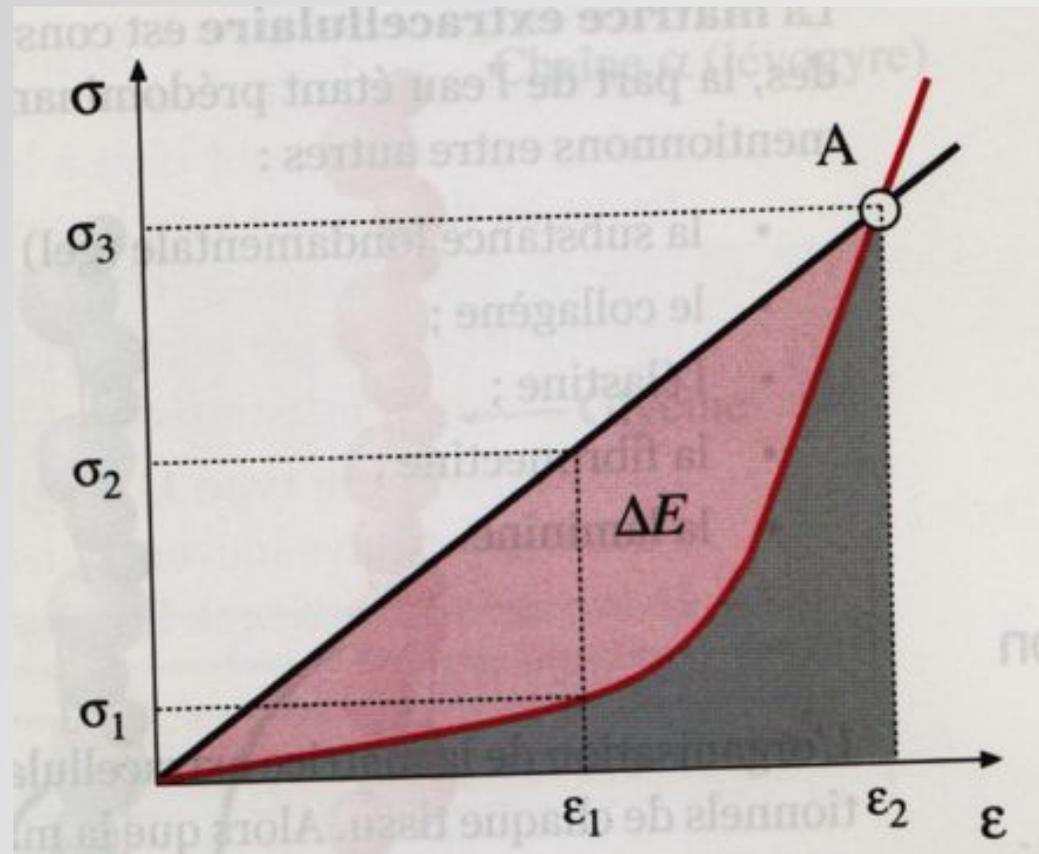
# Diagramme contrainte- déformation appliqué au tissu biologique



- A: allongement progressif, entre B et C déformation linéaire (module E), charge de rupture atteinte en C, d'abord partielle, puis complète
- En rouge: énergie absorbée

schémas tirés de biomécanique  
fonctionnelle Dufour, Pillu

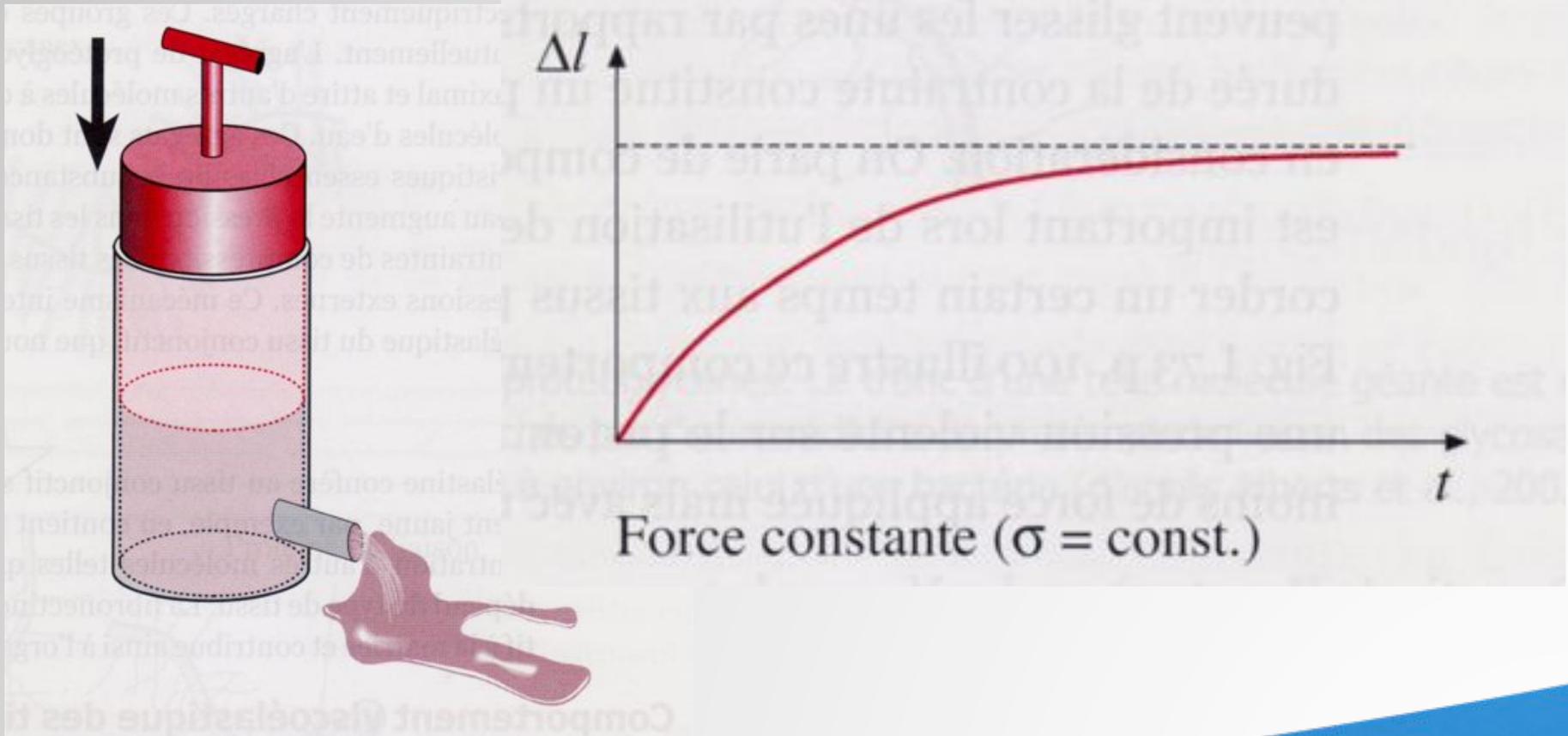
# Comportement entre matériau linéaire et non linéaire



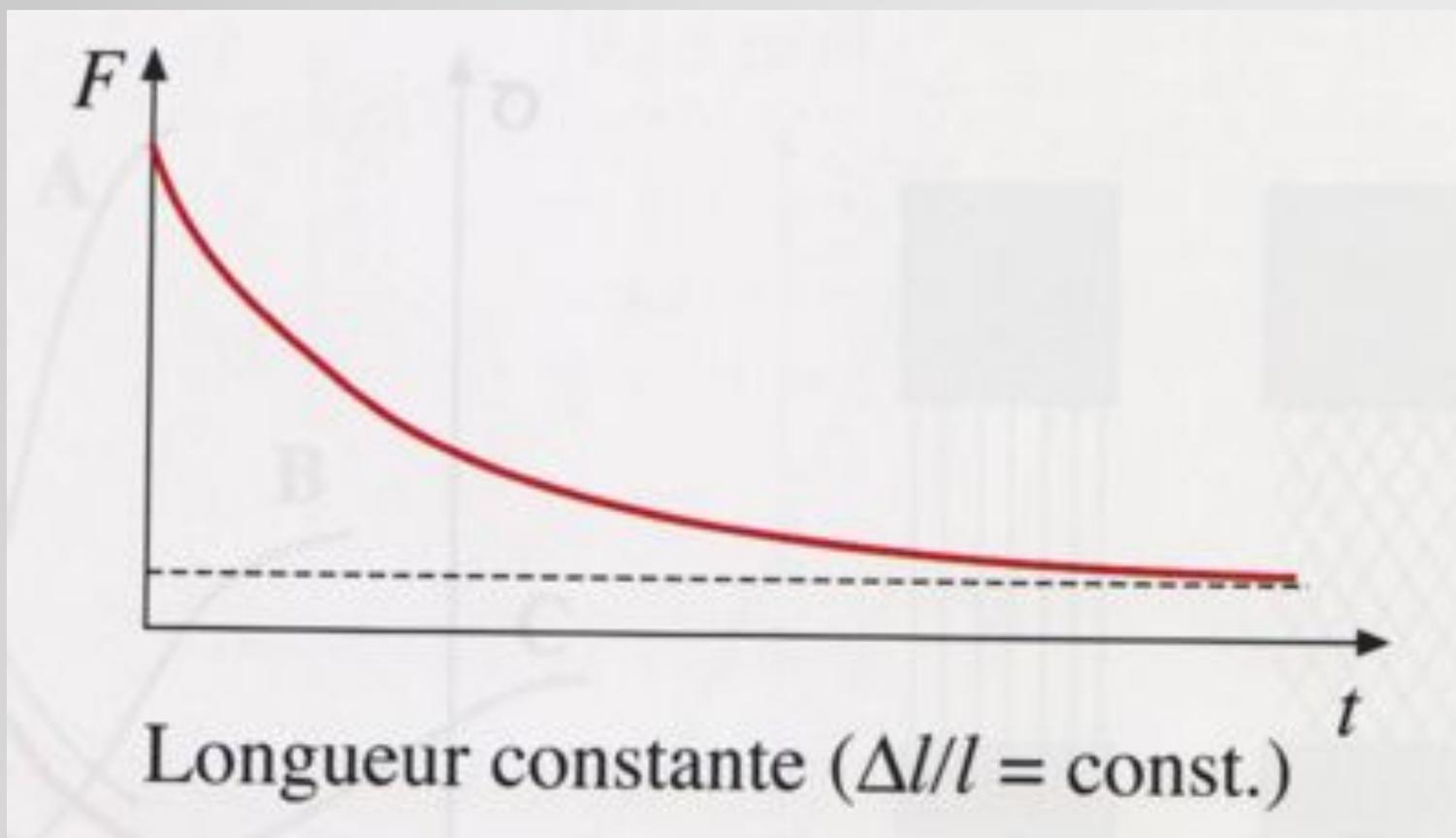
# Comportement visco-élastique

- Introduction de la notion de temps
  - Les tissus conjonctifs s'allongent d'une certaine valeur et quelque soit la durée
  - Les tissus éliminent progressivement l'eau, les molécules glissent l'une par rapport à l'autre
  - On parle de comportement visco-élastique
    - Application kinésithérapique: il faut laisser un certain temps d'étirement pour que le tissu s'allonge

# Visco-élasticité



# Visco-élasticité

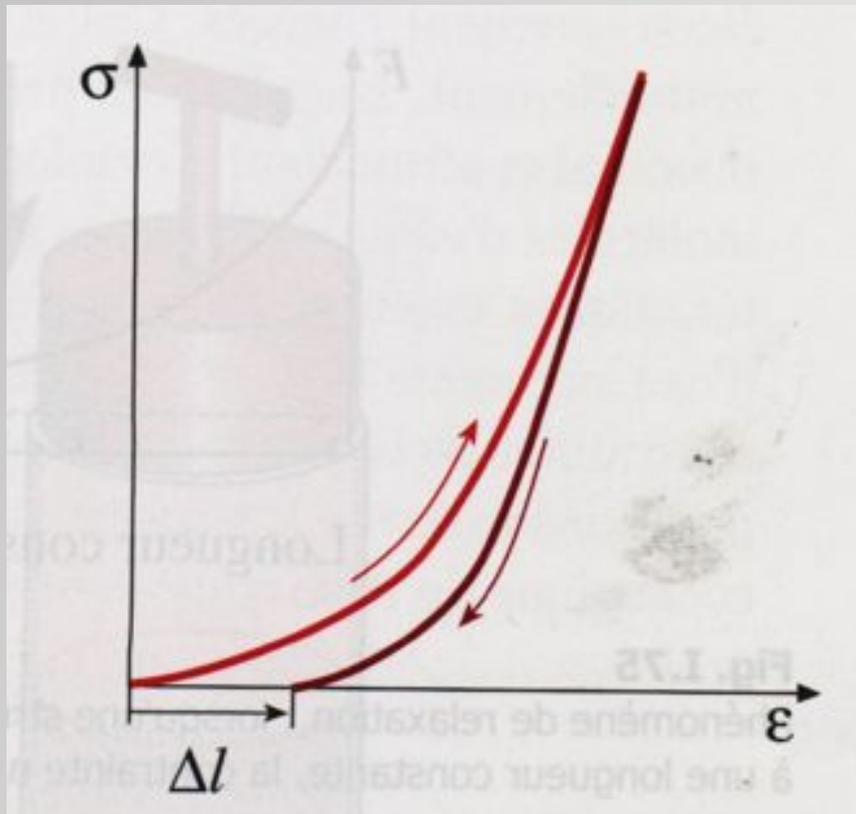


# Visco-élasticité

## Phénomène de relaxation

- Interprétation de la figure précédente
  - après quelques minutes d'étirement, on sent que la force nécessaire à l'étirement diminue ce qui permet d'accentuer l'amplitude
  - Travaux faits sur le triceps sural (Toft 1988) montre qu'après 5 minutes d'étirement, la force de traction diminue de 22%
  - Souhail démontre qu'après 4 à 5 étirements du quadriceps, la force interne du muscle diminue de 15 à 20 N

# Phénomène d'hystéresis



- Il existe une déformation résiduelle suite à un allongement, la courbe se déplace vers la droite.
- Si on ne relance pas l'étirement ou si rien n'est fait, au bout de quelques temps, on revient à la case départ
- Application avec les étirements type stretching

# Applications aux techniques myotensives

- Paramètres importants
  - Le module E
  - L'allongement obtenu
  - Diminution de la force en rapport avec le phénomène de relaxation
  - Force de résistance maximale
  - Allongement maximal possible
  - Énergie absorbée

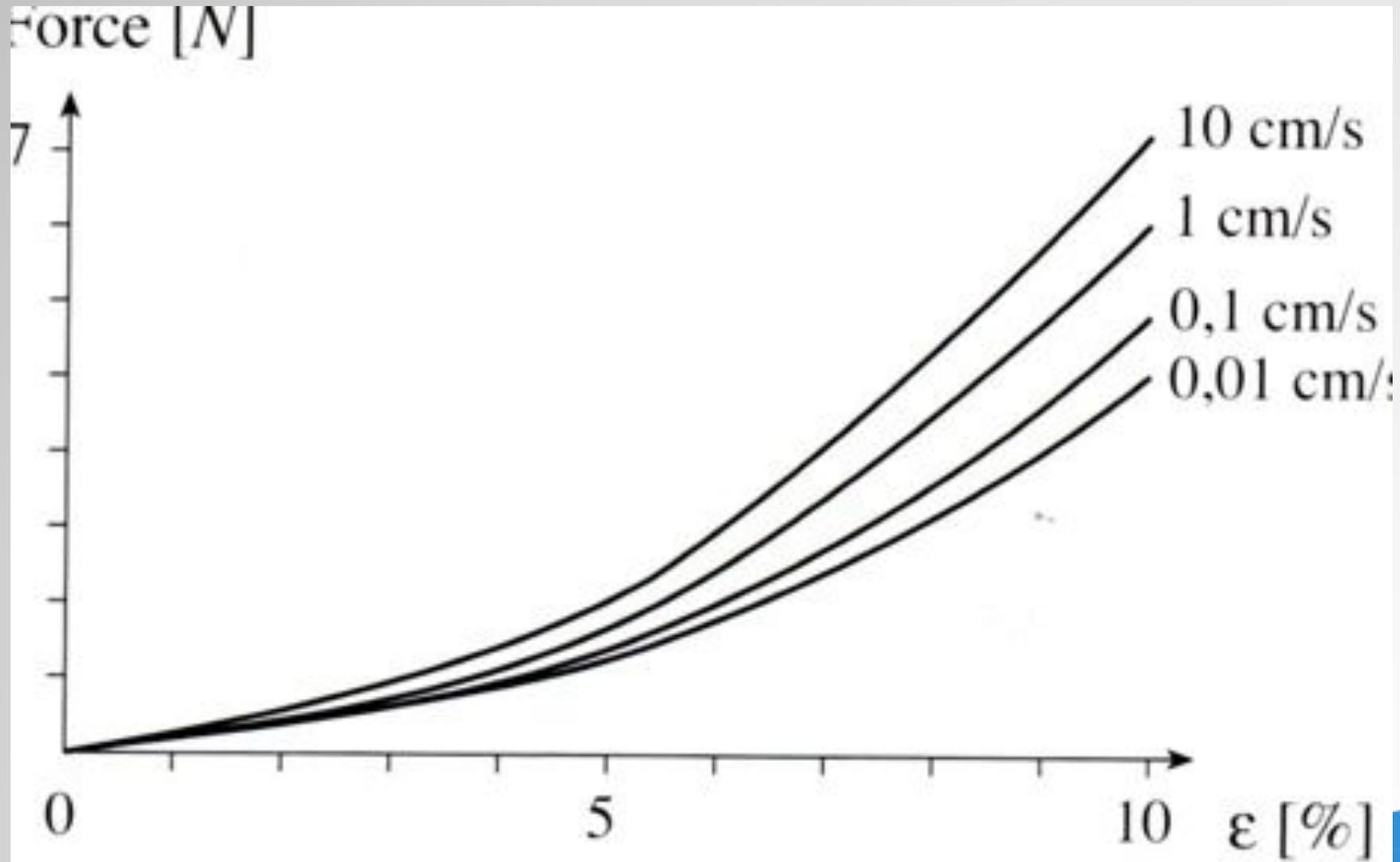
# Autres facteurs

- Composition des tissus
  - Disposition des fibres et variation d'orientation
    - Module d'élasticité dépend de la composition
    - Différence droite & gauche, concentration en eau
- Force : plus la force est élevée, plus la déformation est importante
- La déformation augmente avec le temps d'étirement

# Autres Facteurs

- Vitesse de déformation:
  - Plus la vitesse de déformation est faible, plus l'étirement est important (à durée identique d'application de la force)
  - Si la mise en charge est rapide, la pente est plus raide donc résistance possible (Taylor 1990)
  - Possibilité aussi d'une charge de rupture plus élevée et quantité d'énergie augmente

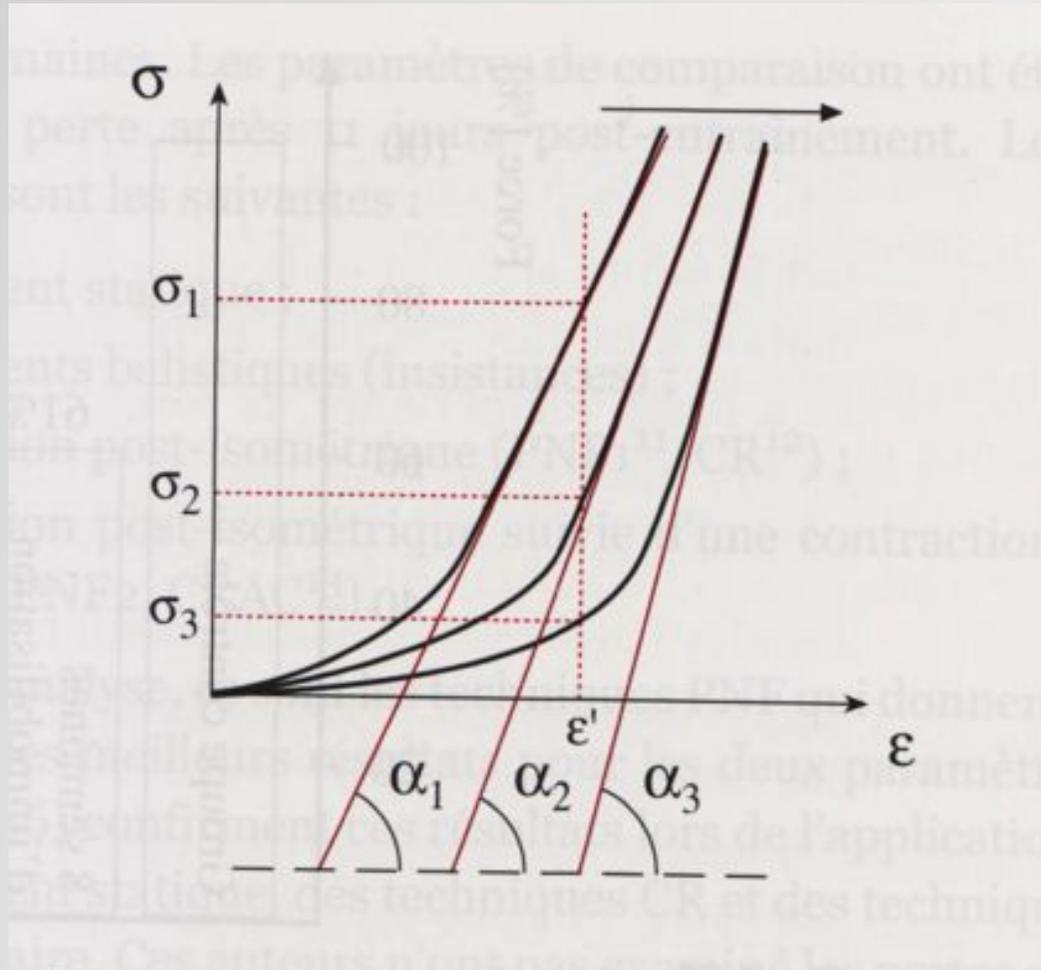
# Autres facteurs



# Autres facteurs

- Lors d'étirement successifs, on a deux phénomènes qui se réalisent qui sont
  - Augmentation de la « souplesse » (fluage)
  - Augmentation de la rigidité
  - Les deux semblent paradoxaux et peuvent s'expliquer en raisonnant sur le fait que l'étirement augmente l'amplitude du mouvement, mais fait apparaître une résistance plus élevée en fin de mouvement

# Autres facteurs



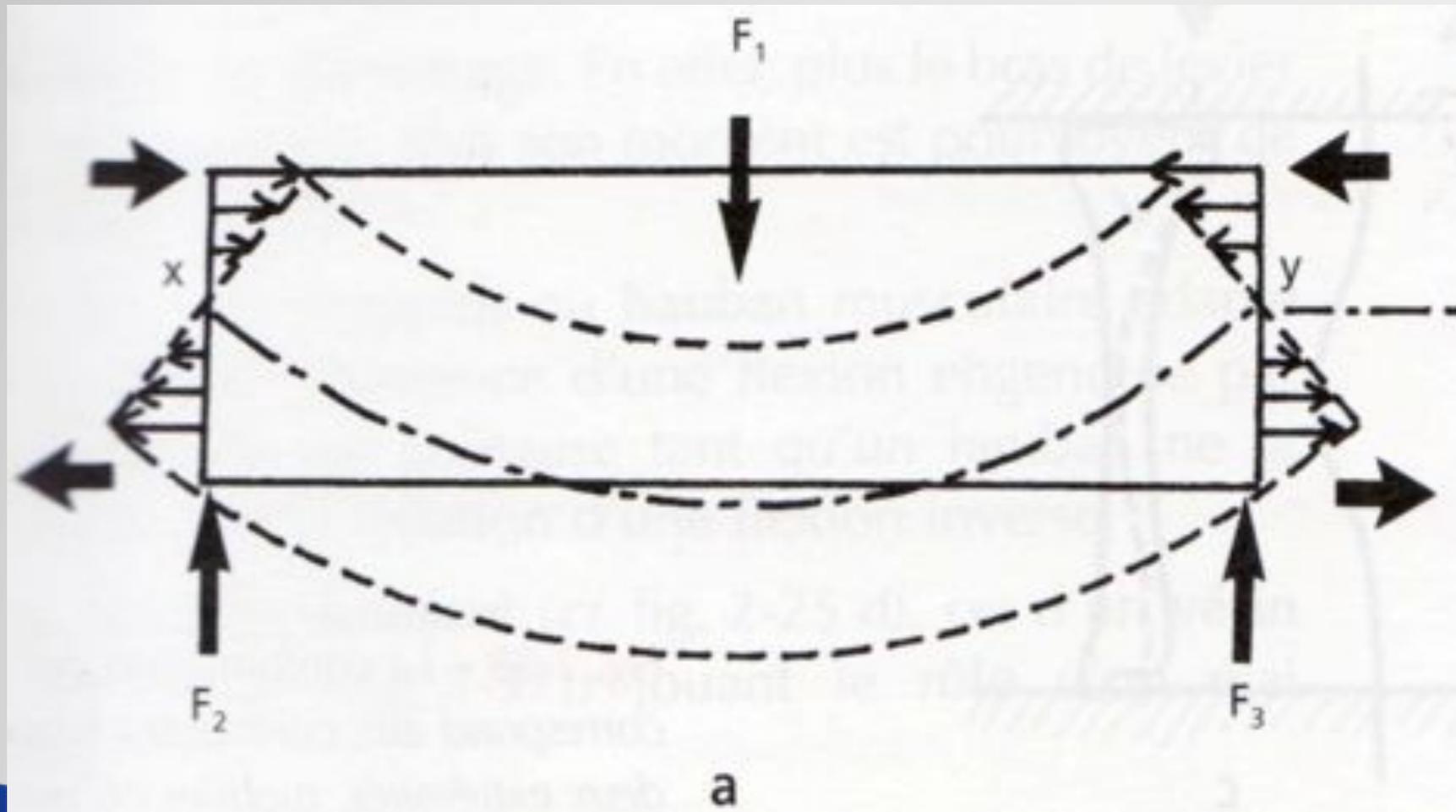
schémas tirés de biomécanique  
fonctionnelle Dufour, Pillu

# Contrainte composée

## la flexion

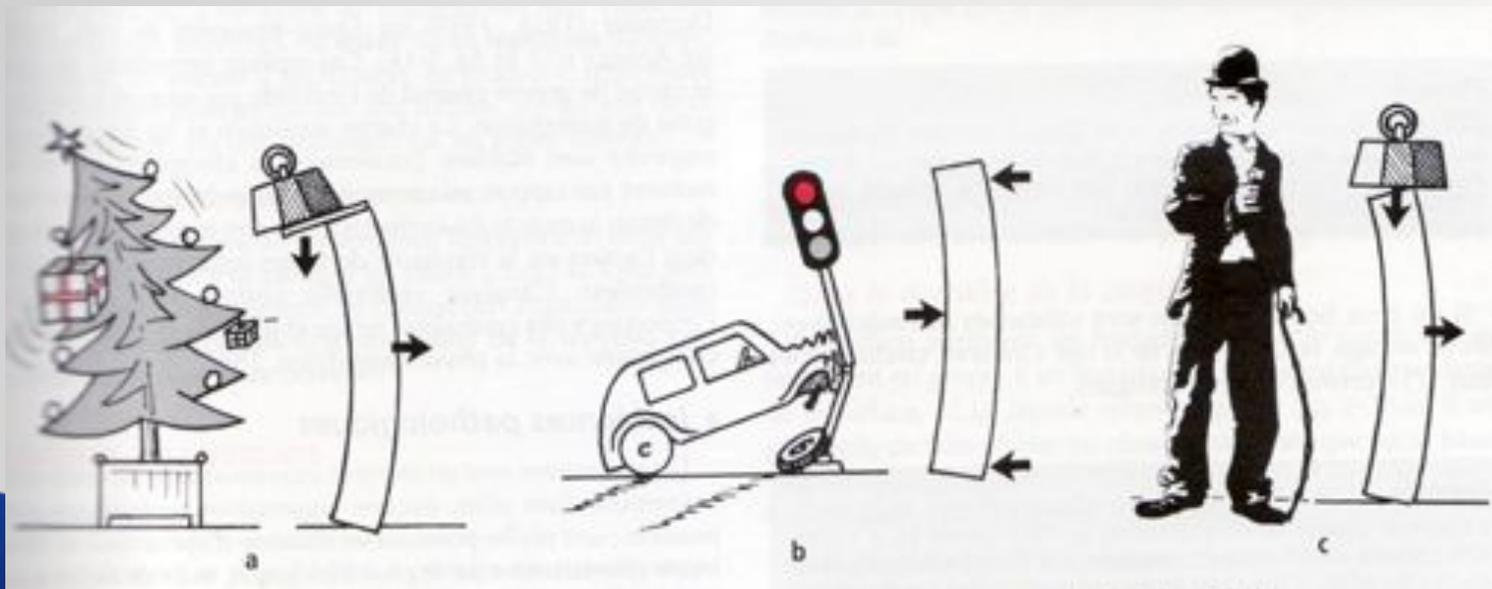
- On appelle flexion, la contrainte qui soumet une poutre à des forces coplanaires normales aux génératrices et provoque une déformation appelée flèche
- On a une contrainte composée avec une compression d'un côté et une traction de l'autre ainsi qu'une zone neutre entre les deux non soumise à contrainte

# Contrainte composée la flexion



# Contrainte composée la flexion

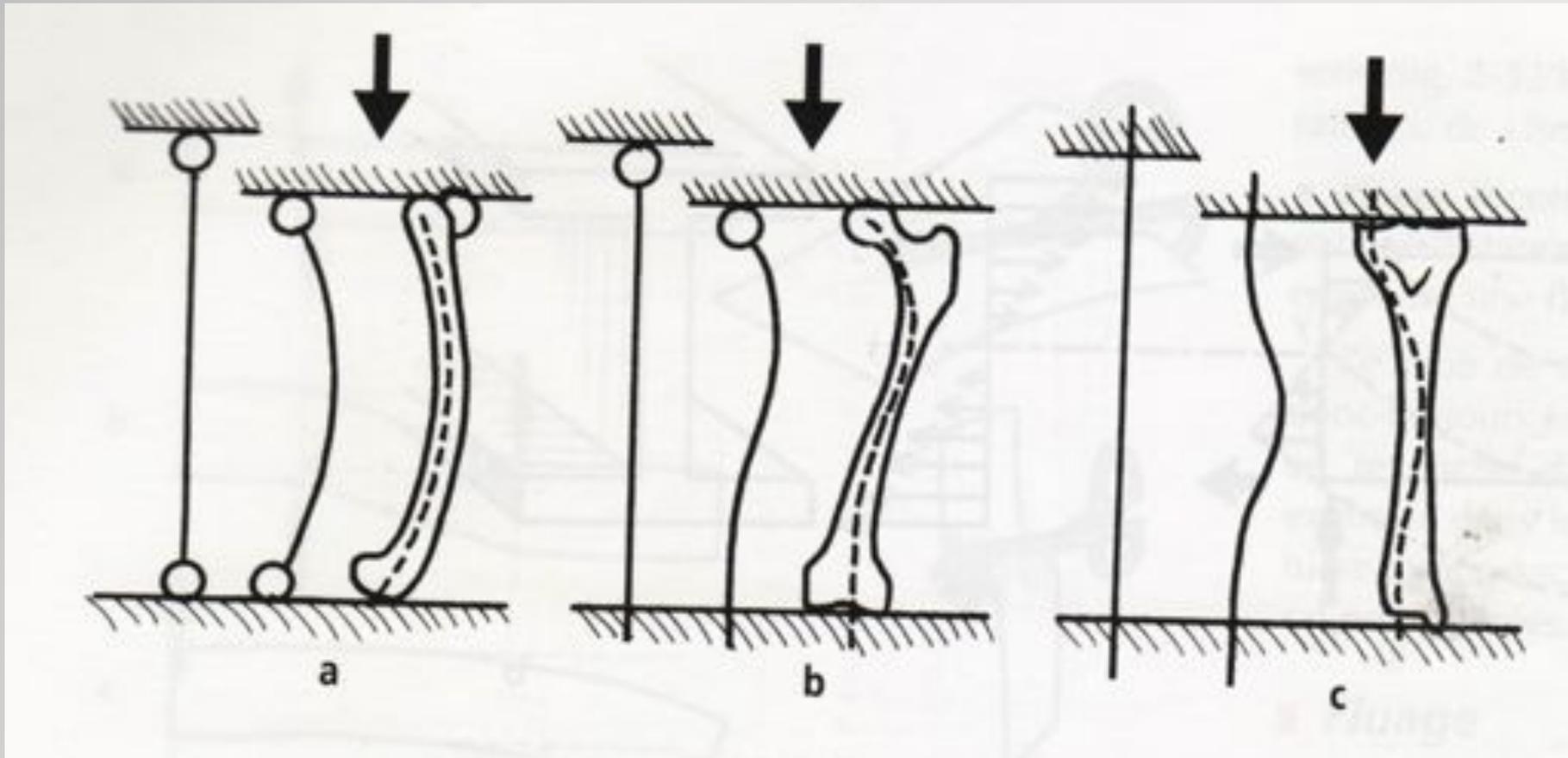
- On distingue
  - Compression décentrée (a)
  - Compression par cintrage (b)
  - Compression par flambage (c)



# Flambage

- Trois variantes
  - Cas d'une tige métallique coincée entre les deux mâchoires d'un étau
    - Si les deux bouts sont libres, il se produit une monocourbure, due à une rotation de chacun des bouts
      - Exemple: diaphyse fémorale entre hanche et genou
    - Si l'un des deux bouts est rendu solidaire de la mâchoire (encastrement), lors du serrage, la tige s'incurve dans les deux tiers de sa longueur situés du côté libre et reste rectiligne dans le 1/3 supérieur
      - Exemple hanche dans le plan frontal (abduction CF et absence au genou)

# Flambage

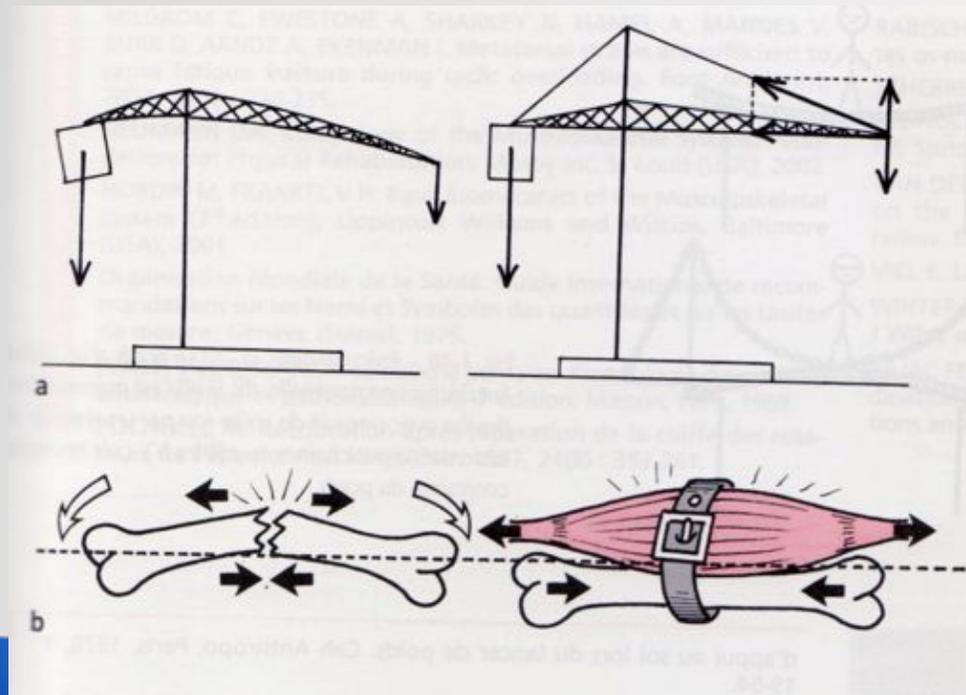


Si les deux bouts de la tige sont solidarisés aux mâchoires, lors du serrage, le 1/3 moyen de la tige s'incurve tandis que les deux 1/3 extrêmes restent rectilignes. Exemple le tibia qui ne permet pas de mouvement dans le plan frontal.

schémas tirés de biomécanique  
fonctionnelle Dufour, Pillu

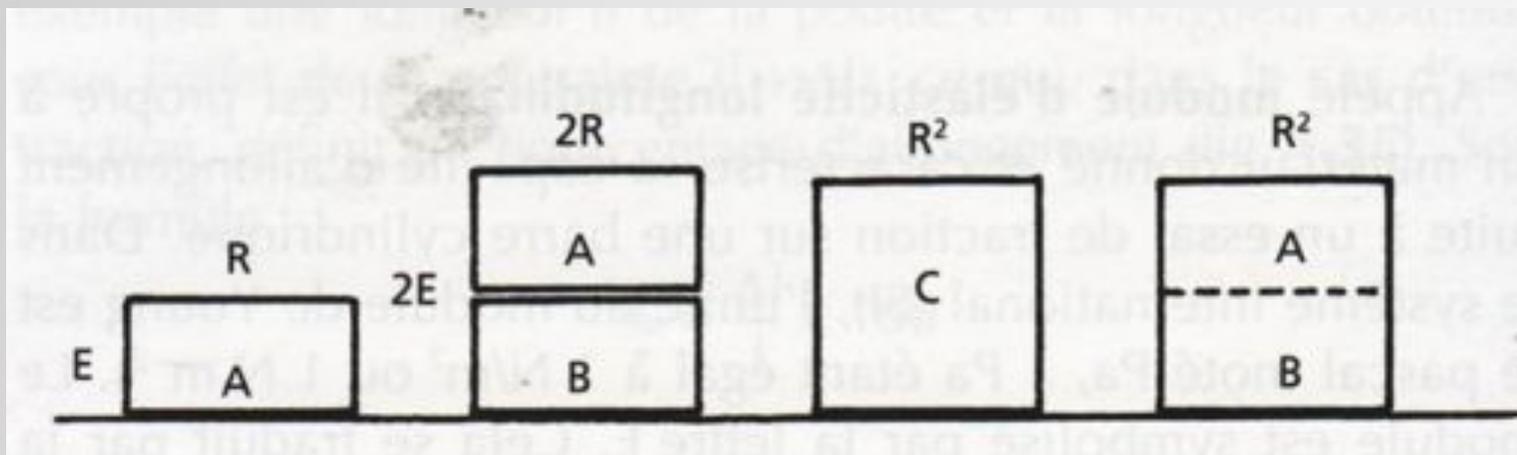
# Notion de poutre composite

- Une poutre composite est une association de deux matériaux différents, unis solidairement et qui partagent les contraintes auxquelles ils sont soumis en fonction de leur module d'élasticité et leur moment d'inertie. (Rabischong et Avril)

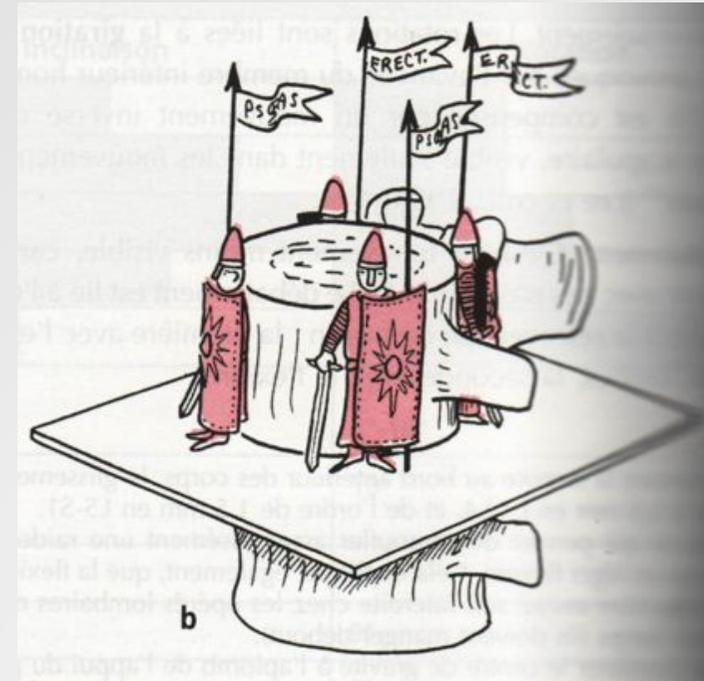
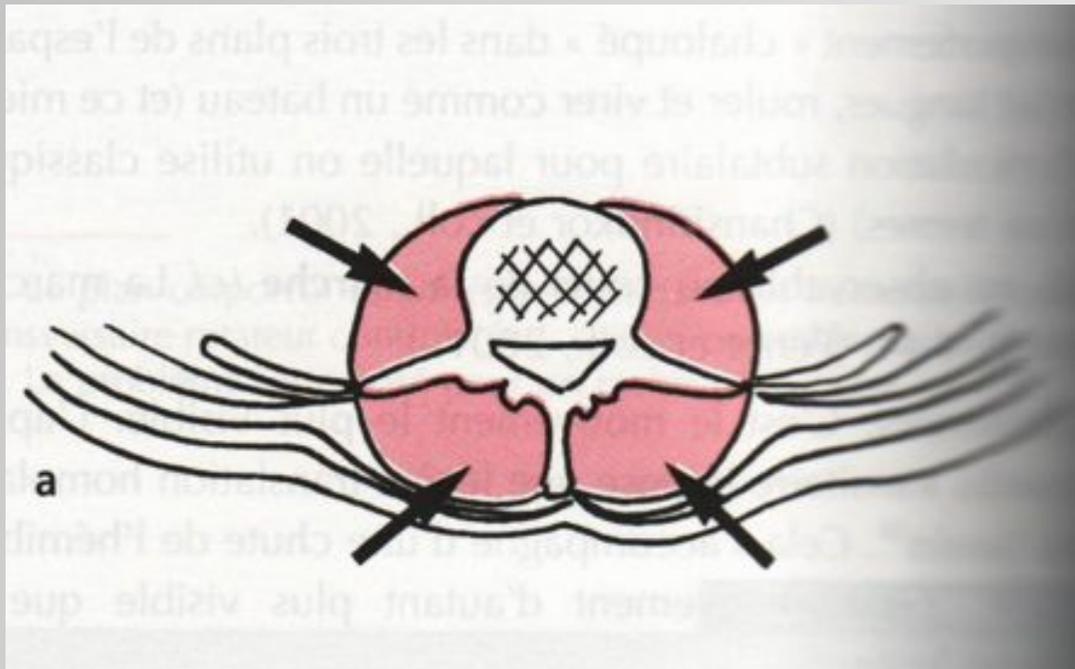


# Rôle de la poutre composite

- Augmenter la section globale de la poutre
- Dissocier les modules de Young des structures qui associent leurs efforts
- Déplacer la fibre neutre hors de l'os
- Diminuer la valeur totale des contraintes
- Annuler les effets dangereux de certaines contraintes



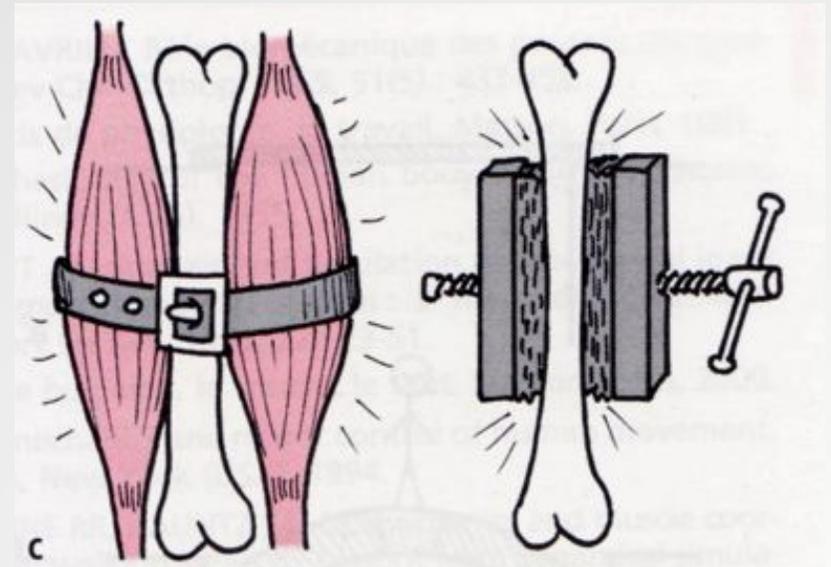
# Poutre composite lombaire



# Notion de co-contraction

## Notion de poutre composite

- 1- poutre composite entre os et muscle
- 2- effet étau entre le muscle agoniste et son antagoniste, favorisant la cicatrisation osseuse et correspondant aux chaînes parallèles



# L'os

- **Notion de fatigue d'un matériau** : diminution de résistance d'un matériau sous l'effet de charges répétées, induisant des dommages microscopiques au sein de ce même matériau
- **Fracture de fatigue** : comportement mécanique (d'un métatarsien) soumis à une contrainte répétée déformation microscopique, et casse. Le trait de fracture dur à voir
- **Rupture de tendon d'Achille** : tendon sollicité en traction en permanence, jusqu'au jour où il y a rupture.

# L'os

- **Résistance à la fatigue** : c'est la plus grande charge dynamique, infiniment répété, ne provoquant pas la rupture du matériau
- La valeur de la résistance à la fatigue est, à peu près, deux fois moins grande que celle de la résistance à la rupture

# Les lois osseuses

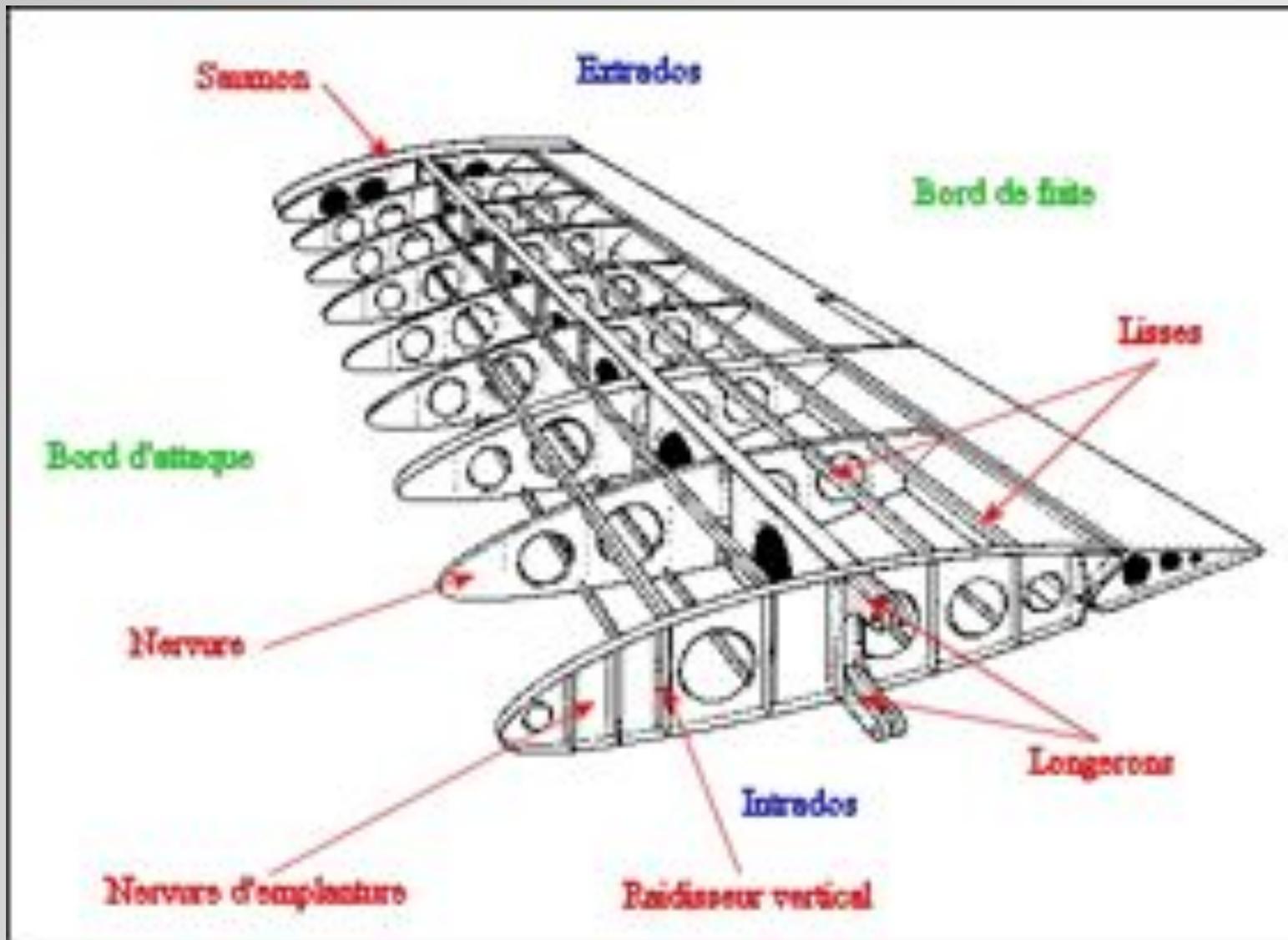
Paturet



# Loi sur le rapport qualité de résistance / quantité de matière

- L'architecture osseuse doit être telle que le maximum de résistance aux efforts soit offert par un minimum de tissu osseux
- Cela veut dire que les travées osseuses doivent s'orienter selon la résultante des contraintes s'exerçant en chaque point d'un os donné (Roux 1895 & Kock 1917)

# L'os

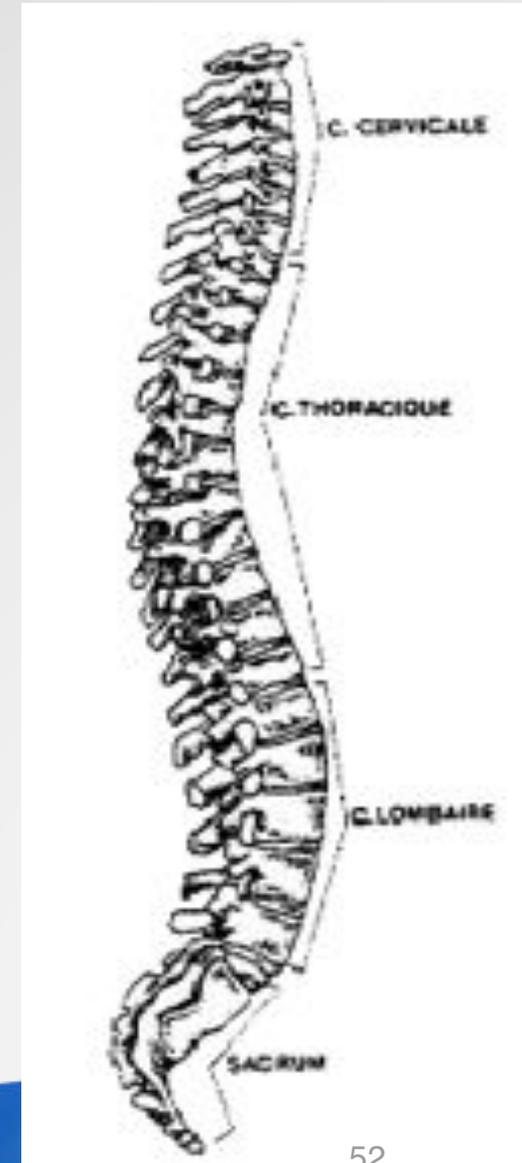


# L'os

- Implication en kinésithérapie
  - Après fracture osseuse, afin de permettre une consolidation de qualité, un minimum de contraintes est nécessaire pour favoriser la mise en place de ces travées
  - Notion d'ostéosynthèse trop puissante ou non

# Loi de Euler

- Datant du XVIII siècle, cette loi indique que lorsqu'il a des courbures osseuses, la résistance osseuse est fonction du nombre de courbures
- $R = N^2 + 1$
- Cette loi est fausse et on doit seulement garder en mémoire qu'un os ou une série d'os à courbure absorbe beaucoup mieux les contraintes qu'un os ou un ensemble d'os rectiligne



# Loi de Delpech

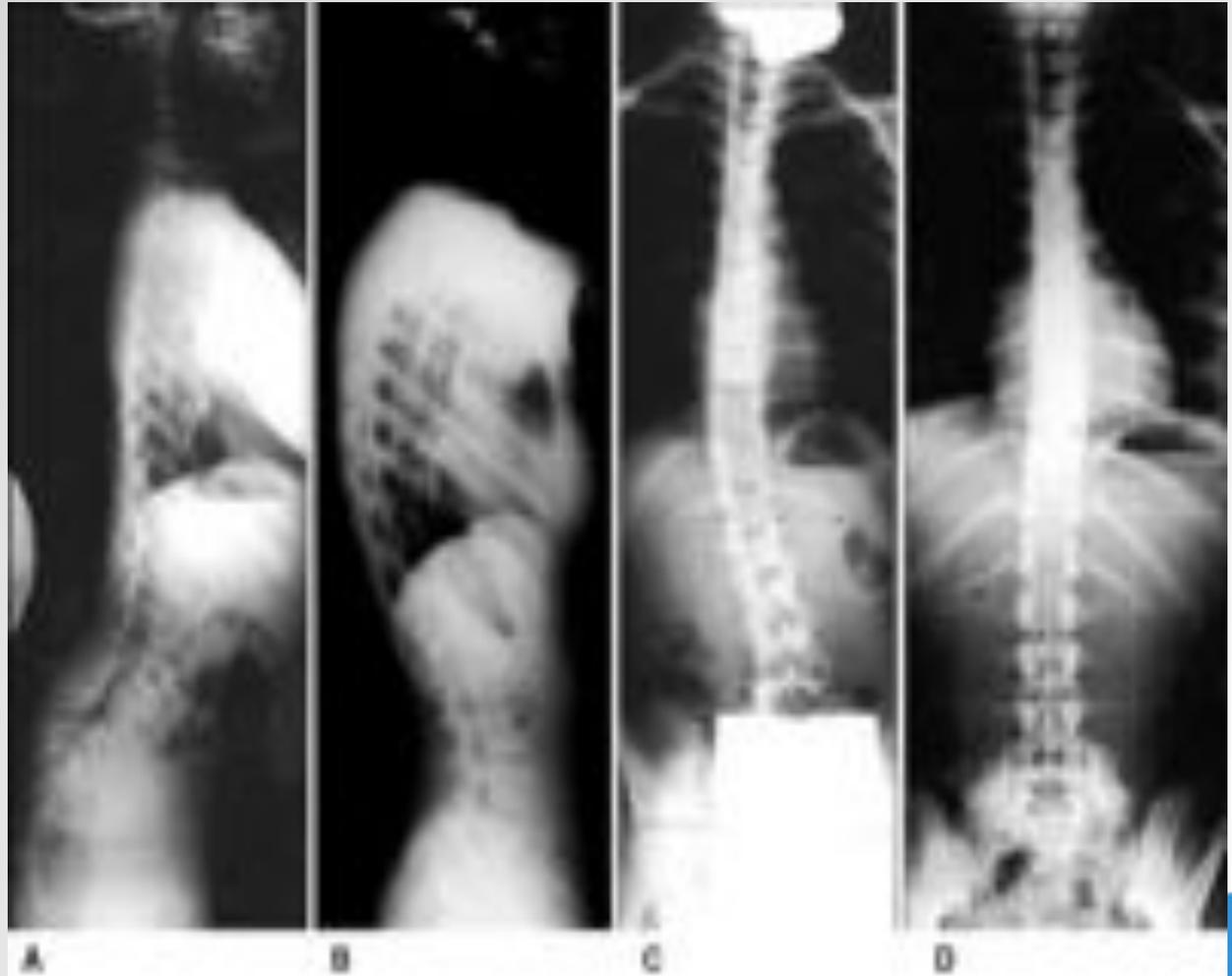
- Les membres inférieurs ne grandissent pas en même temps mais alternativement
- Ceci induit une inégalité de 0,5 cm fréquente des membres inférieurs chez l'enfant
- Il faut donc surveiller cette croissance et compenser assez vite que possible les inégalités dépassant les 1cm pour éviter les attitudes scoliotiques
- Pour vérifier, se baser sur la hauteur des grands trochanters pour éviter toute confusion avec une perturbation mécanique pelvienne

# Loi de Delpech

- Elle concerne aussi le rapport qui existe entre la croissance des cartilages de croissance et les contraintes auxquelles ils peuvent être soumis
- Paradoxe
  - L'ostéogénèse est stimulée par les contraintes

# L'os

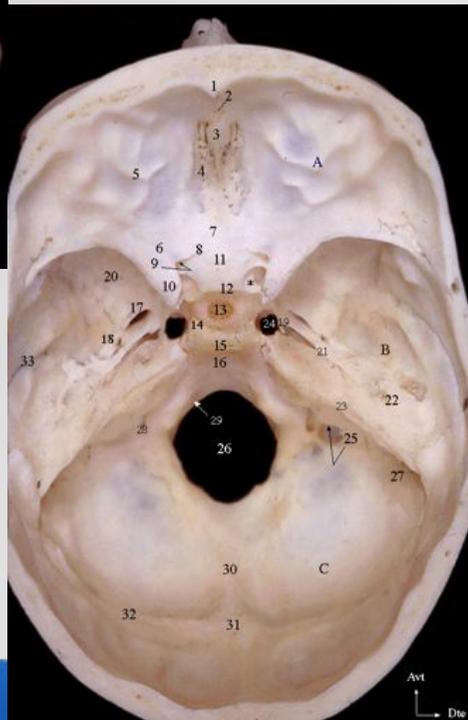
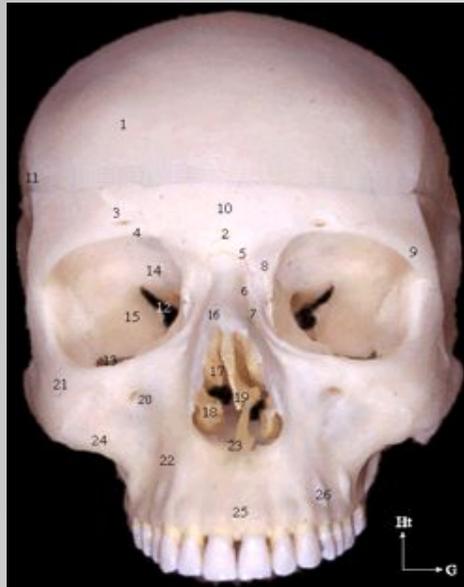
- Radiographie préopératoire
- Spondylolisthésis avec cyphose lombosacrée
- Scoliose significative



# L'os



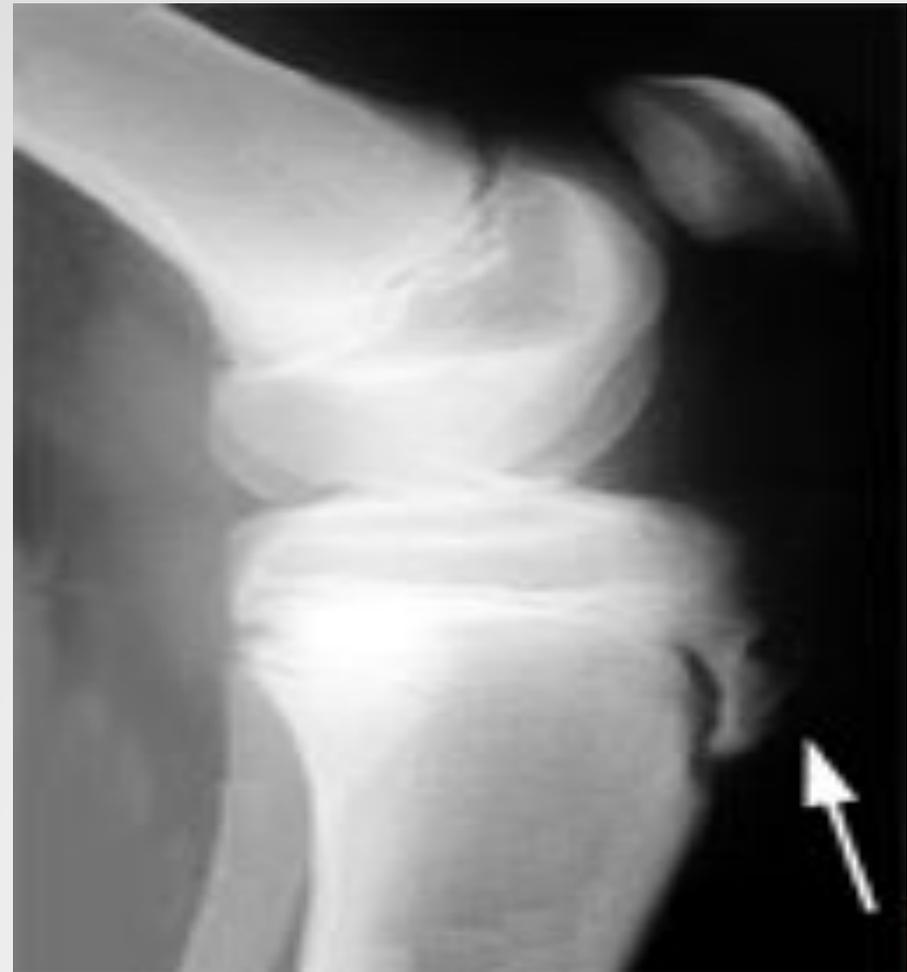
# L'os : Serres 1819



- Loi sur la conformation osseuse
  - Loi sur la symétrie
  - tout os médian est d'abord double
  - Le frontal

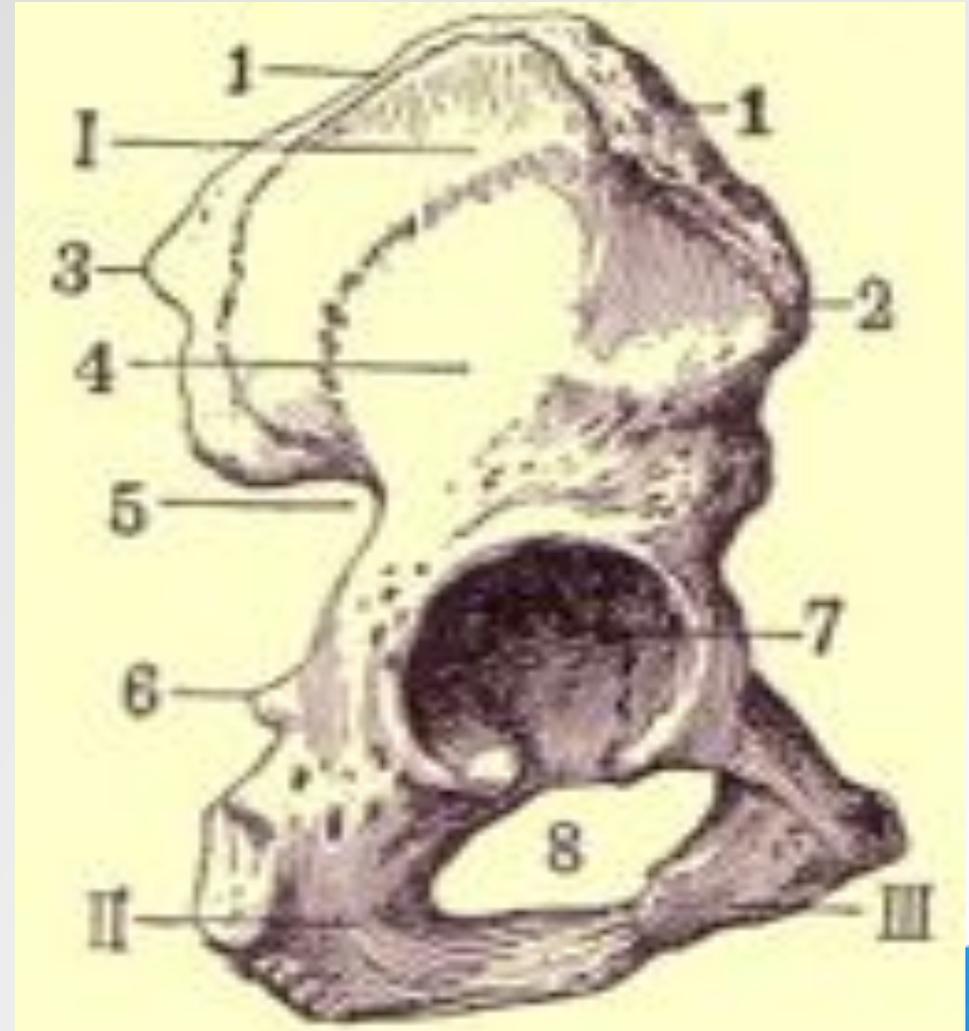
# Point d'ossification

- Loi des éminences: toute éminence se développe à partir d'un point d'ossification spécial
- Le point complémentaire



# L'os

- Loi des cavités
  - Toute cavité osseuse est constituée par la juxtaposition de plusieurs pièces osseuses (au moins deux)
  - Exemple l'acétabulum
  - Incidence
    - Traumatologie
    - Anatomie



# L'os : Sappey 1876

- **Loi sur le développement des épiphyses**
  - Les points épiphysaires apparaissent si l'épiphyse a un développement important
  - Ce sont les tractions musculaires qui réalisent cette action durant la phase de croissance
  - Les gouttières osseuses trouvent aussi leur origine dans l'action musculaire
  - ***Incidence kinésithérapique***: relancer une activité musculaire forte sur des zones osseuses non sollicitées depuis longtemps entraîne une souffrance des tissus d'insertion (périostite)

# L'os

- **Lois sur la croissance osseuse** (Godin de la Flèche)
  - Loi de la puberté
    - Avant la puberté, ce sont les membres qui croissent le plus vite (le tronc après)
    - La croissance se fait surtout en hauteur puis en épaisseur
    - La croissance concerne surtout les os puis ensuite les muscles

# L'os

- Lois des alternances
  - L'os s'allonge et grossit alternativement avec des phases de repos alternées
  - L'intensité est inégale et varie selon le contexte (poussées après maladies)
- Loi des proportions
  - Si la taille de naissance est de 50 cm, à 5 ans elle est de 2N, à 14 ans de 3N et définitive à la fin de la puberté

# L'os

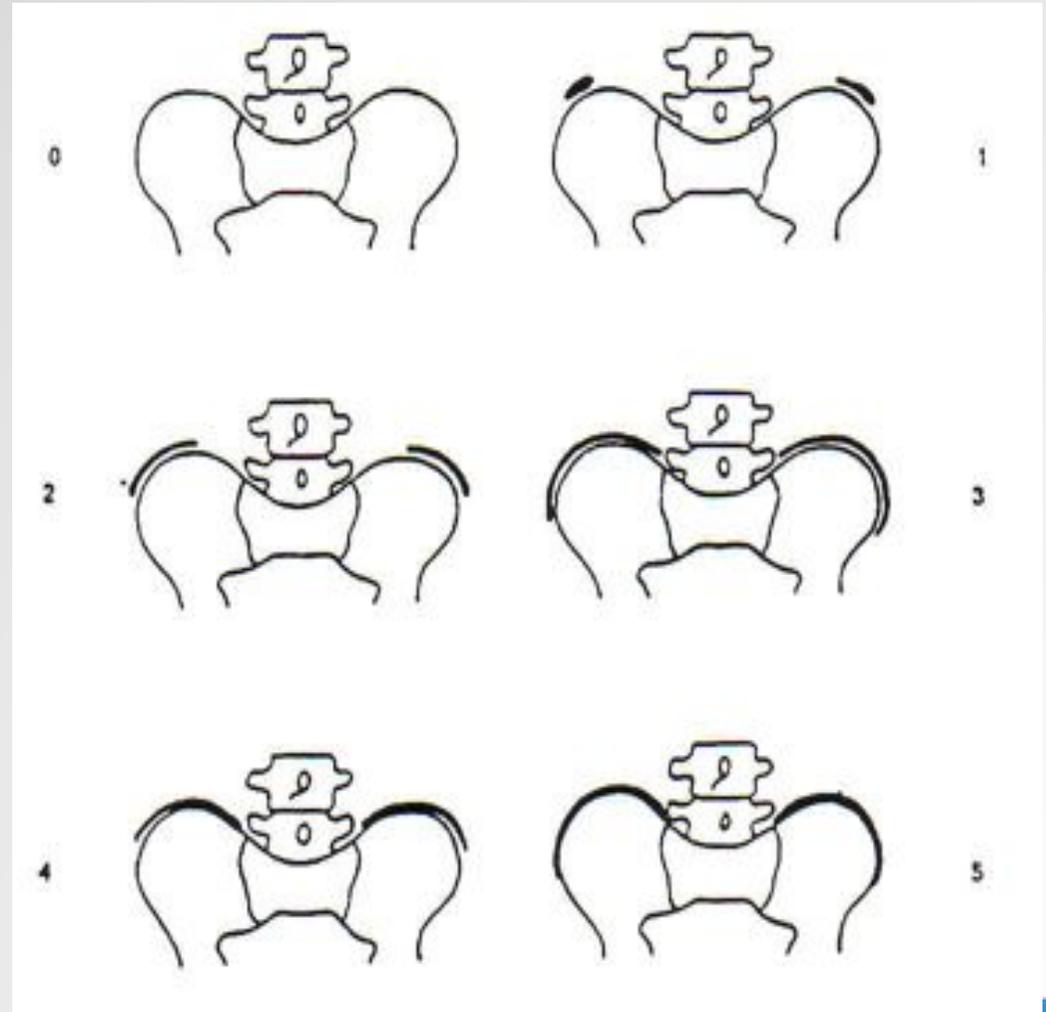
- Loi des asymétries
  - Elle est valable pour les membres où il existe une asymétrie de croissance en fonction de l'hyperfonctionnement du membre
  - Incidences
    - Interdiction du travail chez les enfants

# L'os

- Règle des orifices
  - Tout orifice correspondant au passage d'une structure anatomique est formée d'une partie rigide et d'une partie souple
  - L'ensemble forme un tunnel ostéo-fibreux
  - Exceptions:
    - Base du crâne
    - Foramens transversaires des vertèbres cervicales

# L'os

- On détermine l'âge osseux de l'enfant grâce au test de Risser



# Pathologies de la triade

- Le muscle
  - Contractures
  - Rétractions : hypo-extensibilité par modification du tissu charnu en tissu fibreux
  - Rupture partielle des fibres musculaires
  - Perte de l'activité musculaire (paralysie)
  - Les tendons (diminution activité golgi)
  - Atteinte des fuseaux neuro-musculaires

# Pathologies de la triade

- Liquide synovial augmente ou diminue
  - Réponse à une agression entraîne un blocage articulaire
  - Si diminution du liquide synovial sans reconstitution immédiate -----> manque de lubrification---> usure et échauffement

# Pathologies de la triade

- Ligamentaire + capsulaire
  - Diminution de la longueur : rétraction, minore l'action
  - Augmentation de la longueur : instabilité articulaire, récepteurs articulaires: exagération des sollicitations ---- commande exagérée de tension musculaire ----- perte de mobilité
  - Suppression de l'information-----perte de la protection musculaire

# Pathologies de la triade

- Pathologies de l'os
  - Pathologie de l'attache musculaire: perte du maintien ----- sidération musculaire
  - Pathologie du levier ----- ostéoporose ----- diminution de l'activité musculaire
    - Fracture ----> sidération

# Pathologies de la triade

- Bourses séreuses
- Pathologies centrales: les commandes n'arrivent pas à la corne antérieure
- Pathologies de l'arc réflexe: la commande ne dépasse pas la corne antérieure
- Pathologies des cartilages de conjugaison
- Pathologies musculo-osseuse
  - croissance différente
- Pathologies vasculaires

# Conclusion

- Tous les éléments de la triade doivent être équilibrés entre eux
- Tout effort doit respecter cet équilibre
- La douleur perçue n'est qu'un seul signal valable qui doit être interprété par le praticien