hes·
so
healthy.



Module 1004 – Réparation tissulaire
04.11.2026

Sophie Carrard

> Programme

- Physiologie
  - Composantes structurelles des tissus conjonctifs
  - Tissus conjonctifs
- Phases de cicatrisation
  - Global
  - Ligaments
- Cicatrisation & physiothérapie



> Objectifs

- Connaître dans les grandes lignes les composantes structurelles du tissu conjonctif
- Connaître dans les grandes lignes la composition des différents tissus conjonctifs principaux du corps humain
- Être capable de décrire les différentes phases de guérison et leur durée physiologique pour les ligaments
- Être capable d'expliquer dans les grandes lignes les mécanismes physiologiques en jeu lors de chaque phase de cicatrisation
- Être capable de reconnaître les symptômes et les signes cliniques des différentes phases de cicatrisation
- Être capable d'adapter les traitements à chaque phase de cicatrisation d'après les symptômes et les signes cliniques

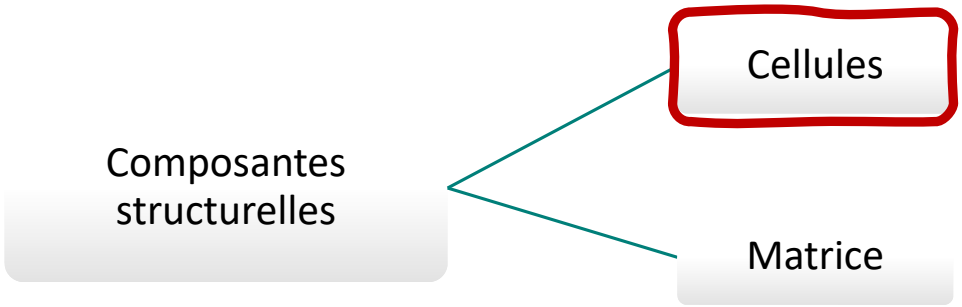


> Physiologie – Composantes structurelles des tissus conjonctifs
Histologie & tissu conjonctif

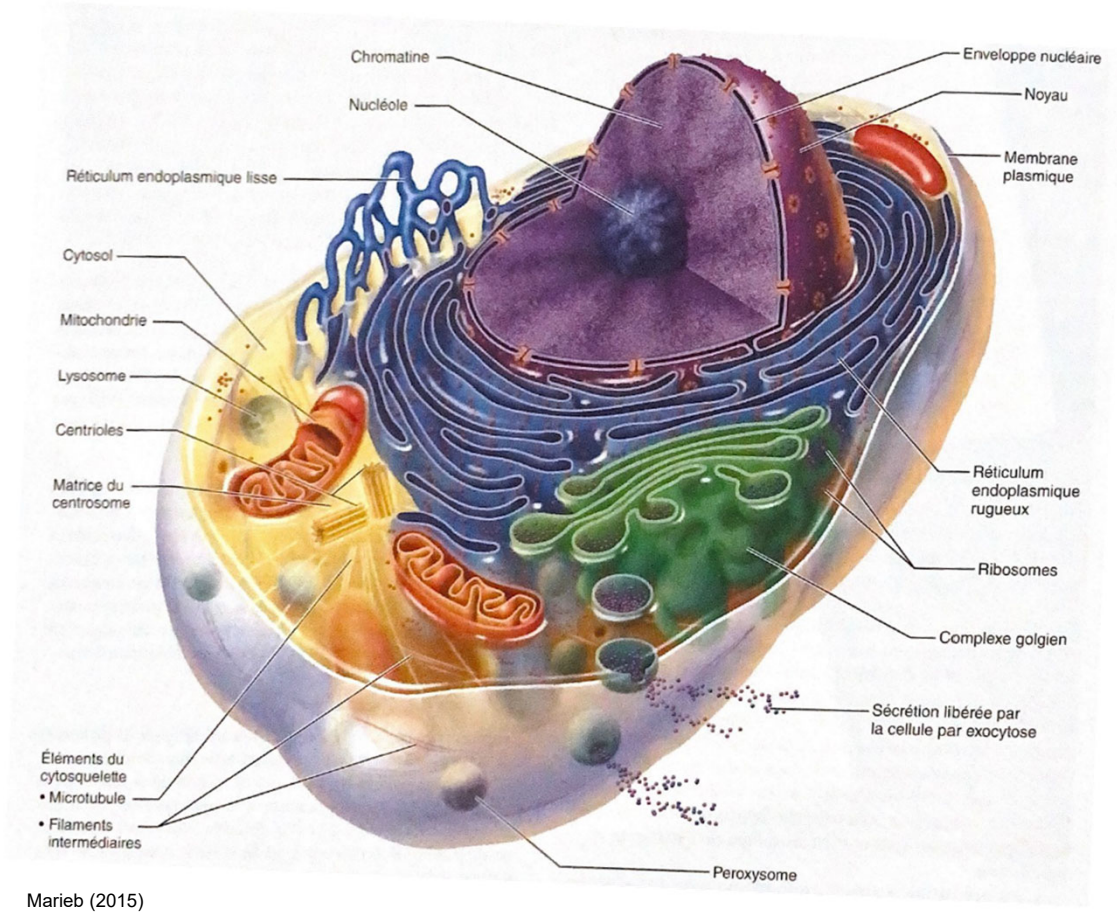
- Tissu = ensemble de cellules de structure semblable avec une fonction identique ou proche
- Quatre différents tissus dans le corps humain :
  - Tissu épithélial *(revêtir)*
  - Tissu conjonctif *(soutenir)*
  - Tissu musculaire*(mouvoir)*
  - Tissu nerveux *(réguler)*
- Tissu conjonctif :
  - Tissu conjonctif (tissu adipeux, tissu fibreux)
  - Tissu osseux
  - Sang
- Fonctions du tissu conjonctif
  - **Fixation & Soutien**
  - Protection
  - Isolation
  - Stockage de réserves d'énergie
  - Transport de substances à l'intérieur du corps



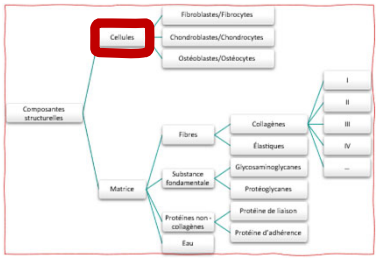
> Physiologie – Composantes structurelles des tissus conjonctifs



> Physiologie – Composantes structurelles des tissus conjonctifs
Cellules

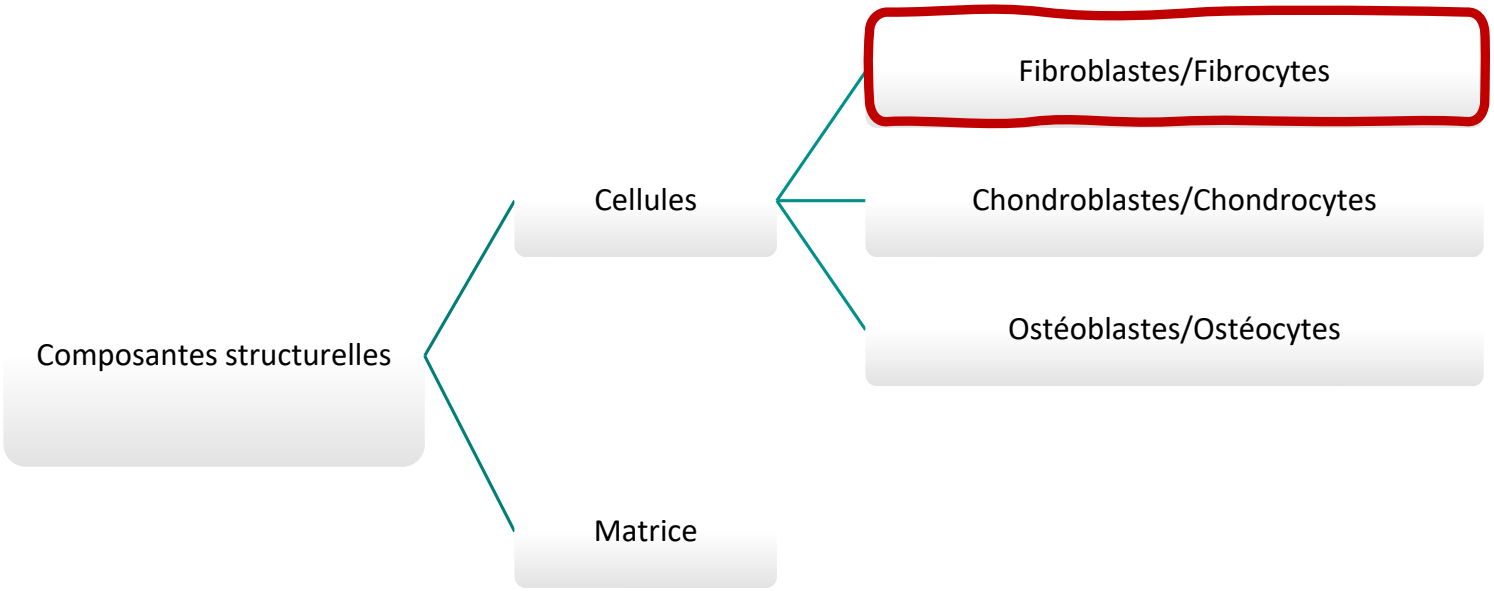


Marieb (2015)

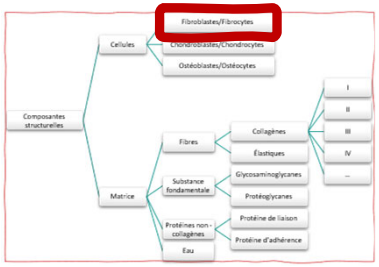


- 200 types différents dans le corps humain
- Trois régions principales :
  - Membrane plasmique
  - Cytoplasme
  - Noyau

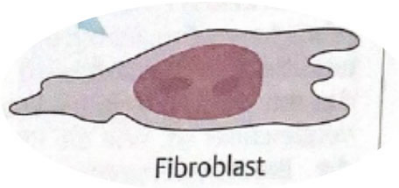
> Physiologie – Composantes structurelles des tissus conjonctifs



> Physiologie – Composantes structurelles des tissus conjonctifs
Fibroblastes/Fibrocytes



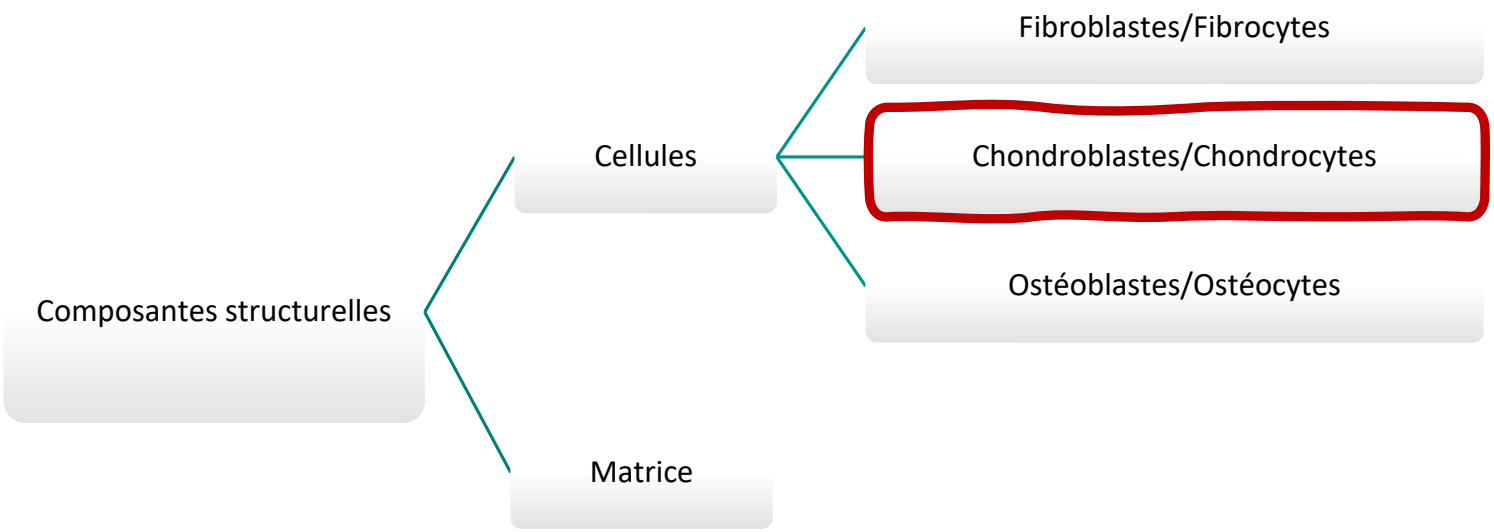
- Ces cellules se trouvent dans les tissus à haute teneur en oxygène
- Elles forment le tissu conjonctif (capsule, ligament, tendon, gaine du tendon, aponévrose, membranes, en partie les ménisques et disques intervertébraux)
- Les fibrocytes sont reliés entre eux pour former un réseau tridimensionnel
- Les fibrocytes ne produisent pas eux-mêmes de fibres, mais peuvent se retransformer en fibroblastes lors de traumatismes pour refabriquer des fibres
- Les myofibroblastes contiennent des filaments d'actine et probablement de myosine ce qui leur permet d'être contractables, ils sont présents principalement lors des premières phases de cicatrisation essentiellement lors de la phase de prolifération, ensuite ils disparaissent. Ils sont aussi présents lors de processus inflammatoire (p. ex. rhumatismes)



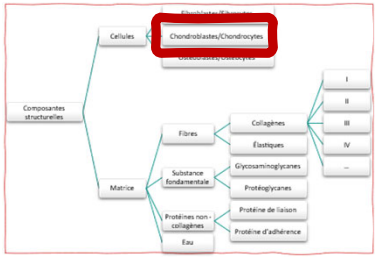
van den Berg (2022)

-blaste : cellule souche, immature → synthétisent la matrice
-cyte : cellule adulte → maintiennent l'intégrité de la matrice, en cas de lésion peuvent la réparer et la régénérer

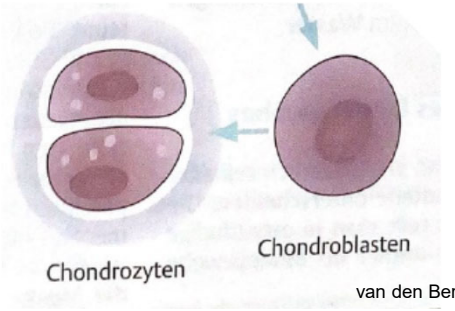
> Physiologie – Composantes structurelles des tissus conjonctifs



> Physiologie – Composantes structurelles des tissus conjonctifs
Chondroblastes/Chondrocytes

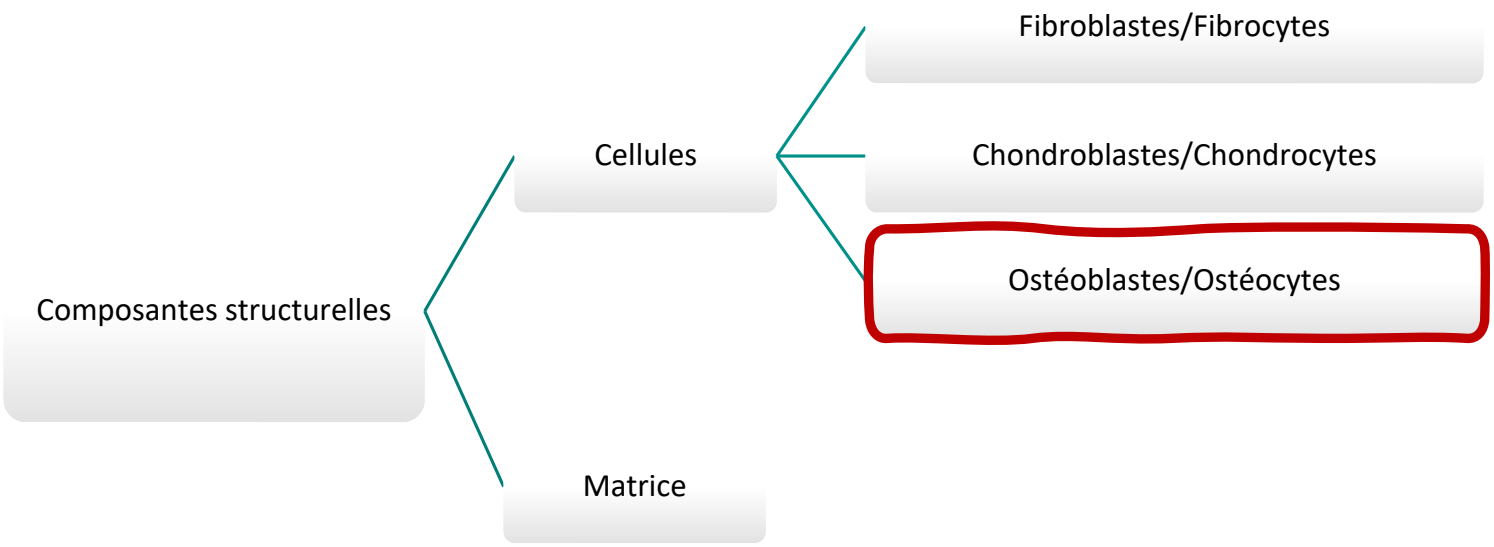


- Ces cellules se trouvent dans des tissus à faible teneur en oxygène
- Elles forment le tissu cartilagineux (avasculaire) à 100% et se retrouvent en partie aussi dans certaines structures telles que les ménisques et les disques intervertébraux et à proximité des insertions des ligaments et tendons aux os ⇒ ces zones ont aussi une vascularisation diminuée
- Dans le cartilage, les deux types de cellules se retrouvent ensemble
- Ils reçoivent leurs nutriments par osmose et diffusion *(transfert d'un milieu à l'autre par différence de concentration)*

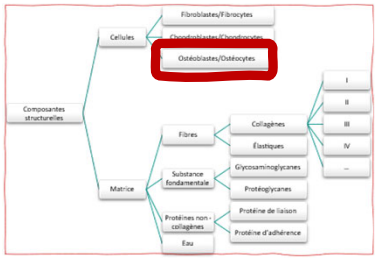


van den Berg (2022)

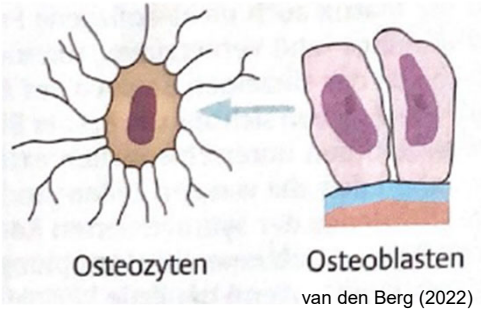
> Physiologie – Composantes structurelles des tissus conjonctifs



> Physiologie – Composantes structurelles des tissus conjonctifs
Ostéoblastes/Ostéocytes

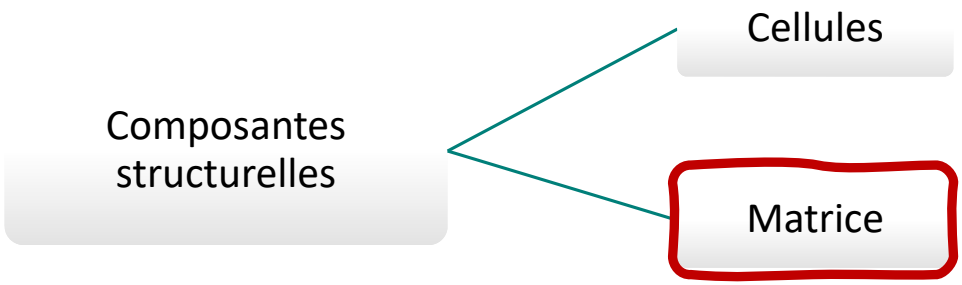


- Ces cellules sont très dépendantes de l'apport en oxygène et se trouvent donc à proximité de vaisseaux
- Elles forment le tissu osseux
- L'ostéoblaste produit le tissu osseux. Elle se transforme en ostéocyte lorsque la construction du tissu osseux est terminée
- Les ostéocytes produisent la quantité de tissu osseux nécessaire à un maintien de l'os

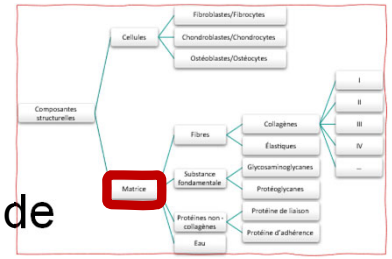


van den Berg (2022)

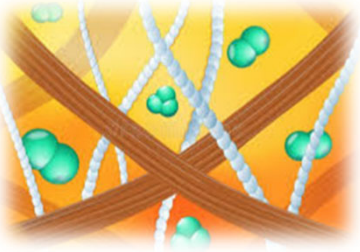
> Physiologie – Composantes structurelles des tissus conjonctifs



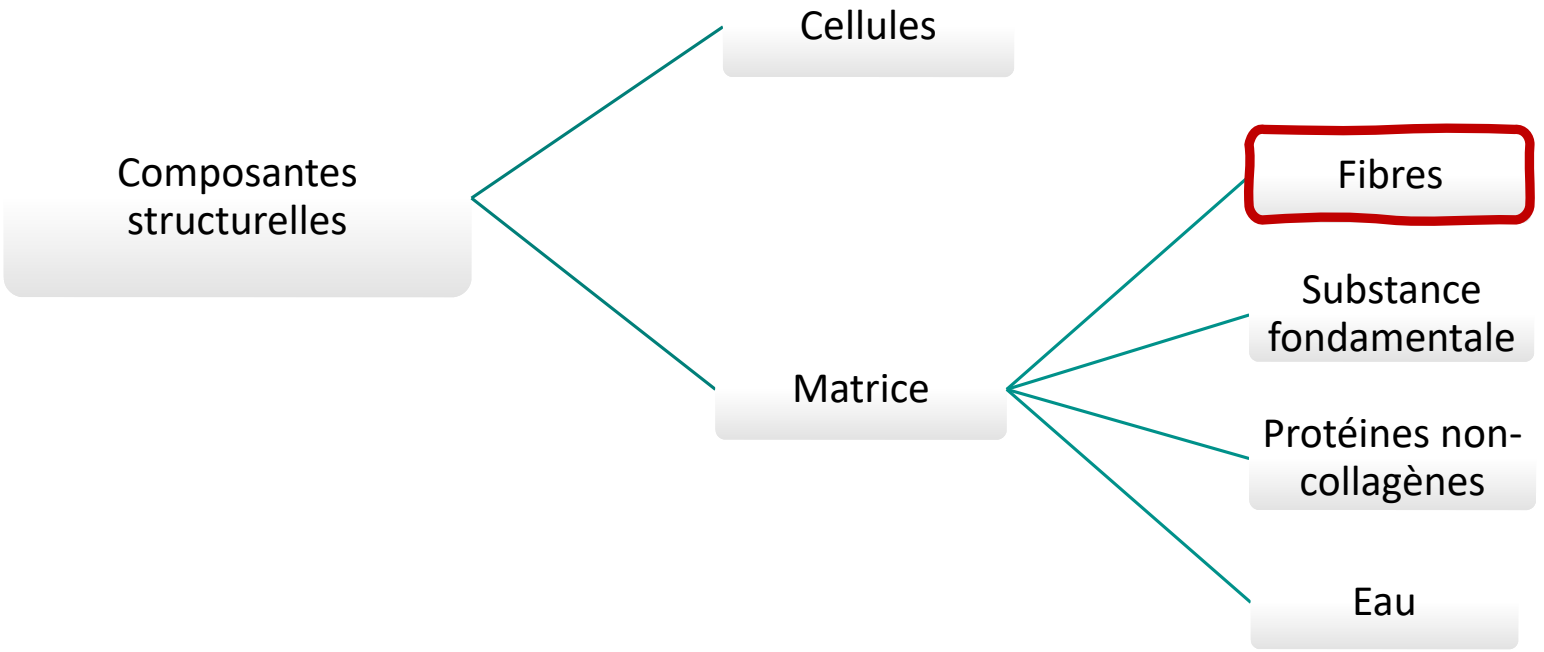
> Physiologie – Composantes structurelles des tissus conjonctifs
Matrice



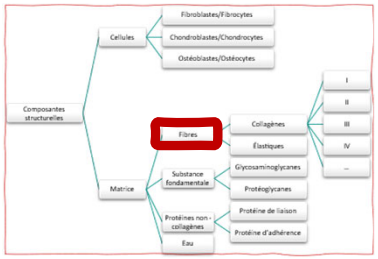
- La matrice se compose de tous les composants extra-cellulaire (fibres de collagènes, fibres élastiques, substance fondamentale, eau, protéines non-collagène)
- À l'exception de l'eau, ces substances sont produites au sein de la cellule.
- Elle se glisse entre les cellules et les écartes les unes des autres
- Elle permet aux tissus de soutenir du poids, résister aux tensions et supporter les traumas et les frottements



> Physiologie – Composantes structurelles des tissus conjonctifs



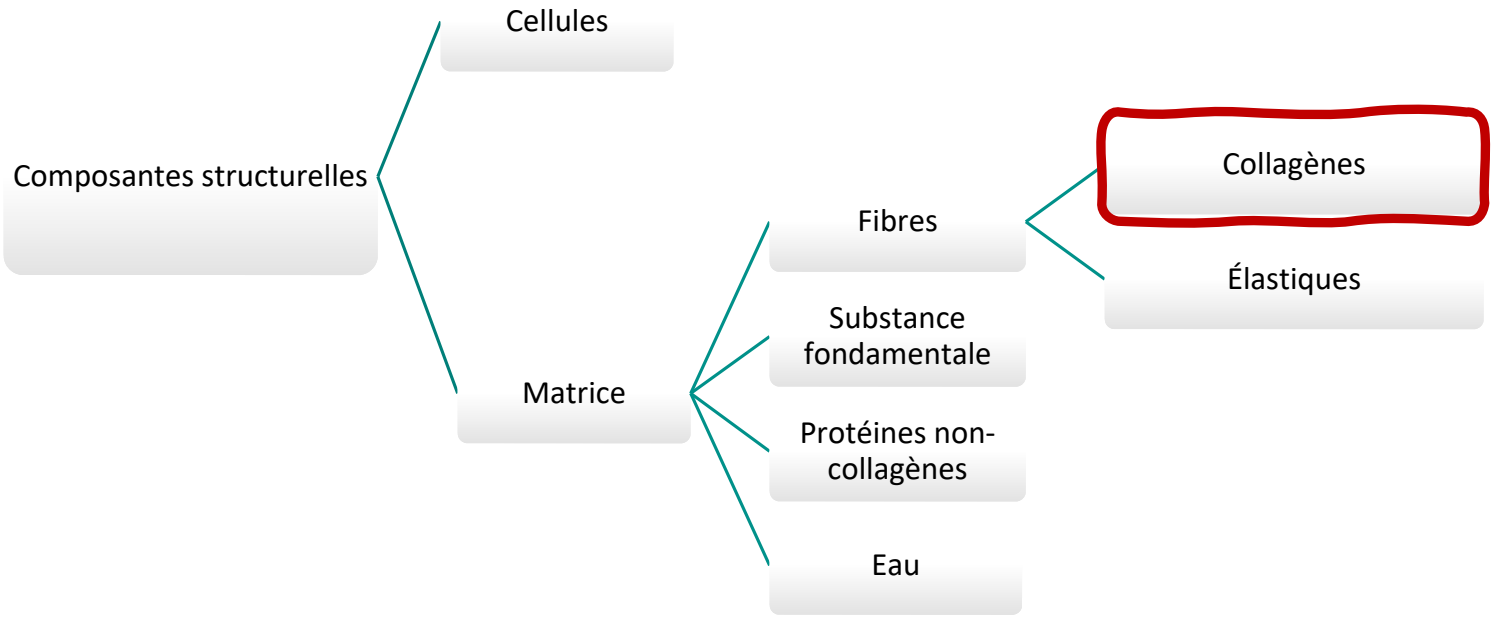
> Physiologie – Composantes structurelles des tissus conjonctifs
Fibres



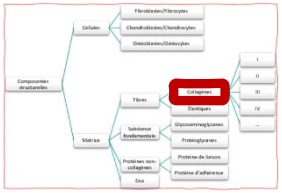
- Elles servent au soutien
- Il en existe deux types dans le tissu conjonctif :
  - Fibres collagènes
  - Fibres élastiques

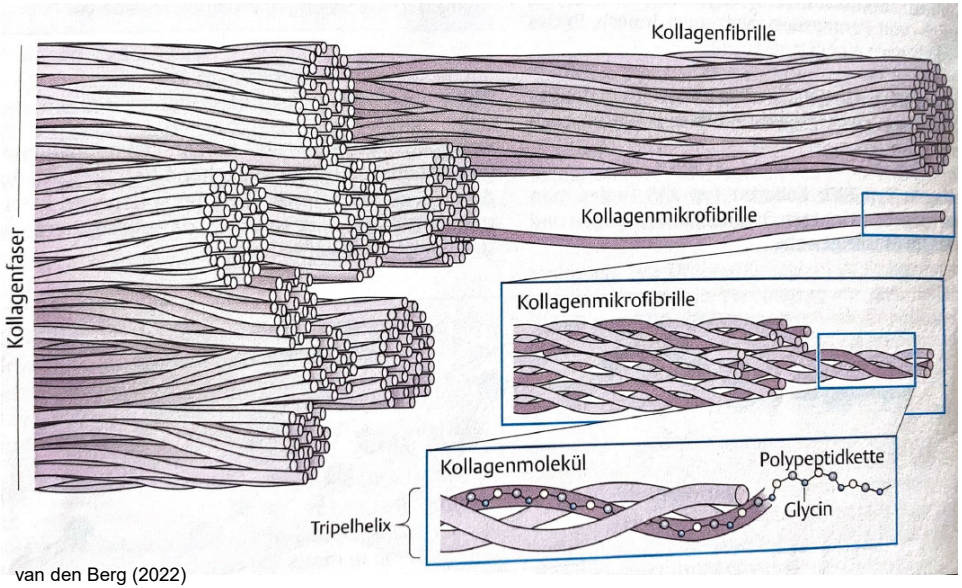


> Physiologie – Composantes structurelles des tissus conjonctifs



> Physiologie – Composantes structurelles des tissus conjonctifs
Fibres collagènes

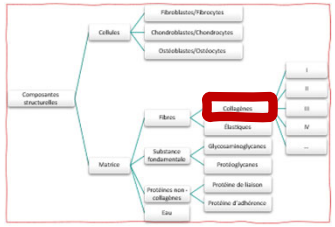




van den Berg (2022)

- Principalement formées de protéines de collagène, il en existe une vingtaine de différentes
- Ces protéines forment des filaments ou des réseaux
- La protéine de collagène est synthétisée en procollagène
- Les fibres collagènes sont parallèles entre elles dans un plan donné, mais d'un plan à un autre l'orientation des fibres est entrecroisée (organisation en triple hélice). Elles forment un fuseau. Ceci augmente la résistance du collagène
- La présence de liaisons croisées robustes entre les fibrilles donne une grande résistance de la fibre à la traction (pour même calibre, cette résistance est supérieure à celle de fibres d'acier)
- Plus la fibre est soumise à des charges, plus elle sera grosse et stable. Cela est valable jusqu'à la limite de tolérance de charge
- La résistance diminue lorsque les fibres ne sont pas sollicitées (4 semaines d'immobilisation diminuent de 80% la capacité de charge des tendons)

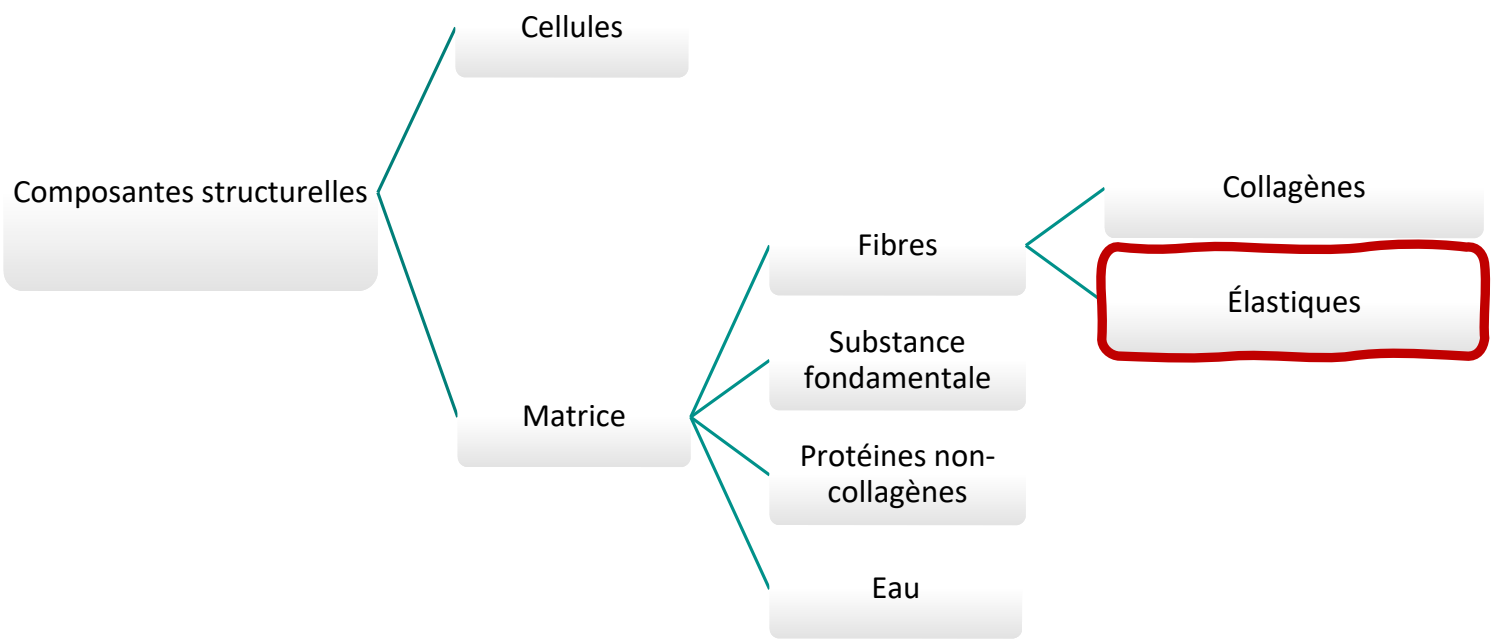
> Physiologie – Composantes structurelles des tissus conjonctifs
Fibres collagènes – Fibres de type I à IV



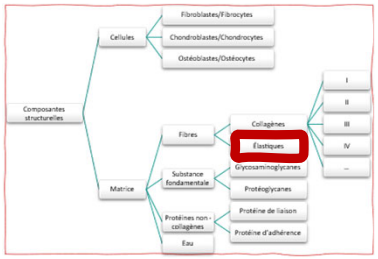
Les fibres collagènes de type I à IV représentent environ 95 % de toutes les fibres de collagènes

- Type I :
  - 80 % des fibres collagène
  - Elles se trouvent dans les tissus soumis à des tensions (*Zugbelastung)* (capsule, ligaments, aponévroses, tendons, tissu intramusculaire, os, ménisques, disques intervertébraux etc.)
  - Elles sont synthétisées par les fibroblastes et les ostéoblastes
- Type II :
  - Dans les tissus régulièrement soumis à des compressions *(Druckbelastung)* (cartilage, ménisques, disques intervertébraux)
  - Elles sont synthétisées par les chondroblastes
- Type III :
  - Auparavant fibres réticulaires
  - Fibres fines (peau, membranes synoviales)
  - Elles se trouvent où il y a une cicatrisation, ces fibres ferment la plaie en phase de prolifération avant d'être remplacées dans une phase ultérieure
  - Elles sont synthétisées par les fibroblastes et les myofibroblastes
- Type IV :
  - Elles se trouvent dans les membranes cellulaires et basale des vaisseaux et de la peau et dans la membrane basale des nerfs *(isolation)* et des muscles *(séparation tissu musculaire et tissu conjonctif)*
  - Elles sont synthétisées par les fibroblastes, et les cellules épithéliales et endothéliales

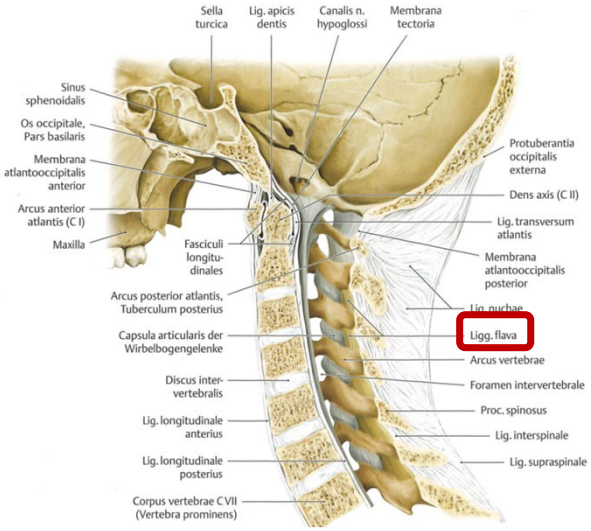
> Physiologie – Composantes structurelles des tissus conjonctifs



> Physiologie – Composantes structurelles des tissus conjonctifs
Fibres élastiques

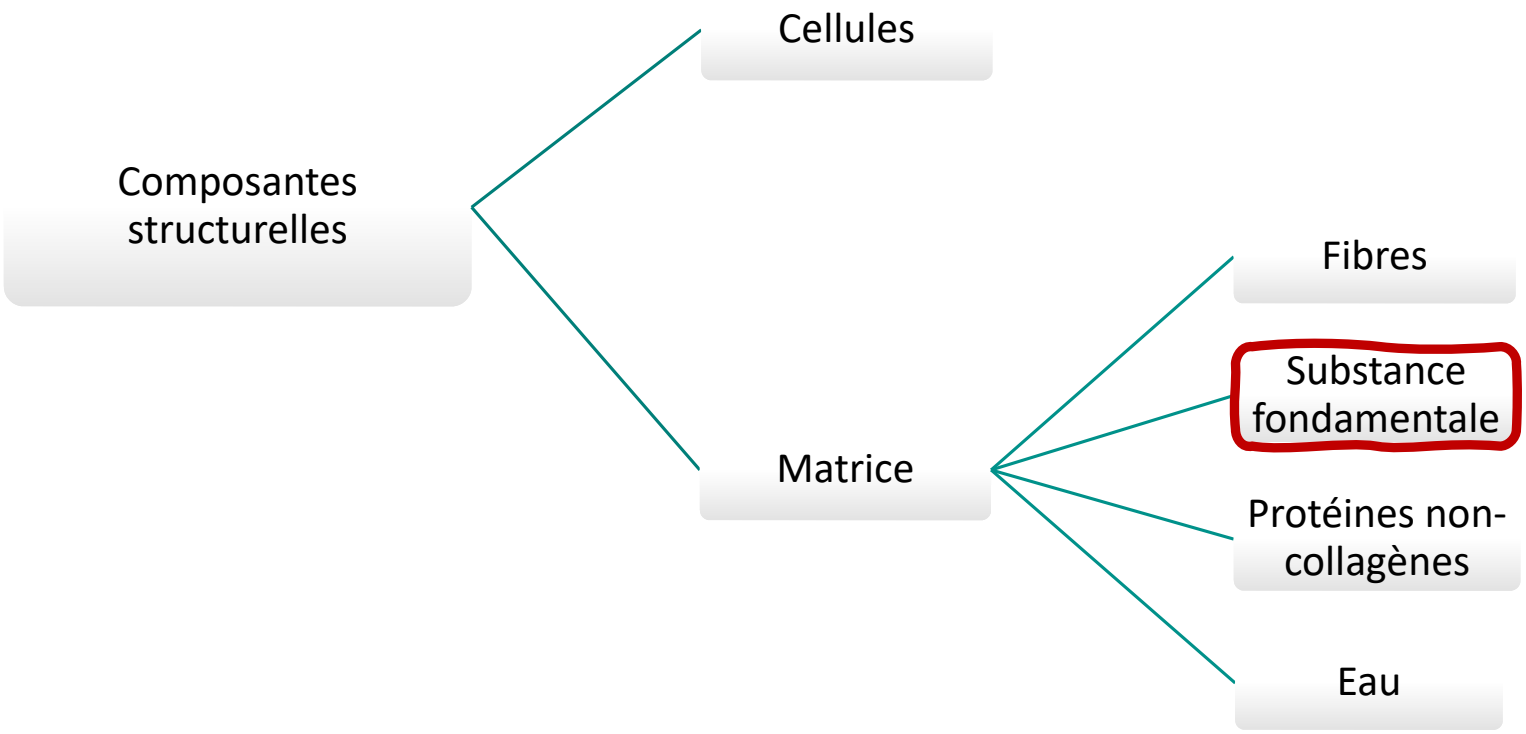


- Les fibres élastiques sont composées de protéines extensibles principalement formées d'élastine
- Ce sont de longs filaments minces qui forment des réseaux ramifiés
- Elles peuvent doubler leur longueur (voire x 2.5) avant de reprendre leur forme de départ
- Elles se trouvent dans le tissu conjonctif lâche, le cartilage élastique (bout du nez, oreille externe), la peau, la paroi des vaisseaux et dans les tendons et ligaments *(permettent le tracé ondulé des fibres de collagène)*
- Elles composent presque essentiellement le *lig. flavum*, à 50 % les parois des vaisseaux et entre 2 et 5 % les autres structures
- Elles donnent de l'élasticité et de la mobilité aux tissus
- Dans certaines pathologies et chez les fumeurs, il y a plus d'élastase (molécule qui détruit les fibres élastiques) ce qui diminue l'élasticité et donc la résistance des tissus

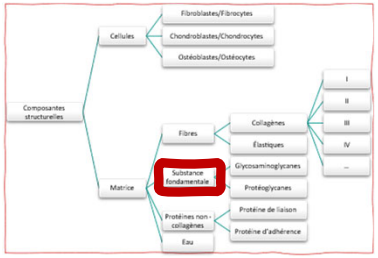


Netter (2015)

> Physiologie – Composantes structurelles des tissus conjonctifs



> Physiologie – Composantes structurelles des tissus conjonctifs
Substance fondamentale



- La substance fondamentale comble l'espace entre les cellules et les fibres et se lie à l'eau
- Elle est composée de glycosaminoglycanes et de protéoglycanes, respectivement des agrégats de protéoglycanes
- Fonction :
  - Stabilisation du tissu par les liaisons aux fibres, aux cellules et à l'eau
  - Absorption des forces
  - Protection du réseau collagène à des trop grandes charges
  - Retour du tissu à la forme d'origine (viscoélasticité)
  - Protection contre les bactéries par filtration (tamis)

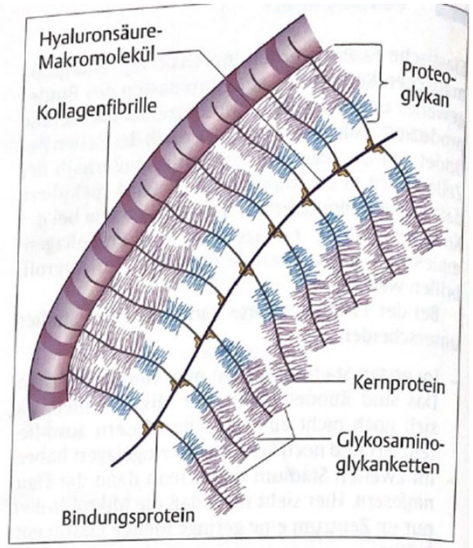
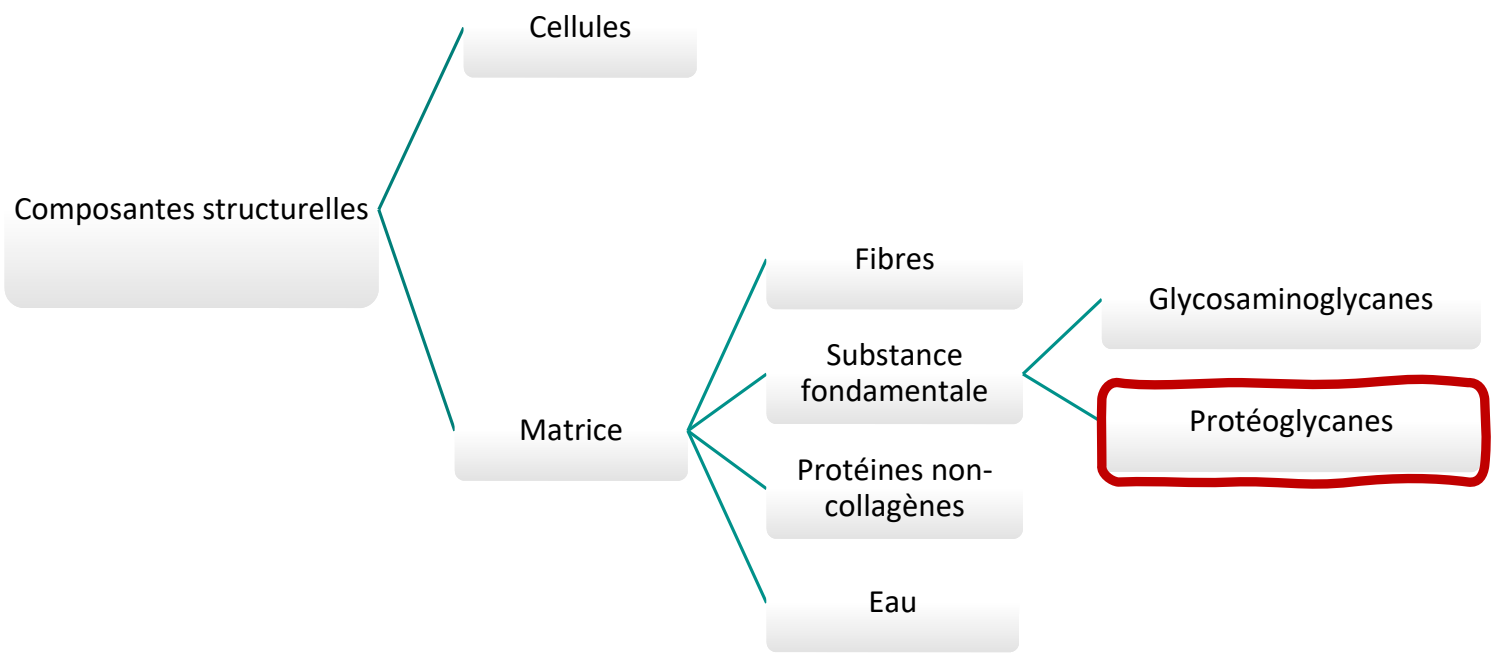


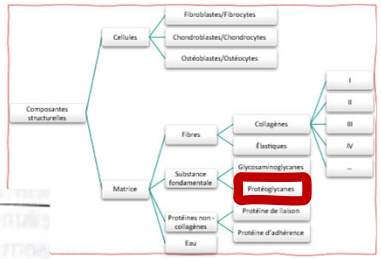
Abb. 1.28 Aufbau eines Proteoglykanaggregats: Die zentrale Hyaluronsäurekette wird mit Proteoglykanen verbunden.

van den Berg (2022)

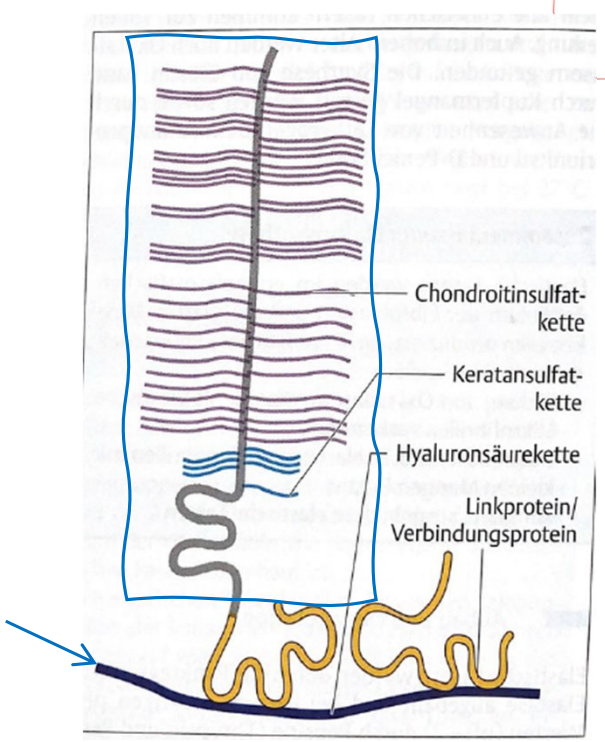
> Physiologie – Composantes structurelles des tissus conjonctifs



> Physiologie – Composantes structurelles des tissus conjonctifs
Substance fondamentale - Protéoglycanes

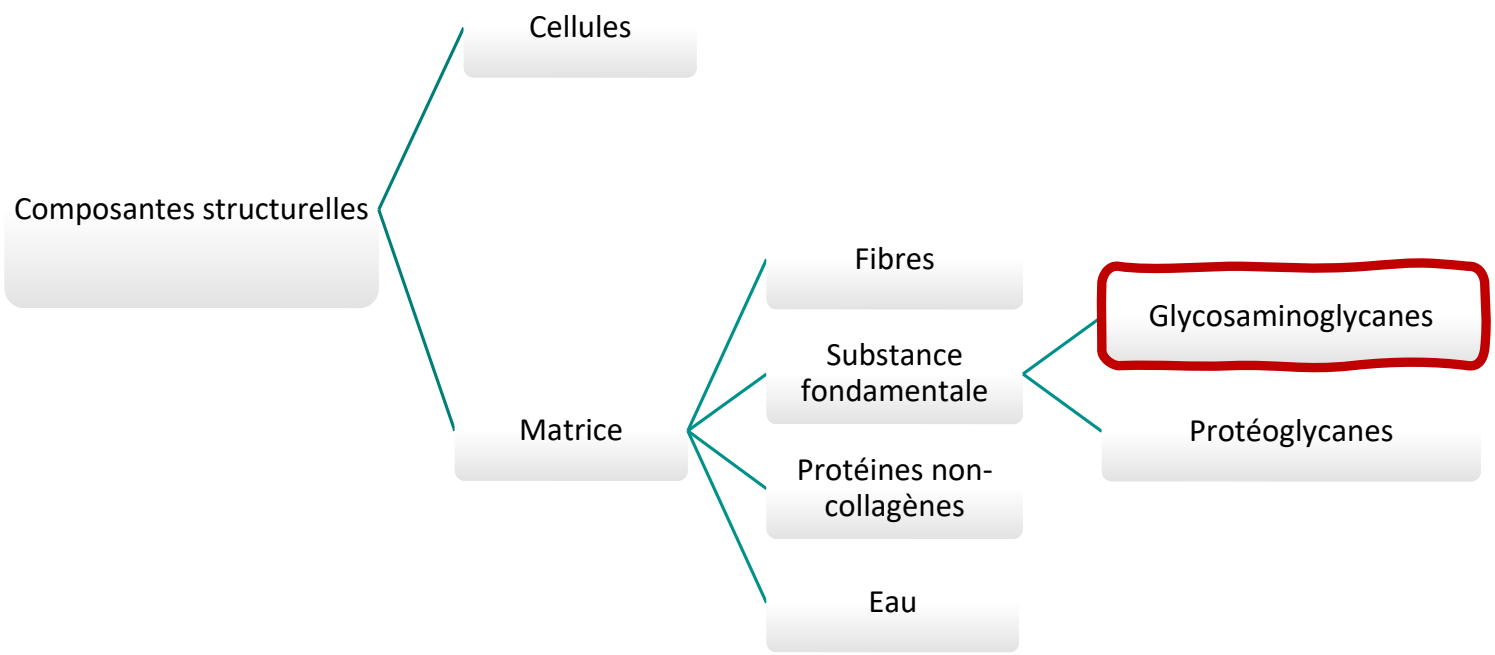


- Les protéoglycanes sont une protéine centrale à laquelle sont greffés les glycosaminoglycanes (GAG)
- Les glycosaminoglycanes composent 95% de la masse des protéoglycanes
- Ils s'agglomèrent autour d'une chaîne protéique

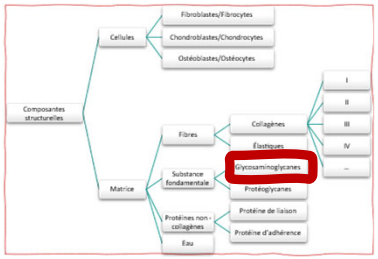


van den Berg (2022)

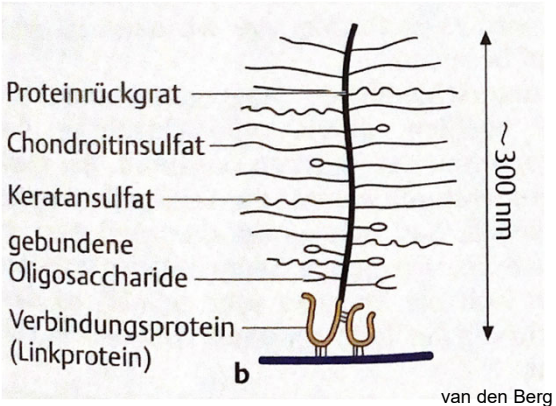
> Physiologie – Composantes structurelles des tissus conjonctifs



> Physiologie – Composantes structurelles des tissus conjonctifs
Substance fondamentale - Glycosaminoglycane

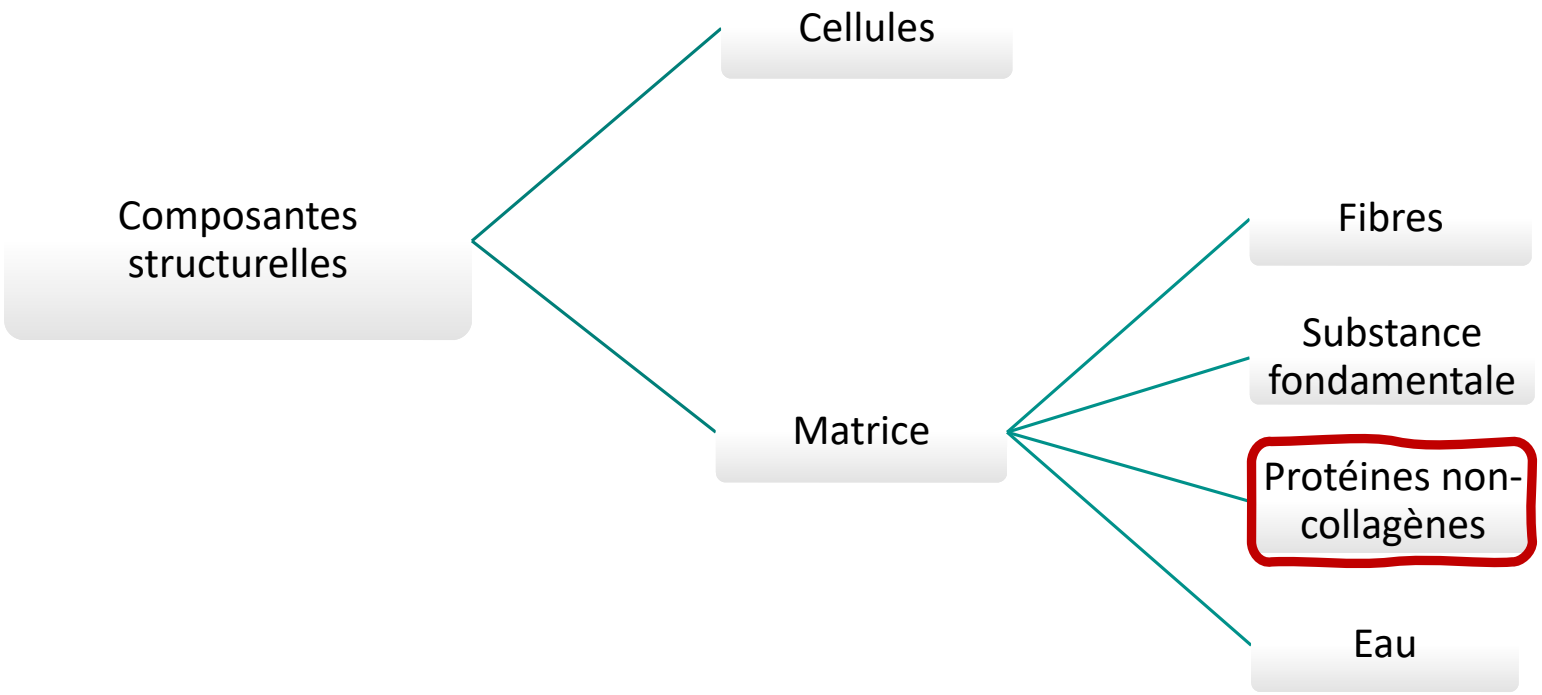


- Les glycosaminoglycanes (GAG) sont de longues chaînes droites de polysaccharides (p. ex. acide hyaluronique, sulfate de chondroïtine, héparine, etc.)
- Ils sont hydrophiles ⇒ ils attirent l'eau
- Plus la teneur en GAG est élevée, plus la substance fondamentale est visqueuse

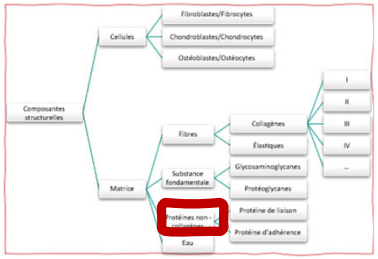


van den Berg (2022)

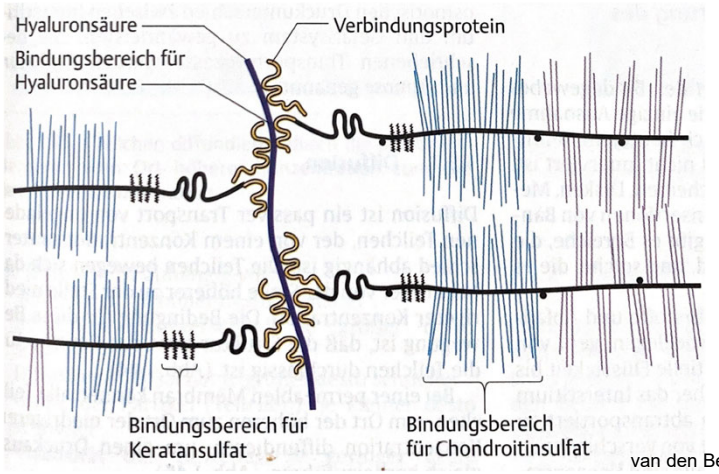
> Physiologie – Composantes structurelles des tissus conjonctifs



> Physiologie – Composantes structurelles des tissus conjonctifs
Protéines non-collagènes

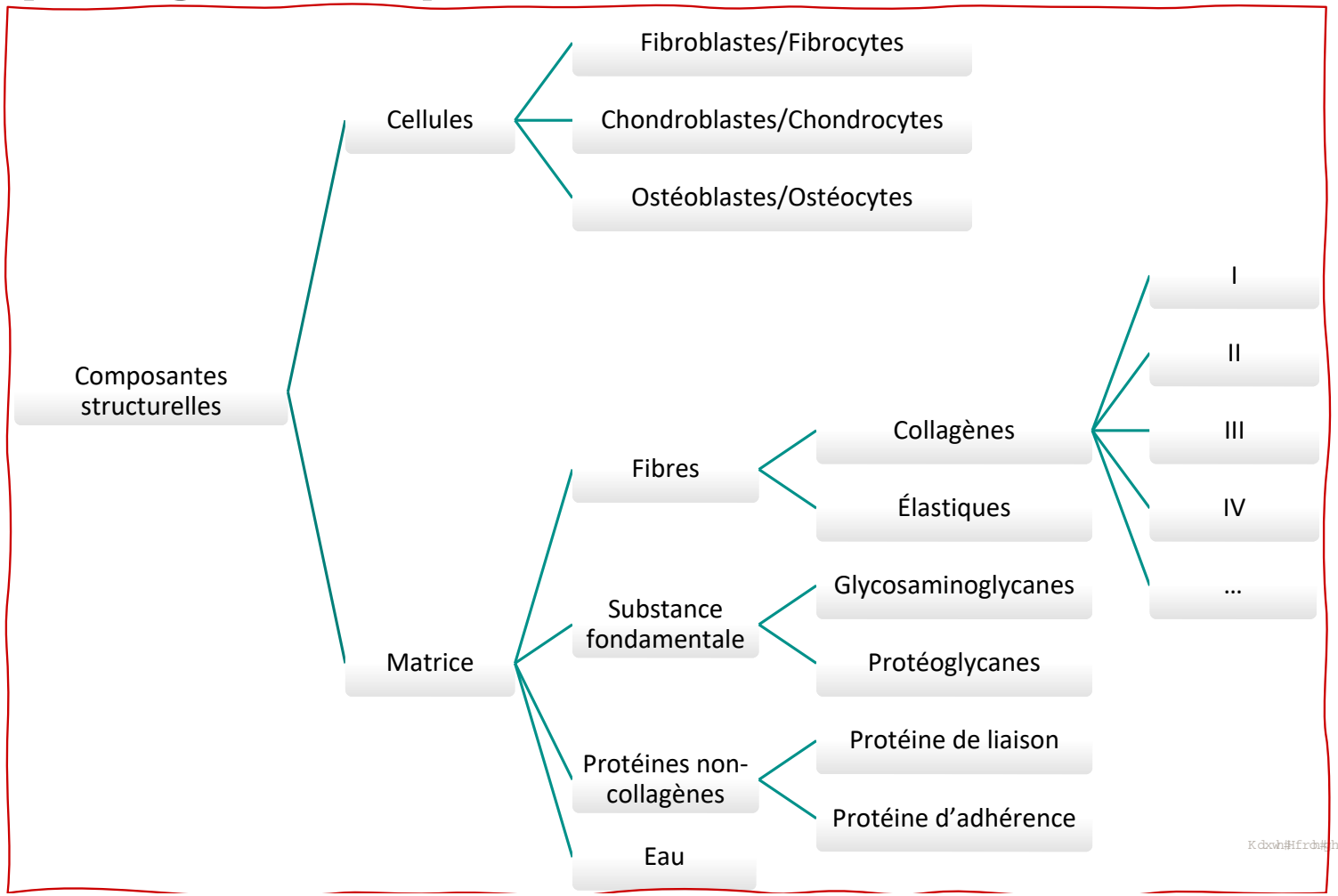


- Il y a deux types de protéines non-collagènes :
  - Les protéines d'adhérence *(Vernetzungsprotein)* qui sont une colle permettant aux cellules du tissu conjonctif de se fixer aux éléments de la matrice
  - Les protéines de liaison *(Verbindungsprotein) qui* relient les protéoglycanes aux acides hyaluroniques



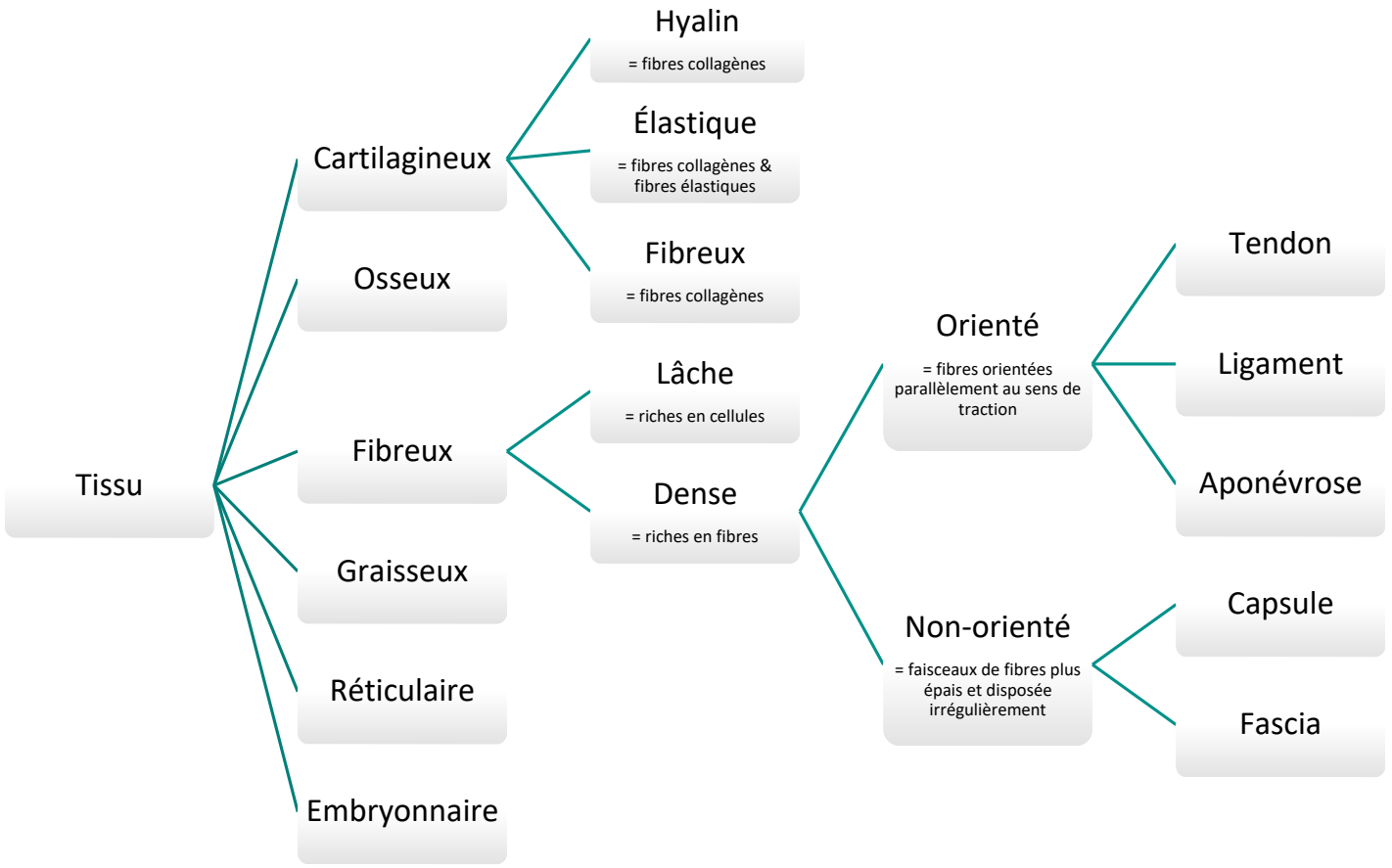
van den Berg (2022)

> Physiologie – Composantes structurelles des tissus conjonctifs

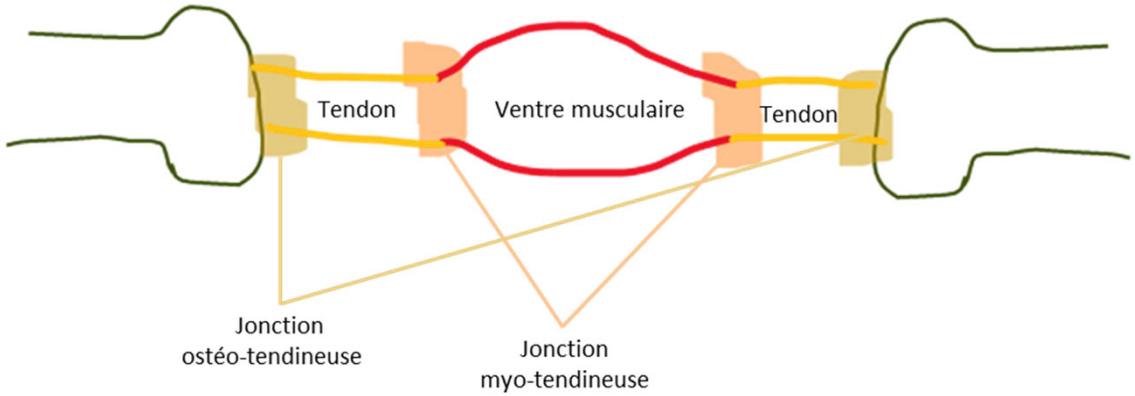


> Physiologie
Les différents tissus conjonctifs





> Physiologie
Le cas des muscles



Tissu musculaire : composé de myofilaments (microfilaments d'actine et de myosine)

→ Le tissu musculaire squelettique est enveloppé de couches de tissu conjonctif dense

> Physiologie
Composition des différents tissus

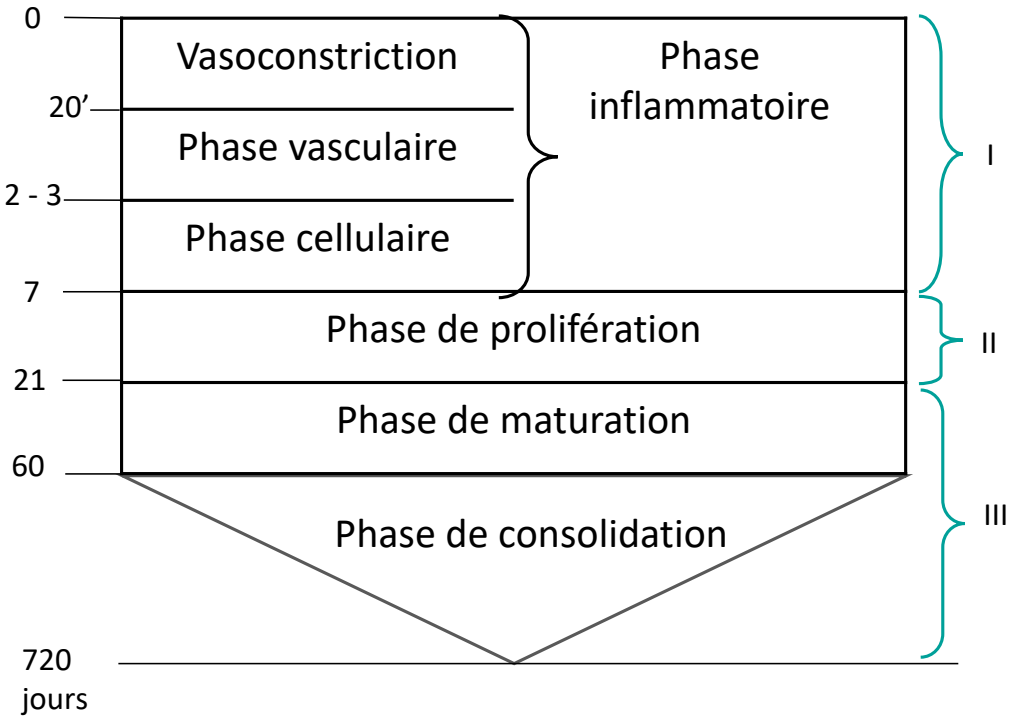
- Complétez dans le *Tableau structure* à disposition sur Cyberlearn les ***cellules principales*** et la ***composition de la matrice*** des différentes structures *(en priorité celles avec un astérisque)* à l'aide des différentes parties du Chapitre 2 de van den Berg (aussi sur Cyberlearn)

	Structure	Cellules principales	Composition de la matrice	Stimuli/Mouvements physiologiques
ARTICULATION	*Ligaments	Fibrocytes / fibroblastes	Fibres collagènes (90 % type I, 10 % type III) Protéoglycanes Eau	Étirements
	*Os			
	*Cartilage			
	Ménisque			

20 - 30 minutes

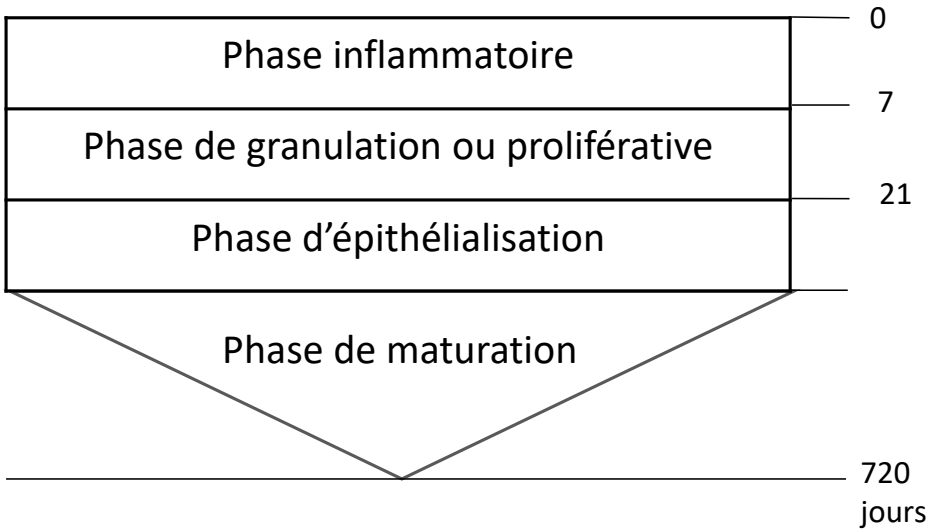


> Phases de cicatrisation
Processus global (i)



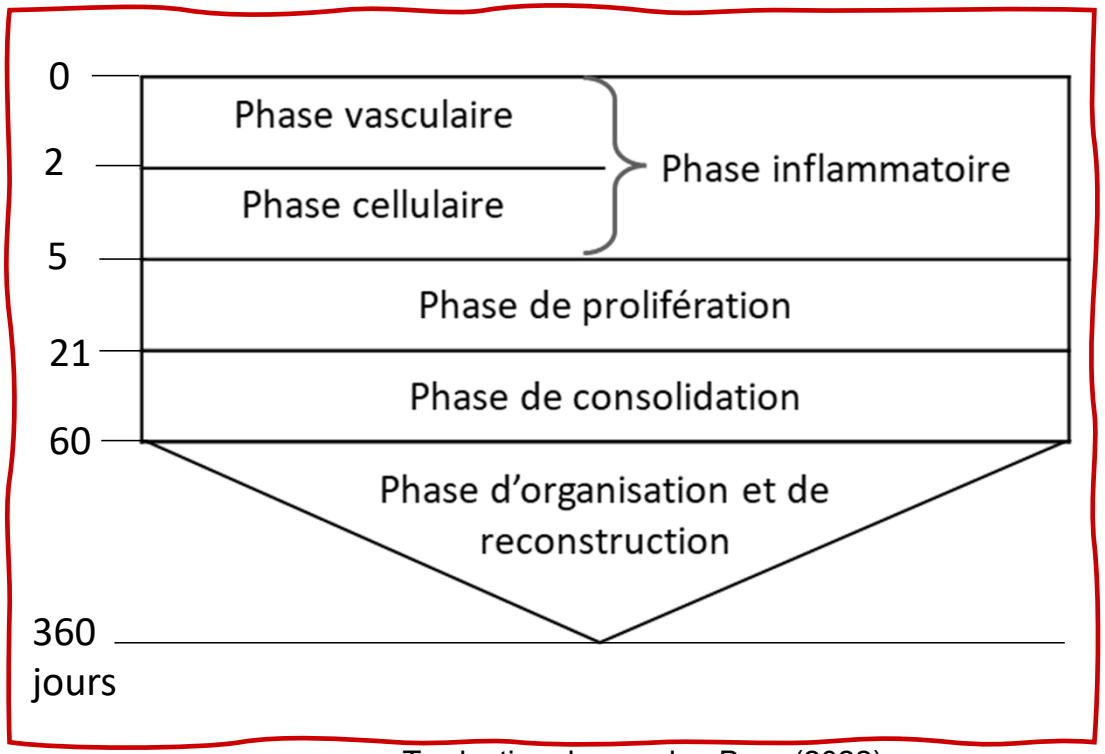
F. Gerber

3 ou 4 phases selon les nomenclatures



Charbonneau, L. (CHUV), 2019

> Phases de cicatrisation
Processus global (ii)



Traduction de van den Berg (2022)

> Phases de cicatrisation
Processus global – Phase inflammatoire

- La phase inflammatoire est composée de la phase vasculaire et de la phase cellulaire
- Phase vasculaire *(premières 48 heures)* :
  - Coagulation et réparation des vaisseaux → vasoconstriction les 20 premières minutes ⇒ la glace est utile pendant ces 20 premières minutes mais pas forcément par la suite car on souhaite une revascularisation de la zone par vasodilatation
  - Invasion de mastocytes, leucocytes et macrophages par la vasodilatation
- Phase cellulaire *(J2 à J5)* :
  - Les fibroblastes et les myoblastes sont activées/créées afin qu'elles produisent de nouvelles cellules
  - Des fibres collagènes de type III sont créées
- Dans ces phases, il y a peu de glycosaminoglycanes et de protéoglycanes qui sont synthétisés, c'est pourquoi le tissu est moins résistant ⇒ dans les premiers jours on évite les charges mécaniques dans la région de la lésion ⇒ en thérapie dans cette phase et aussi pendant la phase de prolifération on regarde par rapport à la douleur des patients.



> Phases de cicatrisation
Processus global – Phase de prolifération

- La phase de prolifération dure du 5ème au 21ème jour
- Après 14 jours, il ne reste plus que des fibroblastes et des myofibroblastes
- L'inflammation devrait avoir disparu, sauf si le patient bagatellise et qu'il y a sans cesse de nouvelles micro-blessures ⇒ le rendre attentif sans lui faire peur
- Durant cette phase, la synthèse du collagène est très répandue. Si le tissu reçoit les stimuli physiologiques normaux, les fibres sont organisées ⇒ si un patient est trop précautionneux et ne bouge pas assez, la récupération sera limitée et ralentie
- La création de protéoglycanes et de glycosaminoglycanes, et donc celle de substance fondamentale est toujours faible ⇒ le tissu est toujours peu élastique et peu résistant à la charge ⇒ les myofibroblastes sont très actifs pour stabiliser la lésion et rapprocher les bords



> Phases de cicatrisation
Processus global – Phase de consolidation

- La phase de consolidation dure du 21ème au 60ème jour
- Le collagène nouvellement produit est organisé et stabilisé (type III → type I)
- Les fibroblastes commencent la synthèse de la substance fondamentale ⇒ augmentation de la résistance
- Les myofibroblastes diminuent
- Les fibres collagènes deviennent plus grosses
- Durant cette phase, l'élasticité et la résistance du tissu s'améliorent
- Pour le traitement, il est possible d'augmenter la charge sur le tissu tout en restant dans la zone de charge des fibres collagènes (allongement de 5 % = stop élastique résisté selon Maitland)



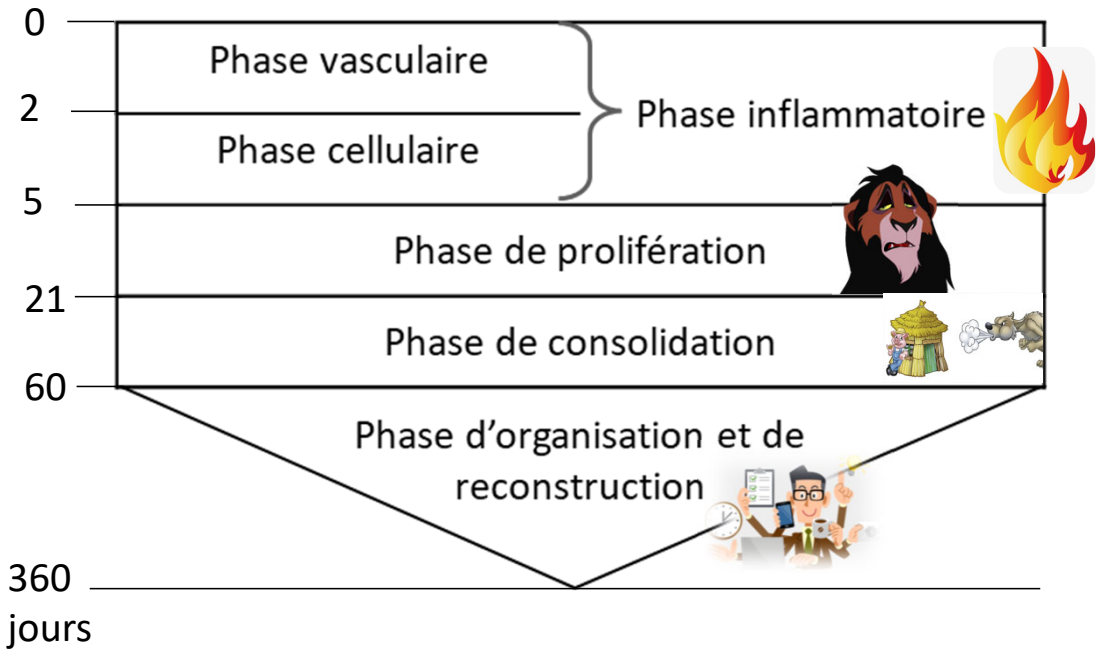
> Phases de cicatrisation

Processus global – Phase d'organisation et de reconstruction

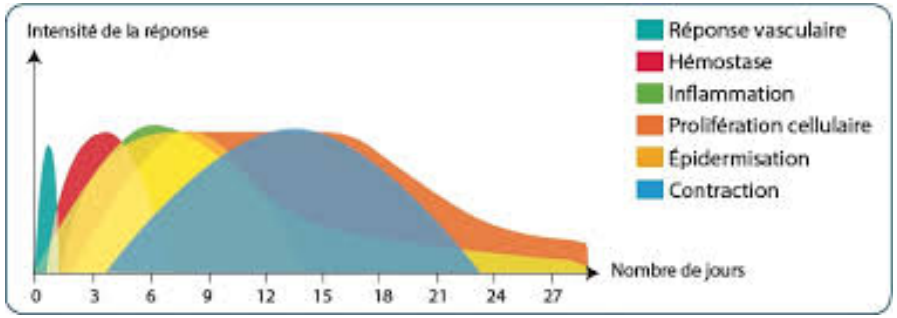
- La phase de reconstruction peut durer jusqu'à une année voire 2 ans
- La synthèse du collagène est élevée jusqu'au 120ème jour *(4 mois)*
- Au 150ème jour *(5 mois)*, 85 % des fibres collagènes de type III ont été remplacées par des fibres collagènes de type I
- Les restrictions de mobilité toujours présentes à la fin de cette phase seront difficilement influençables thérapeutiquement



> Phases de cicatrisation
Processus global - Rappel



> Phases de cicatrisation
Processus global – Chevauchement des phases



Kieffer, L., Milhères, S., & Outrebon, S. (2019). Soins de plaies et cicatrisation.

Les phases de la cicatrisation tissulaire :

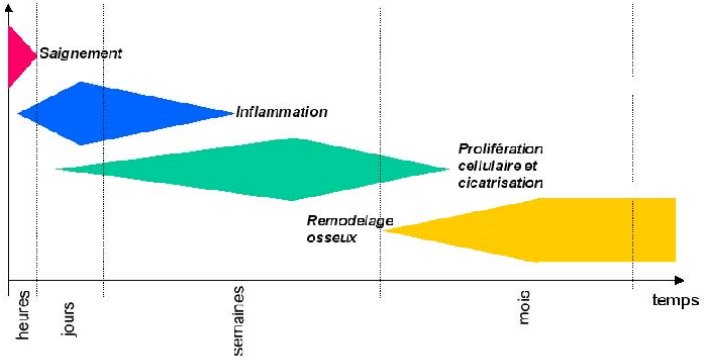
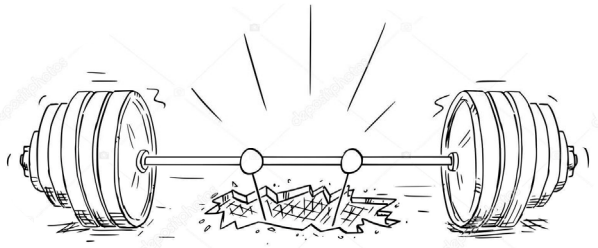


Figure 6 : Les phases de la cicatrisation tissulaire

Guérin, G. (2009). *Modélisation des interactions mécanobiologiques dans la phase de cicatrisation de l'interface os-implant*.

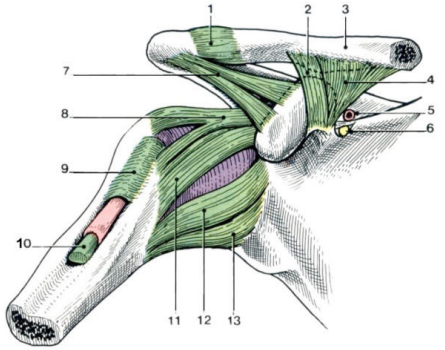
> Phases de cicatrisation
Processus global – Capacité de charge

- Durant toutes les phases, il est important de charger et décharge de manière adéquater
- La capacité de charge dépend donc de la phase de cicatrisation :
  - Phase inflammatoire : décharge ⇒ Rest (RICE)
  - Dès la phase de prolifération : dépend des cellules actives durant la phase de réparation
- L'immobilisation cause la création de tissu cicatriciel car les molécules de collagène n'auront pas reçu le stimuli nécessaire pour s'organiser et se diriger de la bonne manière
- La charge physiologique stimule la création d'un tissu de construction et résistance aussi normal que possible



> Phases de cicatrisation
L'exemple du ligament (i)

- Tissu collagène ⇒ fibres collagènes & protéoglycanes
- Cellules présentes : fibroblastes en groupes de 2 à 4 cellules
  - Les fibroblastes se trouve en quantité moindre que dans les autres tissus
  - Ils sont actifs dans les jeunes années, leur nombre diminue au cours des années ⇒ la quantité de protéines collagènes, de protéines non-collagènes, de protéoglycanes et de glycosaminoglycanes est aussi réduite ⇒ effet sur la qualité et la résistance du tissu
  - Dans l'âge avancé les cellules sont comparables aux chondrocytes
- Composition de la matrice:
  - Substance fondamentale : 1 %
  - Eau : 60 – 70 %
  - Fibres collagènes (Type I : env. 90 % / Type III : env. 10 % / Types IV, V & VI : < 5 %)
    - Certains ligaments sont composés au contraire essentiellement (env. 75 %) de fibres élastiques (ligg. flava & lig. nuchae)
- Les ligaments sont faiblement vascularisés
- Les récepteurs nerveux sont activés uniquement en cas de très grande charge. Il n'y a pas de douleurs dans ce tissu sauf en cas d'étirement extrême. *Les ligaments au niveau de la colonne vertébrales ont une plus grande activité proprioceptive que les ligaments des articulations périphériques*



1: ligaments acromio-claviculaires
2 : ligament conoïde
3 : clavicule
4 : ligament trapézoïde
5 : a. supra-scapulaire
6 : n. supra scapulaire
7 : ligament coraco-acromial
8 : ligament coraco-huméral
9 : ligament huméral transverse
10 : long biceps
11 : ligament gléno-huméral supérieur
12 : ligament gléno-huméral moyen
13 : ligament gléno-huméral inférieur

> Phases de cicatrisation
L'exemple du ligament (ii)

- Les ligaments perdent 80% de leur résistance à la charge lors d'une immobilisation de 4 semaines. Pour retrouver la résistance préalable, il faut entre 4 mois et une année
- La réparation tissulaire du ligament est soit intrinsèque (processus du ligament), soit extrinsèque (processus des structures environnantes, p. ex. capsule)
- Les ligaments étant très mal vascularisés, ceux qui se trouvent au contact de la capsule cicatrisent beaucoup mieux
- En cas de rupture partielle, les chances de régénération sont bonnes.
- Lors de rupture totale, les ligaments intra- et extra-articulaires n'ont quasiment aucune chance de cicatrisation.



> Phases de cicatrisation

L'exemple du ligament – Processus de cicatrisation

1 année



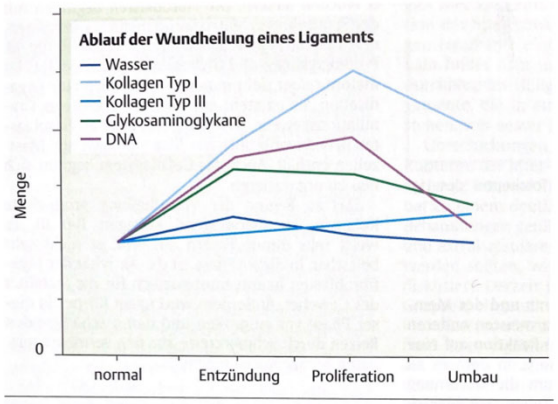
1. Phase inflammatoire :
   a. Hématome
   b. Œdème
      i. Capillarisation du tissu (env. 72h - !! Dépend de la grandeur de la blessure, de l'état du patient et d'autres facteurs tels le tabagisme !!)
      ii. Destruction du tissu endommagé
      iii. Arrivée des fibroblastes et des myofibroblastes dans la région blessée



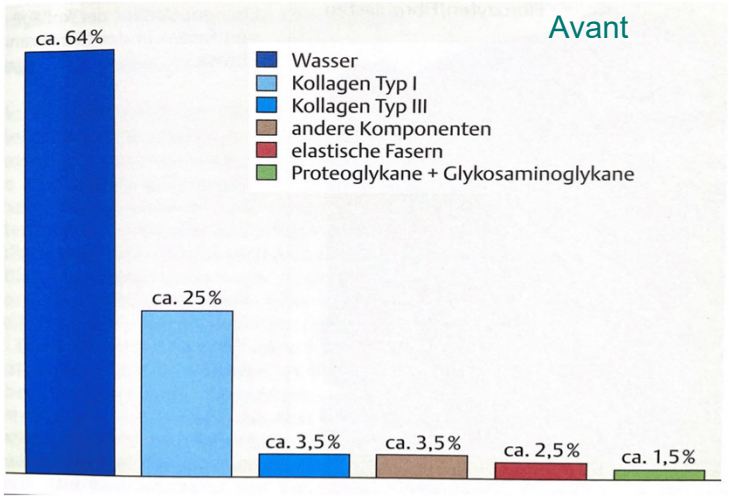
2. Phase de prolifération :
   a. Granulation :
      i. Synthèse des composantes de la matrice par les fibroblastes (fibres collagènes type III ++ ⇒ peu de résistance du tissu)
      ii. Présence d'un tissu de granulation richement vascularisé
      iii. Réorganisation du réseau vasculaire
   b. Contraction de la plaie

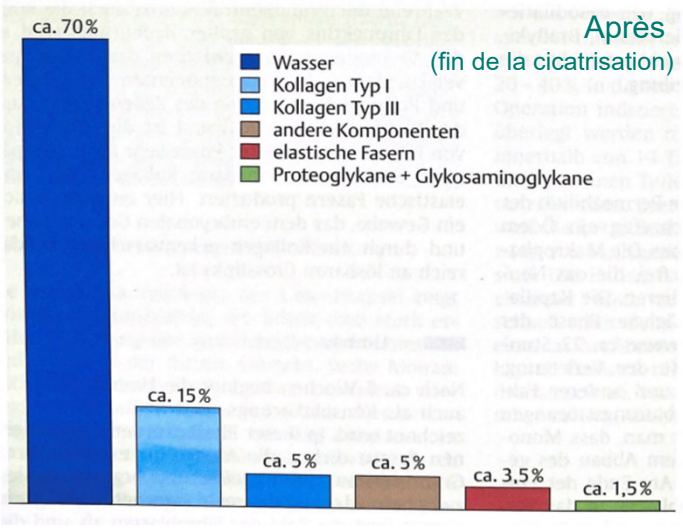


3. Phase de consolidation
   a. Épaississement des fibres collagènes
   b. Augmentation de la quantité de substance fondamentale
   c. Organisation de la substance fondamentale
   d. Diminution du nombre de fibroblastes



> Phases de cicatrisation
L'exemple du ligament – Différence de composition





van den Berg (2022)

> Phases de cicatrisation
Durée selon le tissu conjonctif

	Phase inflammatoire	Phase de prolifération	Phases de maturation et de consolidation
Os	J0 – J3/5	J3/5 – S3	S4 - S8/S12
Capsule & ligaments	J0 – J3/5	J3/5 – S6	Dès S6
Ménisques	J0 – J5	J5 - S10	Dès S10
Disques intervertébraux	J0 – J5	J5 – S3	Dès S3
Jonction ostéo-tendineuse	J0 – J5	J5 – S6	Dès S4/S6
Tendon extrinsèque	J0 – J3/5	J3/5 – S4	Dès S4
Tendon intrinsèque	-	J0 – S9/S12	Dès S9/S12
Muscle	J0 – J4	J4 – S3	Dès S3

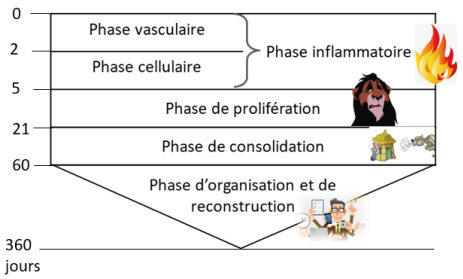
> Cicatrisation & physiothérapie
Stimulations induites par le traitement

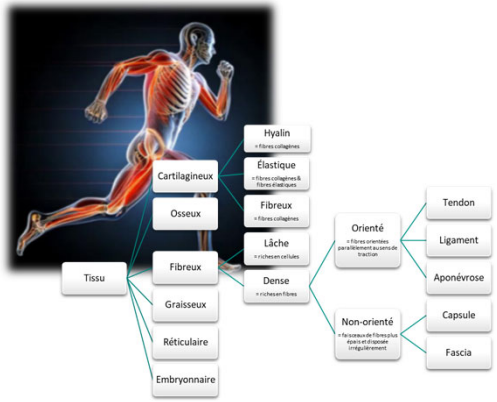
- Charge / Compression : stimule les fibres collagènes de type II qui sont produites par les chondroblastes
- Étirement : stimule les fibres de collagènes de type I
- Friction (transversale) : augmente les mastocytes pour accélérer le processus inflammatoire et donc réduire l'inflammation plus rapidement
    - La friction est une surcharge locale et provoque des micro-trauma à répétition



> Cicatrisation & physiothérapie
Principes de traitement globaux

- Dans le 5 premiers jours : respect de la douleur ⇒ mouvement en dehors de la zone de la douleur
- Depuis la phase de prolifération : augmentation progressive de la charge des tissus selon la façon dont ils travaillent physiologiquement ⇒ de quel tissu est ma structure lésée ? Important à savoir pour choisir la bonne modalité de traitement







> Cicatrisation & physiothérapie

Mouvement physiologique des tissus

- Dans le tableau *Mouvements physiologiques*, indiquez, selon les cellules qui sont présentes dans les tissus, le stimuli ou mouvement physiologique
  - Pour cela, pensez aux tissus par rapport à leur structure, comment bougent-elles ? En étirement ? En charge – compression ?
  - Comment sont-elles vascularisées ? Est-ce qu'il y a besoin d'un stimulus particulier pour cela ?

20 - 30 minutes



> Cicatrisation & physiothérapie

Symptômes, signes cliniques & principes de traitement selon la phase

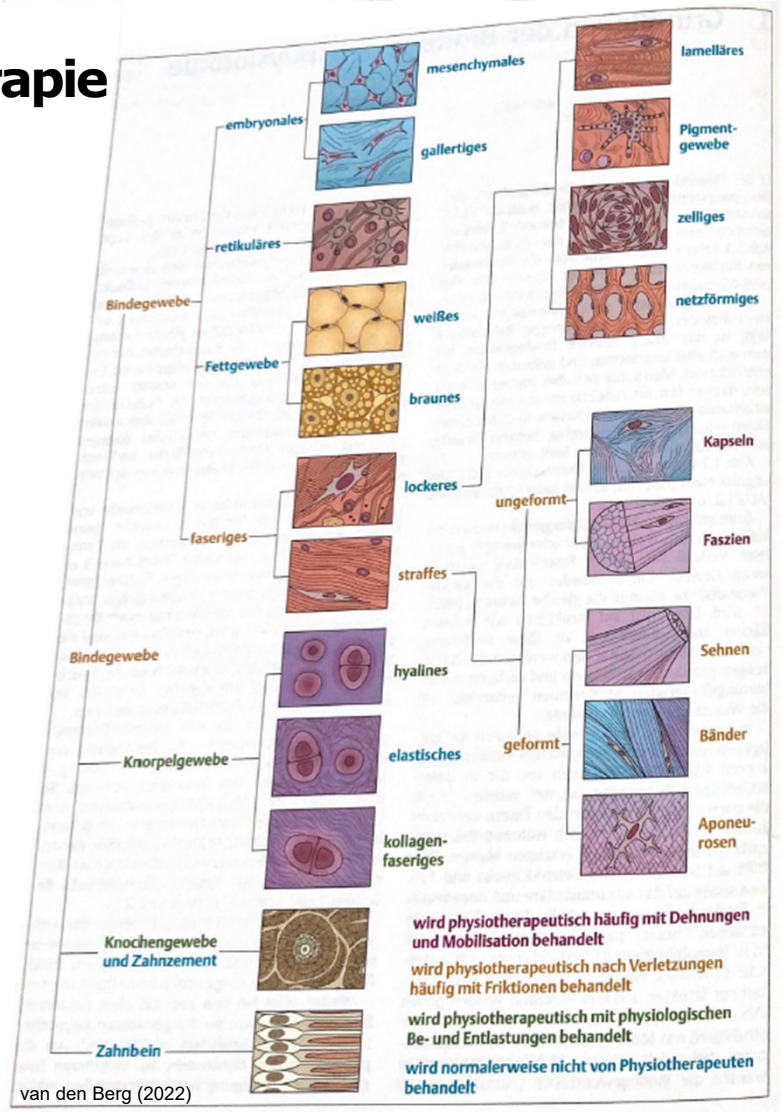
Phase		Durée	But	Symptômes	Signes cliniques	Principes de traitement
Inflammatoire	Vasoconstriction	20’	Éviter l’hémorragie	Douleur nocturne Tape Chaud	Rougeur Chaleur Œdème	Amplitude non-douloureuse Décharge / Repos relatif RICE/PECH Glace 1’/1’ dans les 20 premières minutes Immobilisation au maximum 3 à 5 jours Pas d’AINS
	Vasculaire	→ 2-3 jours	Nettoyer l’endroit de la lésion et réparer les vaisseaux			
	Cellulaire	→ 5 jours	Créer les cellules			
Prolifération		→ 21 jours	Créer les fibres nécessaires à la reconstruction	↓ douleur Ø douleurs nocturnes	Douleurs dans l’amplitude (ROM) et en fin d’amplitude (EOR) Ø chaleur ↓ œdème	Mouvement (vitesse basse, contractions isométriques & isotoniques) Amplitude non-douloureuse ⇒ limiter la fin d’amplitude ↑ charge des tissus
Maturation		→ 60 jours	Augmenter la stabilité et la résistance	Douleurs en fin d’amplitude (EOR) Douleurs à la charge totale	Douleurs en fin d’amplitude (EOR) ↓↓↓ œdème	Mobilisation en fin d’amplitude (EOR) Charge totale (de la charge à la fonction pour retrouver le niveau antérieur)
Consolidation		→ 1 – 2 ans	Rendre le tissu aussi normal que possible			

DÉCHARGE MOUVEMENT RÉATHLÉTISATION

> Cicatrisation & physiothérapie

Mouvements thérapeutiques selon les tissus

- Étirements & mobilisation :
  - Capsule
  - Fascia
- Friction :
  - Tendon
  - Ligaments
  - Aponévroses
- Charge – Décharge :
  - Cartilage

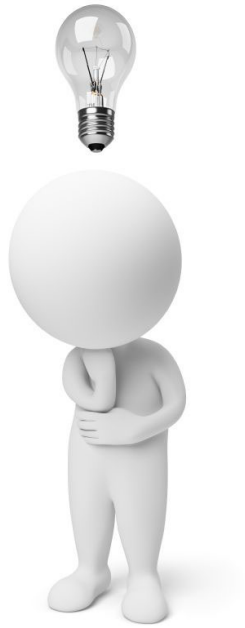


van den Berg (2022)

> Cicatrisation & physiothérapie
Cas cliniques

- Voici trois blessures différentes :
  - Fracture sous-capitale humérale
  - Fracture radius/ulna
  - Déchirure tendineuse traumatique
- Pour chacune indiquez:
  - Les tissus impliqués
  - Quels traitements pour chacune des phases ?

30 - 45 minutes



> Références

- Van den Berg, F. (Ed.). (2022). Angewandte Physiologie: Band 1: Das Bindegewebe des Bewegungsapparates verstehen und beeinflussen. Georg Thieme Verlag.
- Marieb, E. N., Hoehn, K., Moussakova, L., Lachaîne, R., & Desbiens, A. (2015). Anatomie et physiologie humaines. Montréal.