

*Bibliothèque numérique*

**medic@**

**Rémy, A.-Ch.. - Développement des  
tissus cartilagineux et osseux**

**1880.**

***Paris : A. Parent, imprimeur de  
la Faculté de médecine***

***Cote : 90975***



Licence ouverte. - Exemplaire numérisé: BIU Santé  
(Paris)

Adresse permanente : [http://www.biusante.parisdescartes  
.fr/histmed/medica/cote?90975x1880x08x10](http://www.biusante.parisdescartes.fr/histmed/medica/cote?90975x1880x08x10)

10

FACULTE DE MEDECINE DE PARIS

---

DÉVELOPPEMENT

DES

TISSUS CARTILAGINEUX ET OSSEUX

---

THÈSE

PRÉSENTÉE AU CONCOURS POUR L'AGRÉGATION

(Section des sciences accessoires)

et soutenue à la Faculté de médecine de Paris

PAR

LE D<sup>r</sup> A.-CH. RÉMY

Lauréat de la Faculté (médaille d'argent),  
Ancien professeur de l'Ecole de médecine de Reims,  
Ancien interne des hôpitaux de Paris,  
Chef du laboratoire des cliniques de la Charité,  
Membre de la Société anatomique.



---

PARIS

A. PARENT, IMPRIMEUR DE LA FACULTE DE MEDECINE  
29-31, RUE MONSIEUR-LE-PRINCE, 29-31

—  
1880

0 1 2 3 4 5 (cm)



FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

DÉVELOPPEMENT

DES

TISSUS CARTILAGINEUX ET OSSEUX

THÈSE

PRÉSENTÉE AU CONCOURS POUR L'AGGREGATION

(Section des sciences accessoires)

et soutenue à la Faculté de médecine de Paris

PAR

LE D<sup>r</sup> A.-C. REMY

Lauréat de la Faculté (médecine d'argent),  
Ancien professeur de l'École de médecine de Reims,  
Ancien interne des hôpitaux de Paris,  
Chef du laboratoire des chimiques de la Charité,  
Membre de la Société anatomique.

PARIS

A. LARBIET, IMPRIMEUR DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE  
20-21, RUE MONSIEUR-LE-PRINCE, 20-21

1880



MEMBRES DU JURY :

---

Président..... M. GAVARRET.  
Juges..... MM. ROBIN.  
SAPPEY.  
WURTZ.  
BAILLON.  
FELTZ (Nancy).  
MICÉ (Bordeaux).  
GAUTIER (Académie).  
Secrétaire..... Math. DUVAL (agrégé).

---







L'étude du développement des tissus cartilagineux et osseux comprend plusieurs points : 1° la genèse ou apparition de chacun d'eux ; 2° l'exposition des modifications qu'ils subissent pour remplir leur but.

Ces modifications varient pour chacun des organes premiers, appartenant aux systèmes cartilagineux ou osseux. Mais je me contenterai de déterminer les conditions générales qui permettent de classer ces phénomènes en un petit nombre de groupes, et je renvoie aux traités spéciaux du développement des organes, à l'anatomie descriptive pour la forme des organes, l'apparition et points osseux, etc...

En raison de l'époque d'évolution, j'ai commencé par le cartilage. Ce cartilage peut persister toujours ou servir à l'ossification. Delà deux parties. J'ai étudié d'abord le développement du cartilage permanent ou vrai. Quant à la seconde partie, en considérant que le développement de l'os accompagne celui du cartilage, je ne pouvais l'entreprendre sans faire connaître la formation du tissu osseux en général. Ce point éclairci, j'ai cherché à montrer quelles sont les modifications du cartilage, d'ossification et de l'os. C'est là l'étude de l'ossification enchondrale, partie difficile à cause de la multiplicité des états successifs du cartilage. Enfin j'ai décrit l'ossification non précédée de cartilage qui s'observe sur certains os du crâne, etc... Le chapitre qui suit renferme l'étude de la régénération du cartilage et de

Rémy.

1



l'os, dont les phénomènes peuvent s'observer par l'expérience ou dans les cas pathologiques.

Enfin, en terminant, j'ai cherché à faire un exposé rapide des transformations des connaissances scientifiques qui ont précédé l'état actuel.



## DÉVELOPPEMENT

DES

# TISSUS CARTILAGINEUX ET OSSEUX

## CHAPITRE PREMIER.

### CARTILAGE.

*Organes de soutien.* — Les tissus cartilagineux et osseux se rencontrent dans les vertébrés et quelques invertébrés, formant des organes de soutien autour de leurs viscères digestifs, autour du système nerveux et dans les membres. C'est ainsi qu'est formé un squelette intérieur. Ce squelette est constant chez tous les vertébrés ; mais chez les uns ils restera toujours cartilagineux (poissons cartilagineux), tandis que chez les autres le développement des deux tissus donnera un squelette à la fois cartilagineux et osseux, (poissons reptiles, oiseaux et mammifères).

On rencontre aussi le tissu cartilagineux chez quelques invertébrés. Il forme une enveloppe au centre nerveux de quelques mollusques céphalopodes (seiches) (1). Il est signalé chez quelques annelés (vers), mais c'est le

(1) Gegenbaur. Manuel d'anatomie comparée, 1874, p. 37 et 164.



seul qu'on y rencontre. C'est à tort qu'on a donné le nom d'os de seiche à des parties dures qu'on trouve chez cet animal, et qui ne sont ni os ni cartilage.

*Notocorde* (premier squelette). — On rencontre chez les vertébrés un organe qui précède la genèse du cartilage et auquel on a donné le nom de notocorde (2).

C'est un cordon formé par un amas épithélial d'origine incertaine dont tous les détails ont été bien étudiés dans le travail de Ch. Robin, (1). et récemment dans Kolliker est entouré d'une gaine hyaline résistante aux réactifs acides, à l'ammoniaque et, dans une certaine mesure, à la traction.

La notocorde située au-devant de l'axe cérébro-spinal et parallèlement à lui dans presque toute sa longueur, peut être considérée comme un premier squelette.

*Apparition du cartilage.* Le cartilage apparaît le premier chez l'embryon, chez lequel forme un squelette temporaire auquel succède le squelette osseux définitif. C'est autour de la notocorde qu'apparaîtra la première masse cartilagineuse. Les protovertèbres ne représentent pas la masse cartilagineuse primitive, ainsi que Remack l'a démontré sur le poulet et Kolliker sur le lapin. Les proto-vertèbres seront segmentées lors de la formation du rachis cartilagineux.

(1) Ch. Robin. Mémoire sur l'évolution de la notocorde. Académie des sciences, 1868.

(2) *Entwicklungs geschichte.*



En arrière des vertèbres se développera un arc postérieur; en avant, se formeront une série d'arcs antérieurs plus ou moins complets, et plus ou moins pourvus de prolongements, qui, en se rendant dans les arcs branchiaux et dans les parties molles qui forment la cavité thoraco-abdominale de l'embryon, deviendront les mâchoires, l'appareil hyoïde, la ceinture scapulaire, les côtes, la ceinture pelvienne et les membres. Le cartilage vertébral se développe le premier, dans des embryons de 6 à 12 millimètres, au début du deuxième mois, d'après Ch. Robin (2). De la sixième à la septième semaine, d'après Kolliker, le tissu cartilagineux naît sans vaisseaux. Il se nourrit par imbibition. Ce n'est que lorsqu'il est formé de masses volumineuses qu'on voit l'apparition des vaisseaux, et cependant les éléments de ce tissu possèdent une grande activité vitale mise en évidence par la reproduction fréquente de cellules, l'augmentation de la substance intermédiaire, l'existence de mouvements amiboïdes de la cellule et enfin par la rapide reproduction de ce tissu chez quelques vertébrés inférieurs (section des membres chez les tritons), ainsi que dans la formation du cal.

*Cartilage embryonnaire. Noyaux.* — C'est dans le feuillet moyen de l'embryon que se développe le cartilage. Le cartilage se forme autour de la notocorde par genèse de noyaux qui se groupent de manière à former des masses plus obscures que la substance environnante. Ces noyaux sont pressés les uns contre les autres; ils se

(1) Ch. Robin. Anatomie et physiologie cellulaire.



distinguent des éléments voisins par des différences de forme, de réfringence, de réaction chimique aux matières colorantes. Ces noyaux sont ovoïdes, plus petits que les éléments embryoplastiques voisins et plus sombres. Ils sont constitués par une substance remplie de granulations et ne sont entourés d'aucun corps cellulaire; ils semblent serrés les uns contre les autres, mais déjà on peut constater la présence d'une matière interposée qui les englobe; c'est la substance cartilagineuse, (2) que nous considérons comme un élément et non comme un produit.

*Substance.* — Cette substance ne tarde pas à augmenter de quantité et à devenir appréciable plus facilement; mais, dès le début, on peut constater sa présence par la dissociation élémentaire ou la pression qui chasse les noyaux et laisse la trame dans laquelle ils étaient inclus. Cette substance est hyaline, amorphe, très transparente. Elle n'est limitée à sa périphérie que d'une manière confuse, de sorte que le noyau cartilagineux semble se continuer avec les tissus voisins. Mais on voit apparaître rapidement une ceinture de corps fusiformes rangés sur plusieurs couches: c'est le périchondre, qui deviendra de plus en plus distinct, mais dont les limites avec le cartilage ne se font jamais par transition brusque. Signalons en passant qu'une substance analogue à celle du cartilage se développe dans la cernée.

*Moyens d'observation physiques, chimiques; coloration.* — Les noyaux sont colorés très fortement par le carmin, l'hématoxiline, le violet de méthylaniline, la



fuschine, la purpurine et les autres matières colorantes employées pour les études histologiques. Ils n'ont pas de réactif particulier, mais leur coloration est plus vive que celle des noyaux embryo-plastiques environnants.

La substance est molle tout d'abord, mais elle ne tarde pas à présenter une ténacité plus considérable. on peut l'écraser et mettre en liberté les noyaux qu'elle contient. Plus tard, elle garde l'empreinte de ces noyaux et laisse voir les cavités qui les contiennent, cavités qu'on nomme chondroplastcs. Elle commence à montrer sur la coupe l'aspect opalescent et le reflet nacré et bleuâtre qu'auront les cartilages définitifs.

Vue par la lumière transmise, elle possède une propriété spéciale de réfraction qui la fait distinguer des autres tissus, bien que les masses des cartilages primitifs ne soient pas nettement limitées. Elle laisse passer plus de lumière transmise que les autres tissus. Elle résiste à l'action des acides faibles sans se gonfler.

Les propriétés chimiques seront étudiées dans un chapitre spécial, mais on peut déjà considérer comme en faisant partie l'action sur cette substance des matières colorantes. Elle ne se colore pas par le carmin, mais elle est colorée en rouge pâle par la fuschine; en jaune, par la teinture d'iode iodurée; en violet, par le bleu de quinoléine (Ranvier); en brun sombre, par le brun de Bismarck (Born) (1); en bleu, par l'hématoxyline; en violet foncé, par le violet de méthylaniline; le mélange de ces deux dernières substances donne un

(1) G. Born. Die Nasenhöhlen etc... Morphologisches Jahrbuch, 1879 5<sup>e</sup> livraison. p. 64.



excellent résultat et doit être employé comme moyen de rechercher la substance cartilagineuse. Il permet de la déceler facilement au milieu des tissus conjonctifs qui ne se colorent pas. La réaction spéciale de cette substance cartilagineuse est due vraisemblablement à une composition chimique différente de celle du tissu conjonctif, au milieu, mais non aux dépens duquel elle est née. Il est difficile de dire lequel des deux éléments a précédé l'autre, ou s'ils ont apparu simultanément. Il y a là succession de phénomènes, l'apparition d'un élément provoquant celle de l'autre.

*Le cartilage ne naît pas des tissus environnants.* — Le cartilage ne naît pas aux dépens de la notocorde; il apparaît dans les embryons des vertébrés autour de la corde dorsale qui remplit le rôle de soutien squelettique du nouvel être pendant la phase blastodermique de son évolution. Le cartilage n'a aucune parenté avec la notocorde; ce sont deux tissus absolument distincts. Et, en effet, d'une part on peut retirer la notocorde intacte des amas cartilagineux, qui l'entourent, et constater ainsi que ni les amas de cellules semblables à des épithéliums du centre, ni la gaine de substance hyaline produite à la périphérie n'ont participé à la formation du cartilage ambiant, et, d'autre part, la notocorde continue à s'accroître parallèlement au développement du squelette cartilagineux en subissant des transformations morphologiques. Elle continuera à exister à l'état de tissu particulier formant un organe logé dans les disques intervertébraux. « Ce petit appareil offre un exemple frappant des cas de remplacement partiel d'un organe transitoire par un autre, sans que



jamais le tissu du second soit une transformation du premier, sans qu'il y ait de lien généalogique direct des éléments de celui-ci avec ceux de celui-là (1). » Jadis, la chondrification de la corde dorsale fut admise néanmoins par un certain nombre d'auteurs, à l'imitation de Rathke et R. Owen (Kolliker) (2). Elle est encore soutenue par Gegenbaur dans les Vertèbres présacrées des oiseaux. Ch. Robin eut le mérite d'approfondir cette question et de bien étudier la spécialisation du tissu.

Le cartilage ne se développe pas non plus aux dépens du tissu embryoplastique. Sur les batraciens et les poissons, d'après Ch. Robin (3) et plus tard Kolliker (4), le cartilage basilaire et les premières pièces de l'appareil hyoïdien qui se montrent sont les seuls cartilages qui naissent alors qu'il y a encore dans l'embryon des cellules du feuillet blastodermique moyen dérivant du vitellus. Mais déjà les cellules qui se groupent pour former des cartilages primordiaux de batraciens sont assez différentes des cellules à granules vitellins, pour qu'on puisse admettre une genèse d'éléments particuliers. Ces cellules, en effet, ne renferment plus que de fines granulations graisseuses, des granulations grises, qu'elle ne tardent pas à perdre pour devenir transparentes. Aussi ce fait ne doit-il pas être généralisé, et ne doit-on pas dire que les cartilages se développent aux dépens

(1) Ch. Robin. Mémoire sur l'évolution de la notocorde. In mémoires de l'Académie des sciences. Paris, 1868, p. 306. Du même : dictionnaire de Littré, notocorde.

(2) Page 436, Entwick.

(3) Ch. Robin. Anatomie et physiologie cellulaire.

(4) Kolliker. Eléments d'histologie, 1850.



des cellules primordiales de l'embryon ; et lorsqu'on étudie la genèse du cartilage sur d'autres animaux, ou à une période plus avancée, on est persuadé qu'il existe une véritable genèse d'éléments nouveaux.

La substance cartilagineuse doit être considérée comme un élément, bien qu'elle ne soit pas un élément figuré (1).

Cette substance présente des actes nutritifs et évolutifs qui prouvent une individualité propre. Elle s'accroît, elle a des altérations particulières indépendantes de celles des cellules (état velvétique).

On ne peut admettre que cette substance soit le résultat d'une soudure ou transformation des corps cellulaires des cellules cartilagineuses, puisque ce sont des noyaux seulement qui constituent le premier cartilage, et on ne peut arriver à séparer les cellules dont on aurait admis la soudure. On ne peut admettre non plus sans réserve la supposition d'une sécrétion périnucléaire parce que le corps de la cellule n'a pas la même constitution chimique que la substance qui l'enveloppe.

D'après Gegenbaur (Manuel d'anatomie comparée, page 34), la substance intercellulaire n'est pas caractéristique, le tissu cartilagineux jeune ne donnant pas de chondrine. La substance intercellulaire peut être formée de chitine (Limule).

Néanmoins, ces deux éléments sont liés dans leur évolution, et l'un influe certainement sur l'autre. En présence de cellules cartilagineuses, il est impossible que l'osséine se forme. Admettons la théorie de la Génèse ou

Ch. Robin. Traité des humeurs.



celle de la descendance des éléments vitellins suivie de différenciation, il faut bien reconnaître que des propriétés spéciales sont attachées au tissu et qu'il ne reproduit que lui-même.

*Le cartilage forme d'abord des masses continues.* — Grâce à une activité particulière dans l'évolution, le cartilage s'accroît rapidement : d'une part, par accroissement des éléments préexistants dont je viens de parler; d'autre part, par l'addition de nouveaux éléments à la périphérie. Le tissu cartilagineux, formé par ces éléments, subit en s'accroissant des modifications particulières. Au centre de la masse cartilagineuse, le noyau se transforme en cellules; il présente à ses extrémités, ou tout autour de sa périphérie, la formation d'un corps cellulaire mince d'abord, peu granuleux. Ce corps colore en jaune par l'acide picrique, en rouge par la purpurine, mais moins vivement que le noyau. Il augmente assez rapidement de volume, et on peut alors déceler ses limites par la purpurine ou l'hématoxyline. Ce corps cellulaire est sphéroïdal ou ovoïde dans la majorité des cas; néanmoins on observe des cas où la cellule cartilagineuse ainsi transformée est irrégulière, présente des prolongements. Nous croyons même qu'il peut y avoir des cellules étoilées et anastomosées englobées dans cette substance cartilagineuse. On sait que certains cartilages dans les invertébrés présentent cette disposition ramifiée (Seiche). Des figures de cette variété de cartilage sont reproduites dans le livre de l'Anatomie de O. Cadiat. J'ai trouvé un cartilage semblable sur le crâne du porc; ce cartilage est remarquable par l'abon-



dance des tissus cartilagineux qui forment une enveloppe plus développée que chez les autres animaux. J'hésitais d'abord à admettre le cartilage, à cause de la forme étoilée des chondroplastes, qui ressemblaient à des ostéoplastes. Cependant la substance amorphe intermédiaire possédait bien la réfringence cartilagineuse. Mais, après avoir coloré avec l'hématoxyline mélangée au violet de méthylaniline, j'ai obtenu la réaction caractéristique. Ne pourrait-on pas supposer que la substance cartilagineuse seule s'est développée ici en englobant les éléments du tissu conjonctif?

Quoi qu'il en soit, la cellule augmente de volume et le chondroplaste est transformé proportionnellement en une cavité plus grande qui est d'habitude sphérique, et les cavités ne communiquent pas entre elles, car la substance amorphe augmente proportionnellement de son côté. En même temps, cette substance se durcit et prend peu à peu les caractères qui la rapprochent de celle de l'adulte. Elle s'en différencie toutefois, nous le verrons par la chimie.

Le tissu ainsi formé, composé de noyaux, de cellules et de substance amorphe, constitue le cartilage embryonnaire, qui est un cartilage hyalin. Dans ce tissu, on remarque l'absence de vaisseaux et, de plus, on voit que sous le périchondre, à la périphérie, les noyaux cartilagineux sont pressés comme dans la période embryonnaire et donnent au bord cartilagineux une teinte sombre. Dans le centre, au contraire, les cellules sont développées, les chondroplastes sont plus grands, la substance amorphe plus abondante, le tissu plus transparent. Ce cartilage, qui vit par imbibition, peut être,



dans une certaine mesure, comparé aux tissus épithéliaux. En effet, lorsque les épithéliums se stratifient, on observe une couche des vaisseaux où ces éléments jouissent d'une activité considérable de reproduction. Plus éloignées des vaisseaux, les cellules se gonflent, leur intérieur se charge de substances spéciales, de même que dans le tissu cartilagineux embryonnaire qui n'est d'abord qu'une masse non vasculaire.

*Fragmentation des masses cartilagineuses primitives.*

— Dans les masses cartilagineuses ainsi disposées, ayant leur éléments plus âgés au centre et les plus jeunes à la périphérie, on voit se former par un processus spécial de fragmentation les différents segments du squelette cartilagineux (1). Il n'y a pas de point cartilagineux spécial pour chaque segment futur; c'est d'abord une masse cartilagineuse continue, puis cette masse se fragmente dans sa continuité; mais la coulée cartilagineuse ne se fait pas d'emblée, et, aux extrémités des bourgeons cartilagineux, on voit se produire un accroissement rapide lorsque la segmentation est déjà produite en d'autres points. Ces points nouvellement accrus se subdivisent à leur tour. Les points où s'observe cette subdivision sont : les masses cartilagineuses qui enveloppent la notocorde; la masse cartilagineuse aux

(1) Ch. Robin. 1849.

Pouchet et Tourneux. Précis d'histologie humaine, p. 437, 1878.

Pouchet. Du développement du squelette des poissons, *Journal de l'anatomie* 1875.

Henke und C. Rayer. Studien über die Entwicklung der Extremitäten des Menschen insbesondere der Gelenkflächen Sitzb der K. Akad. W., III abth. Juliheft, 1876.



dépens de laquelle se développent les membres et leurs parties carpiennes, métacarpiennes et phalangiennes.

Le but de ces fragmentations est de fournir les différentes pièces du squelette définitif ou transitoire. Il se forme ainsi des organes premiers cartilagineux qui reproduisent la figure des os définitifs, mais réduite à de très petites proportions,

La chondrification de la colonne vertébrale se fait chez l'homme, d'après Kolliker, au début du second mois; de la sixième à la septième semaine, on trouve un rachis complet avec des disques intervertébraux. Dans ce rachis, la corde dorsale est encore conservée au début; elle commence cependant déjà à devenir moniliforme, présentant des renflements au niveau des disques et des étranglements dans les corps cellulaires. Les corps vertébraux ne se montrent pas simultanément dans une seule coulée, mais l'apposition se fait de l'extrémité céphalique vers l'extrémité caudale. Il en résulte, en étudiant des embryons humains longs de 6 à 12 millimètres, ou des embryons d'animaux depuis la région coccygienne jusque vers la partie supérieure, que l'on peut voir se succéder toutes les phases de la genèse et du développement du cartilage.

*Phénomènes histologiques du développement des articulations.* — Un travail histologique intéressant se passe dans le cylindre cartilagineux qui va se segmenter. Les chondroplastes s'aplatissent se tassent, se rangent en plans parallèles à la surface future de division. Une sorte de diaphragme est formée de 8 à 10 plans de cellules



aplaties, se continuant par la périphérie avec celles du périchondre.

Dans l'épaisseur de ce diaphragme entre deux plans cellulaires voisins se fait dans la substance amorphe une fissure qui s'arrête à quelque distance du périchondre. Ainsi se subdivise le cylindre cartilagineux et là se forme une articulation. Le périchondre est maintenu à la périphérie et c'est à ses dépens que se développent les ligaments, des fibro-cartilages, les séreuses articulaires. On voit se produire un phénomène analogue à la subdivision du feuillet moyen dans la fente pleuro péritonéale. C'est le même phénomène, mais à une époque éloignée de plusieurs jours sur le poulet, de plusieurs mois chez l'homme.

Si nous examinons alors un des cartilages ainsi formés nous trouvons une disposition remarquable, les chondroplastes qui sont à la surface périchondrale et ceux qui sont à la surface articulaire sont aplatis parallèles à la surface de cylindre ou de son plan de section, ces chondroplastes sont petits pressés les uns contre les autres. Ils ont dans ces deux cas l'apparence morphologique des cartilages embryonnaires à leur première période. Il est donc inutile de donner une cause mécanique à la disposition des cartilages à la surface des articulations. C'est un fait physiologique de développement qui n'a rien à voir avec la pression des surfaces articulaires pas plus que le glissement des organes ne doit expliquer l'apparition des séreuses. Dans le cas des séreuses articulaires il y a lieu d'admettre encore une genèse particulière dans des conditions identiques à celles où s'est produite la genèse des grandes séreuses.



*Surface cartilagineuse articulaire. Fibro-cartilage articulaire.* — Les surfaces articulaires ainsi formées sont histologiquement constituées comme les surfaces articulaires définitives. La surface est limitée par une couche amorphe très mince, au-dessous sont les chondroplastes aplatis, petits, parallèles à la surface. Plus profondément ces chondroplastes agrandis, plus écartés les uns des autres sont sphéroïdaux ; il manque la couche des chondroplastes allongés perpendiculairement à la surface articulaire. Cette dernière est en rapport avec l'ossification. On pourra comparer cette surface articulaire avec les articulations des adultes. (Ch. Robin.)

*Fibro-cartilage articulaire.* — Le fibro-cartilage articulaire se développe à l'époque de cette segmentation. La ligne de fragmentation s'arrête dans le tissu cartilagineux à une certaine distance du périchondre et lorsque les surfaces articulaires sont à convexité opposée comme au genou, on voit un ménisque triangulaire, interposé aux deux surfaces par sa portion anguleuse, adhérent par sa portion large au périchondre c'est par le développement simultané du périchondre et du cartilage que se forme le fibro-cartilage ; les corps fibro-plastiques donnent les fibres lamineuses qui se prolongent dans l'intérieur de ce fibro-cartilage, et une couche de cartilage hyalin très mince persiste à sa surface.

Les bourrelets qui agrandissent les cavités articulaires sont formés par un procédé analogue et on comprend qu'à la face articulaire des ligaments, dans les villosités de la synoviale puissent se développer les cellules cartila-



gineuses dont l'origine embryonnaire nous est ainsi connue.

On pouvait s'étonner de voir des éléments cartilagineux se développer dans des séreuses articulaires et ne jamais se montrer dans le système des séreuses de la fente pleuro-péritonéale. La conception de la génération du fibro-cartilage et des séreuses articulaires que j'ai indiquée plus haut me paraît expliquer d'une part la présence, d'autre part l'absence de ces éléments dans les deux variétés de séreuses.

Le fibro-cartilage des amphiarthroses, de la symphyse du pubis, des disques intervertébraux se développe de même. La symphyse pubienne est primitivement formée par une double épaisseur de périchondre (1).

Quant à celui des disques intervertébraux, il est formé à la périphérie par le même processus, mais à son centre il renferme des vestiges de la corde dorsale qui lui donnent une texture compliquée toute particulière qu'on trouve exposée tout au long dans le mémoire de Ch. Robin.

Ces fibro-cartilages sont remarquables presque dès leur apparition par leur vascularisation, ils présentent des modifications consistant dans l'apparition de fibres élastiques, de vaisseaux et de nerfs décrits par M. le professeur Sappey (2).

« Toute fibre élastique de fibro-cartilage a pour origine  
» une ou plusieurs cellules de cartilage. Le noyau de la  
» cellule de cartilage commence à s'atrophier en même

(1) Luschka die Halbgelenke, Berlin 1858.

(2) Sappey. P. 459, t. I 1867.



» temps que la cellule s'allonge et devient fusiforme. *Fibro cartilage élastique.*

Le développement de cette variété de fibro-cartilage se fait tardivement, ce qui est en rapport avec la tardive apparition des fibres élastiques. Pendant longtemps ce cartilage ne diffère pas du cartilage hyalin.

Il en a les propriétés optiques, les réactions aux matières colorantes, la composition chimique. Nous avons pu nous assurer de la plupart de ces analogies sur des fœtus humains. Un fœtus de 18 centimètres, n'avait encore dans les oreilles que du cartilage hyalin; ce cartilage a cependant comme caractères différentiels d'avoir des chondroplastes très rapprochés et peu de substance cartilagineuse amorphe intermédiaire. C'est seulement vers une période avancée, vers le cinquième mois, que débute la formation de fibres élastiques dans la substance amorphe. Il y a encore des recherches à faire à ce sujet.

*Formation du squelette définitif.* — Que deviennent les différents segments dont nous avons vu l'isolement?

Nous savons que chez certaines espèces animales, ils se développent de façon à constituer un squelette définitif.

Chez l'homme, qui nous intéresse particulièrement, certaines portions seulement de ce squelette primitif persisteront intactes, d'autres seront atteintes par l'ossification; les deux variétés contribueront à former le squelette définitif.

Nous étudierons d'abord les cartilages permanents.



Nous désignons par ce terme les cartilages et les fibro-cartilages qui ne sont jamais envahis par aucun point d'ossification et nous laissons les portions de cartilages permanents qui forment les surface articulaires, qui, selon nous, appartiennent aux cartilages d'ossification.

CARTILAGES PERMANENTS. — Ces cartilages comprennent d'abord les cartilages hyalins. Poulie de l'œil, cartilage du nez et de tout l'appareil respiratoire à l'exception de ceux des autorins des cunéiformes et de l'épiglotte, les cartilages des ligaments hyo-thyroïdiens latéraux, les cartilages costaux, l'appendice xyphoïde du sternum et les cartilages articulaires à l'exception du revêtement cartilagineux de la cavité glénoïde et de la tête de la mâchoire inférieure. On les nomme aussi cartilages vrais. Les cartilages costaux sont souvent rangés parmi les cartilages permanents, mais en réalité ils appartiennent à un segment ossifié en grande partie pour la formation des côtes. Par leur union sternale ils ont la constitution des cartilages articulaires, par leur union costale ils ont celle des cartilages d'ossification. C'est à leur partie intermédiaire que s'applique la description générale du développement qui va suivre.

Les fibro-cartilages articulaires et les fibro-cartilages élastiques rentrent aussi dans la catégorie des cartilages permanents. Les premiers se trouvent dans les diverses variétés d'articulations sous forme de bourrelets agrandissant les cavités articulaires, de ménisques inter-articulaires, de substance interposée dans les amphiarthroses, les symphises etc.



C'est à tort que l'on désigne sous le nom de fibro-cartilage, les cartilages tarses qui ne sont que du tissu fibreux.

Les fibro-cartilages élastiques s'observent dans le pavillon de l'oreille, l'épiglotte, le cartilage aryténoïde, les cartilages de Wrisberg, de Santorini et de la trompe d'Eustache.

*Cartilage hyalin.* — Ces cartilages permanents ne sont pas vasculaires (1), ils présentent des caractères différents par suite de leur développement et nous verrons dans la suite de cette étude les modifications que subit le cartilage embryonnaire en passant à l'état adulte.

Les cartilages permanents sont entourés de périchondre excepté au niveau des surfaces articulaires. Ils prennent peu à peu les caractères et les propriétés du cartilage en général ; ils sont élastiques, reviennent sur eux-mêmes lorsqu'ils ont été pliés, chassent la pointe du scalpel, donnent une sensation particulière quand on les coupe ; ils se brisent en donnant une surface de cassure très irrégulière avec bords tranchants, ils sont bleuâtres, à reflets nacrés, quand on examine leur surface de section. Par transparence à la lumière, ils sont opalescents quand la coupe est épaisse, transparents si elle est mince ; à l'œil nu en suivant l'évolution de ces cartilages on ne voit que peu de différence. Cependant dans les dernières phases de développement, dans la vieillesse, ils deviennent jaunes, moins élastiques, plus durs. Leur coloration s'explique par les modifications qu'on

(1) Cependant par les progrès de l'âge et avec la calcification on peut voir des vaisseaux dans les cartilages thyroïde et costaux.



observe dans les cellules et leur dureté par un dépôt calcaire. Ces dépôts qui donnent aux os la dureté et la fragilité ne sont qu'une calcification sénile, indiquant une diminution de la vie des éléments cartilagineux. Ce dépôt calcaire n'est pas spécial au cartilage mais peut se développer dans beaucoup d'organes (athérome artériel).

Au point de vue histologique, les modifications qui existent dans le développement de ce tissu consistent dans l'apposition de couches nouvelles aux dépens du périchondre, l'augmentation du tissu amorphe, la multiplication des cellules cartilagineuses et leur accroissement dans les cavités des chondroplastes. Ces cartilages continuent à se développer sans être vascularisés, comme dans la période embryonnaire.

L'apposition de couches nouvelles se fait comme dans la genèse du cartilage, c'est-à-dire que, à la périphérie, on voit se produire de nombreux noyaux qui sont circonscrits par de faibles couches de substances amorphes et qui se rangent aussi en lignes parallèles à la surface.

A mesure que nous avançons vers le centre du tissu, la substance amorphe augmente (1), il y a là un véritable accroissement interstitiel et cette abondance de tissu

(1) La substance fondamentale, d'après Henocque, ne serait homogène qu'en apparence. Elle est en réalité fibrillaire et cette texture est masquée par la substance cimentaire unisante qui a les mêmes indices en réfraction que les fibrilles.

Heitzman. Med. Jahrbücher der K. K. Gesellschaft der Aerzte 1872, décrit un système de canalicules déliés partant des chondroplastes et formant au sein du cartilage hyalin un réseau très riche.

A. Genzmer. Unters. ueb. d'Hyalinknorpel. Centr. bl. f. chir. 1875, dit



amorphe contraste avec ce que l'on voit dans le cartilage embryonnaire. En même temps les chondroplastes deviennent anguleux, ce qui donne au tissu un aspect spécial désigné sous le nom de *cartilage fœtal*.

La cellule cartilagineuse dont nous avons vu se former le corps cellulaire a augmenté peu à peu, les chondroplastes deviennent vingt fois plus vastes et ils contiennent des cellules plus volumineuses, et même des séries de cellules.

Ces chondroplastes sont habituellement ovoïdes, mais ils peuvent être sphériques, allongés, fusiformes; il faut renoncer d'ailleurs à décrire dans un même cartilage, ou d'un cartilage à l'autre comparativement, toutes les variétés de forme qu'ils peuvent présenter.

Il en est du même du volume. Il peut devenir de huit à dix fois plus considérable que chez le fœtus. Leidy, Harting. Recherches microm., p. 77 (Ch. Robin).

Cette cellule présente les signes d'une grande activité vitale; on a observé sur elle des mouvements amiboïdes des déplacements du protoplasma.

Les mouvements seraient, d'après les auteurs, faciles à constater sur les parties cartilagineuses minces et transparentes de certains animaux. L'appendice xyphoïde du sternum de la grenouille, la queue du têtard, sont

que Heitzman n'a pas mis son microscope au point et qu'il n'y a aucun système de canalicules.

H. Tillmanns. Ueber die fibrilläre structur des Hyalinknorpels. Centralbl. f. chir. 1877 a déjà démontré la structure fibrillaire de la substance fondamentale du cartilage hyalin par l'hypermanganate de potasse et le chlorure de sodium à 10 0/0.

Baber a constaté le même fait (Journal of anat. and phys 1875). La structure fibrillaire est encore nette en faisant digérer le cartilage par la Trypsine pancréatique de Kühne.



de bons sujets d'étude pour ce point de physiologie, d'autant plus que la résistance vitale des éléments est considérable chez eux. Les auteurs qui ont les premiers observé ces phénomènes de motilités ont en outre décrit une structure réticulaire de la cellule et du noyau (1).

Cette cellule possède en outre une activité productrice assez considérable, elle se reproduit par scissiparité; on observe bien sur elle l'étranglement du noyau, sa segmentation et la segmentation du corps cellulaire, de sorte qu'une cellule ovoïde se trouve décomposée en deux moitiés semblables, appliquées l'une contre l'autre. Ces deux cellules peuvent donner elles-mêmes naissance par le même procédé à d'autres éléments, de sorte que de cette cellule mère peut en résulter 20, 30, 40 cellules filles (2), contenus dans un même chondroplaste. La cavité du chondroplaste est naturellement agrandie. Il est habituel dans les cartilages permanents de ne voir que

(1) Flemming. Beiträge zur Kenntnis der Zelle und ihrer Lebenserscheinungen. Arch. für. micr. anat. Bd XVI heft 2.

Haidenhain a arrêté ces mouvements à l'aide de l'électricité. Studien des physiologischen Institut zu Breslau, cité par Rollet dans Stricker's Handbuch.

Prudden. Beobachtungen am lebenden Knorpel. Archiv. für Path. Anat. und Phys. Bd. LXXV Hft. 2.

Nouvelles communications sur la cellule vivante par Schleicher. Archives de biologie de V. Beneden 1880 f. 1 et du même die Knorpel theilung. Archiv. für Anat. Bd. XVI Hft. 2.

La dénomination de structure réticulaire pour l'ensemble des éléments réfringents du noyau manque d'exactitude. La cellule cartilagineuse est composée dans son corps cellulaire et son noyau d'un liquide et de particules solides. Celles-ci jouissent de la propriété contractile. Les gros éléments solides visibles chez la grenouille et le triton nageant au milieu du liquide donnent un aspect réticulé par un phénomène optique parce que les granules semblent se tenir par leurs bords.

(2) Ch. Robin. Anatomie cellulaire, p. 373.



trois ou quatre cellules filles. Ces cellules filles peuvent à leur tour être logées dans des cavités particulières par suite du développement de nouvelles cloisons. A la suite de cette multiplication, soit de cellules, soit même de chondroplastes, la cellule cartilagineuse peut présenter toute espèce de forme, anguleuse, irrégulière, en forme de coques comme cela se voit à l'extrémité des chondroplastes. A l'intérieur de la cellule, on voit le noyau d'ovoïde devenir sphérique, le corps cellulaire devenir granuleux et sombre, ou bien transparent, ou encore contenir des gouttelettes graisseuses ou des gouttelettes à coloration différente et de nature inconnue. Enfin, la cellule peut disparaître et être remplacée par des granulations. Ce sont ces différentes modifications qui amènent, dans la vieillesse, les changements de couleur dont nous avons parlé plus haut. Il se dépose en outre, chez les adultes et les sujets âgés, une substance hyaline, finement grenue ou noire, par couches concentriques de 7 à 8 $\mu$  entre les cellules et la paroi des chondroplastes.

Cette enveloppe peut quelquefois englober plusieurs cellules; il ne faudrait pas croire à une génération endogène.

Dans les cas pathologiques, rachitisme, altération sénile du cartilage, ces chondroplastes sont ainsi tapissés par une couche de substance à surface plus ou moins régulière colorant fortement par le carmin.

Cette substance peut comprimer la cellule qui prend alors la forme étoilée, et s'il y a eu simultanément dépôt de substance calcaire, cet état peut simuler le tissu osseux; mais avec l'addition d'acide chlorhydrique ou azotique, on voit sous le microscope la substance cal-



caire faire effervescence (carbonates) ou se dissoudre (phosphates), et la cellule redevient évidente.

Les *fibro-cartilages* s'accroissent par multiplication des noyaux dans les cellules de cartilage et par augmentation du corps cellulaire et du tissu fibreux. Un cartilage intéressant à étudier à ce point de vue est le cartilage pubien pendant la grossesse.

*Propriétés chimiques des cartilages. Cartilagéine.* — La matière fondamentale du cartilage hyalin est spécialement formée chez l'adulte d'une substance à laquelle on a donné le nom de cartilagéine, donnant par sa coction dans l'eau à 120° de la chondrine.

La matière qui forme les capsules semble avoir la même composition que la substance fondamentale, mais elle résiste plus à l'action de l'eau.

On n'a jamais la cartilagéine pure. Pour la préparer on traite les cartilages articulaires réduits en pulpe, par de l'eau pure, de l'eau acidulée, de l'eau légèrement ammoniacale, après avoir desséché par un mélange d'alcool et d'éther. Voyez Gautier. Chimie.

*Propriétés.* — 1° Ne se gonfle pas dans l'eau.

2° Se gonfle à peine dans l'acide acétique.

3° N'est pas altérée par les acides, ni les bases étendus.

4° On a dit pourtant (Schultze), que l'action des acides ou alcalis longtemps prolongée donnait de la gélatine, mais la chose n'est pas certaine.

5° Chauffée pendant vingt-quatre heures dans l'eau bouillante ou pendant deux ou trois heures dans une

Rémy.

4



marmite de Papin, dans de l'eau à 120°, elle donne la chondrine découverte par J. Muller.

Morochowetz a écrit que la substance fondamentale est un mélange de tissu mucigène et collagène, que la chondrine n'existe pas, car pure elle est identique à la mucine (zur Histochemie der Bindegewebes Verhandl. der naturhistor. med. Vereins zu Heidelberg, Bd. I, Heft 5).

Il conclut de là que le cartilage hyalin est du tissu conjonctif, sauf l'absence de vaisseaux et une plus grande quantité de substance mucigène.

Nous n'avons que des connaissances incomplètes sur les changements chimiques qui correspondent aux modifications anatomiques par les progrès du développement.

Hoppe a écrit que la substance fondamentale du cartilage fœtal ne renferme au début ni chondrine ni substance collagène.

On peut prendre quelque idée des changements de composition par le tableau suivant. page 27.

Ces analyses n'ont porté que sur les cendres, mais elles montrent que :

Les phosphates de chaux et de magnésie et le sulfate de soude diminuent avec l'âge, tandis que le sulfate de chaux augmente.

La substance fondamentale du cartilage fibreux a la même composition que le tissu conjonctif des tendons. Celle du tissu réticulé est un mélange de cartilagine et d'osseine donnant à la fois par la coction de la chondrine et de la gélatine.



*Cendres des cartillages aux différents âges  
d'après Von Bibra.*

	SIX MOIS.	TROIS ANS.	FILLE 19 ANS.	FEMME 25 ANS.	HOMME 40 ANS.
Phosphate de chaux.....	20.86	21.33	5.36	6.33	13.09
Sulfate de chaux.....	50.68	48.68	92.41	87.3	79.03
Phosphate de magnésie...	9.88	8.88	0.99	4.10	3.78
Sulfate de soude.....	9.21	10.93	1.26	0.95	1.22
Phosphate de soude.....	Traces.	3	»	Traces.	0.93
Carbon. de soude.....	Traces.	Traces.	»	Traces.	Traces.
Chlorure de sodium.....	9.37	7.18	»	»	»
Charbon de chaux.....	»	»	»	»	»

**CARTILAGE D'OSSIFICATION 3<sup>e</sup> squelette.** — La genèse du cartilage n'est pas terminée lorsque débute celle de l'os. Le tissu cartilagineux n'est pas paru dans les extrémités des membres que déjà le tissu osseux forme la clavicule et le maxillaire inférieur.

La clavicule commence à s'ossifier à la fin du premier mois de la vie intra-utérine. Du trentième au quarantième jour naissent les points osseux de la mâchoire inférieure du corps de l'humérus, des os de l'avant-bras du fémur, du tibia (1), etc.

**Rôle commun du cartilage et de l'os.** — C'est par le progrès du dépôt osseux que sera constitué un troisième

(1) Sappey. Anatomie descriptive. Ostéologie, p. 106, 1867.



squelette, mais simultanément les deux tissus concourront à cette formation. Nous avons déjà signalé quelques-uns des cartilages hyalins et tous les fibro-cartilages comme prenant part à ce squelette définitif (V. page 20). Mais les cartilages d'ossification eux-mêmes ne seront pas remplacés en totalité par l'os, car ils contribueront à former sur les deux extrémités des os les cartilages articulaires.

*Le cartilage guide le dépôt osseux.* — Toujours la formation cartilagineuse précède celle de l'os; elle lui sert de guide, comme le cartilage de Meckel. Elle lui sert de modèle et de moule. C'est ce qui s'observe pour la généralité des os définitifs dont on peut reconnaître les formes dès l'état cartilagineux.

*Cartilage de Meckel.* — L'os peut se développer en contiguité seulement avec le cartilage dont il est tout à fait indépendant. Le cartilage de Meckel (1), est un exemple remarquable du rôle du tuteur et de soutien que remplit le cartilage envers l'os. L'ossification se forme en dehors du périchondre et du cartilage dans presque toute son étendue. C'est seulement aux deux extrémités que le cartilage est envahi par l'ossification suivant le procédé ordinaire. Néanmoins le cartilage de Meckel doit être rattaché aux cartilages d'ossification, car de même

(1) Ce cartilage a été l'objet de nombreux travaux de Meckel, Robin, Magitot, Semmer, Gegenbaur, Stieda, Masquelin, Kölliker. (Voyez leur analyse dans Julin. Archives de Van Benden, 1880.

Robin et Magitot. Mémoire sur un organe transitoire de la vie fœtale désigné sous le nom de cartilage de Meckel, annales des sciences naturelles, t. XVII.



que ces derniers, il disparaît lorsque l'os est formé et il sert à former des extrémités osseuses (symphyse du menton).

Dans la plupart des cartilages, l'ossification est en rapport direct avec le cartilage, sous le périchondre. Le cartilage sert alors de soutien et le périchondre de moule, mais à mesure que le dépôt osseux se fait, ce soutien ou ce guide se détruit, le moule persiste.

Le mode de disparition du cartilage complique beaucoup la description que l'on a à donner de l'ossification.

*D'autres tissus peuvent guider le dépôt osseux.* — D'autres tissus que le cartilage peuvent servir de guide pour l'ossification. Ainsi, c'est aux dépens des éléments embryonnaires du tissu lamineux situés autour du cartilage de Meckel, que se développera le maxillaire inférieur. C'est aux dépens du tissu fibreux, les enveloppes molles de l'encéphale que se déposeront les os du crâne et même si nous considérons seulement le développement des os dans leur ensemble, nous trouverons qu'à l'épiphyse c'est le cartilage qui guide le dépôt osseux tandis qu'à la diaphyse c'est le tissu fibreux du périoste. Pathologiquement, le tissu lamineux de la sclérotique peut guider le dépôt de lamelles osseuses. On en a trouvé dans les muscles, diverses régions du corps; enfin, dans la formation du cal, des tissus très divers peuvent concourir à guider le dépôt de la virole externe.

Nous reviendrons sur ces particularités à l'article ossification libre.

---



## CHAPITRE II.

### DE L'OS.

Rien n'est plus facile à exposer que la genèse de l'os. Mais il est très difficile d'exposer son développement, à cause de son rapport avec le cartilage et de la manière dont celui-ci se modifie. On verra combien l'ossification dans le tissu lamineux est simple, parce que ce dernier tissu se modifie peu.

La genèse de l'os est un phénomène de même ordre que celui du cartilage. Elle est marquée par l'apparition de deux éléments, l'un figuré, l'ostéoblaste qui deviendra la cellule osseuse; l'autre non figuré : la substance osseuse qui enveloppera le premier. Le périoste n'est qu'une enveloppe accessoire, si on ne lui rattache pas les ostéoblastes. Dans tout tissu qui engendre l'os on voit se produire des modifications préparatoires, modifications consistant dans l'accumulation d'une substance hyaline pour le tissu lamineux; et dans la calcification pour le cartilage.

L'étude de ces modifications constitue l'étude de l'ossification dans les divers tissus. Comme dans le cartilage, le premier début de l'os se fait en dehors des vaisseaux. C'est une loi qui se trouve constamment appliquée; l'organe apparaît avant le vaisseau. Ceci est vrai pour le cartilage, les poils, l'os. Après ces quelques modifications dans les tissus, siège du dépôt osseux, commence le dépôt des éléments de l'os.



Un premier point à déterminer est celui de savoir si la substance osseuse et la cellule se développent simultanément ou si l'une précède l'autre. D'après le professeur Robin, le dépôt de substance calcaire ne serait précédé que très peu par l'apparition des éléments figurés, j'incline au contraire, d'après les recherches que j'exposerai plus loin, à croire que l'élément figuré précède de beaucoup la formation de la substance osseuse.

*Ostéoblastes.* — Les éléments figurés dont l'apparition marque le début de l'ostéogénie sont des cellules ayant une apparence épithéliale possédant un noyau à nucléole et un corps cellulaire volumineux, polyédrique et chargé de granulations qui cachent le noyau.



FIG. 1. — Tirée du Traité d'anatomie générale de O. Cadiat. Ossification dans le tissu conjonctif, os pariétal d'embryon, a. a. ostéoblastes, b. b. c. ostéoblastes passant à l'état d'ostéoplastes, d. vaisseaux sanguins.

Ces éléments ont souvent des contours très irréguliers,



anguleux, et présentent quelquefois des prolongements qui rappellent ceux des cellules osseuses; ils ont un volume variable de  $7\mu$ . jusqu'à  $21\mu$ . Ils sont disposés en rangées dans lesquelles ils sont pressés les uns contre les autres comme des cellules épithéliales, sur une ou plusieurs couches. Le nombre de ces couches dépend de l'âge du sujet qu'on examine. Nous verrons ces éléments très nombreux au moment de la genèse de l'os, ne plus former qu'une couche incomplète quand l'os aura déjà subi un plus grand développement.

Ces cellules, aperçues par différents auteurs, Sharpey, Tomes, de Morgan, R. Maier, ont été étudiées, figurées et leurs propriétés ont été établies d'une manière complète par Gegendaur (1), dont le travail constitue le document le plus complet sur ces matières.

Pendant longtemps, la couche ostéoblastique avait été désignée par Ch. Robin sous le nom de cartilage d'envahissement.

Ce sont les ostéoblastes qui jouiront pendant toute la vie de la propriété de faire apparaître la substance osseuse. Ce sont les cellules ostéogènes d'Ollier, 1859, cette couche cellulaire, transplantée au milieu d'autres tissus s'y greffera et donnera lieu à des néoformations osseuses.

(1) Maier das Wachsthum der Knochen Freiburg 1855. Il les nommait épithélium des os.

Sharpey. Dans Quain's anatomy. 5<sup>e</sup> édition.

Tomes et de Morgan. Observation on the structure and development of Bones. Philos. Transact. 1853. Ils dérivent des cellules qu'on observe partout où l'os est en croissance, attachées à sa surface, rangées en files serrées. Ils proposent de les appeler osteal cells. Voyez les planches de leur mémoire.



Ces éléments qui sont (comme tous les éléments à forme cellulaire), doués d'une grande activité vitale, se reproduisent et peuvent donner naissance, lorsque leur reproduction est atypique, à des tumeurs osseuses comme celles qui ont été observées par le D<sup>r</sup> Bouveret (1).

Ces mêmes éléments sont destinés à former l'os qui se substituera au cartilage. En un mot, c'est un des faits que je m'efforce le plus de mettre en lumière dans ce travail, l'ostéoblaste joue un rôle extrêmement important dans l'ostéogénèse qui est toujours la même qu'elle soit libre ou enchondrale (2).

Les ostéoblastes, lors du développement actif des os, forment à leur surface une couche molle qui avait été confondue avec une espèce de cartilage. Examinés simplement dans la glycérine ces éléments deviennent confusément unis (3).

Avec le picro-carminate les ostéoblastes sont très fortement colorés dans leurs corps cellulaire et leur noyau est un peu obscurci (couleur brun foncé). La purpurine les délimite avec netteté.

La méthylaniline, l'hématoxyline ou le mélange des deux leur donne une coloration violette. La fuchsine

(1) Bouveret. Sur une tumeur osseuse, thèse de Paris, 1878.

(2) A. Busch. Ueber die Osteoblasten Theorie auf normalen und patholog Gebiete. Archiv. Anat. und Phys.. 1878, p. 333.

L'auteur se rattache à la théorie néoplastique ou génèse par l'ostéoblaste qui seule explique bien les faits. La production de noyaux osseux isolés (kystes dermoïdes de l'ovaire, faux du cerveau, septum des corps caverneux) s'explique par des germes fœtaux égarés (hétérotopie).

(3) Ch. Robin. Mém. Soc. biol., 1850 et Dict. des Dict. complément. ostéogénèse, 1849, avait appelé cette couche cartilage d'envahissement, c'est à une méthode insuffisante d'examen par la glycérine qu'est due cette confusion. Voyez Anat. et phys. cellul. p. 374 en note.



les colore en rouge violet. D'une manière générale, ces éléments sont toujours plus fortement colorés que les éléments cartilagineux, osseux et fibro-plastiques (1).

La substance osseuse dès son apparition serait hyaline, puis deviendrait opaque par le dépôt de granules calcaires, d'après M. Ch. Rolin.

Le début de l'ossification n'est donc qu'une calcification sans qu'il y ait encore de cellules osseuses. Mais partout où un point calcifié touche une anse vasculaire, on voit une rangée d'ostéoblastes qui vont se transformer.

Puis la calcification circonscrit et enveloppe progressivement ces éléments; c'est là ce qui caractérise l'ossification. Dès lors la substance calcifiée devient osseuse et les ostéoblastes deviennent les cellules osseuses placées dans les cavités nommées ostéoplastes. Une fois englobées, les cellules osseuses prennent la forme ramifiée caractéristique. L'ossification s'accompagne presque toujours du développement d'anses vasculaires, ce qui est à opposer au développement non vasculaire du cartilage.

Ces phénomènes de développement doivent être rapprochés de ceux de l'ivoire. La différence consiste en ce que la cellule de l'ivoire n'est pas englobée par la substance durcissante, mais les prolongements qu'elle émet forment les canalicules de l'ivoire.

*Substance.* — La substance osseuse est dure; elle se

(1) *Nota.* — Il est nécessaire de choisir une espèce animale favorable. Les fœtus d'homme, de chien, de mouton sont très favorables dans ce but de recherches. L'ostéoblaste du cochon d'Inde est petit et peu visible, celui de la poule tient le milieu entre ces deux variétés.



brise comme une substance minérale en donnant des cassures tout à fait irrégulières (aspérités et esquilles osseuses). On la reconnaît dans les tissus par le bruit qu'elle produit quand on le touche avec un métal. Cette substance ne possède qu'une faible élasticité. Elle a une densité très considérable et peut être étudiée en histologie telle quelle. Dans ce cas, on peut scier l'os frais, user la lamelle osseuse sur la pierre ponce, puis sur une pierre à repasser, jusqu'au moment où elle est devenue transparente,

La substance osseuse préparée par usure entre deux pierres ponces ou sur la pierre à rasoir, se présente comme une masse homogène, sillonnée de stries, et remplie de cavités noirâtres, ou ostéoplastes.

Elle est blanche en tranches minces, noirâtre sur des coupes plus épaisses qui arrêtent la lumière, et ne donne pas de réactions spéciales aux matières colorantes.

Cette première méthode ne permet pas d'étudier avec profit les rapports de la substance osseuse avec les éléments. Il est préférable de faire dissoudre la substance calcaire fixée à l'osséine, afin de pouvoir faire des tranches sur un os ayant une consistance molle.

Cette préparation, tout en conservant les rapports, altère quelquefois les éléments. L'acide chlorhydrique dilué a cet inconvénient. L'acide chromique et l'acide picrique décalcifient trop lentement. Il est préférable d'employer la préparation indiquée par M. Aguilhon (Société biol., 1879), par l'acide formique. On laisse décalcifier l'os pendant vingt-quatre ou quarante-huit heures dans une solution d'acide formique étendue d'eau; on le fait ensuite dégorger dans l'eau pendant quelque



temps, on le met pendant vingt-quatre heures dans une solution sirupeuse de gomme arabique, et on le fait durcir dans l'alcool.

La substance osseuse se présente alors sous forme de masse transparente, ayant un pouvoir réfringent particulier, différent de celui du cartilage.

Les bords de la substance osseuse sont nettement tranchés avec un contour où la lumière présente des phénomènes de biréfringence. La substance osseuse examinée avec le polarisateur du microscope ne présente rien de particulier.

Différents auteurs signalent l'aspect strié de la lamelle osseuse qui semble être dû à des pores osseux (Gegenbaur). Ranvier attribue même à une prévoyance particulière de la nature le creusement de ces petits canalicules qui, d'après lui, seraient des canalicules ostéoblastiques. La substance osseuse ne présente pas un aspect compact, elle peut être subdivisée en lamelles qui correspondent à une sorte de stratification de dépôts successifs.

Avec le picro carminate sa coloration est d'un rouge plus ou moins intense. L'acide chromique ou le bichromate de potasse employé pour la conservation des pièces ou leur décalcification donne une coloration verte qui altère habituellement la coloration du picrocarmin.

La fuchsine colore cette substance osseuse en rouge vif; la teinture d'iode en jaune, l'hématoxyline et le violet de méthylaniline mélangés en rouge violacé; cette coloration est surtout importante lorsque l'on a déjà coloré au carmin. Elle donne alors de très beaux



résultats qui permettent de reconnaître l'os du cartilage hyalin et du cartilage calcifié dont on retrouve quelquefois des fragments en un point éloigné du centre d'ossification.

*Propriétés chimiques* (1). — Chimiquement on constate que la substance osseuse est constituée par un principe albuminoïde particulier, l'osséine, qui retient une quantité considérable de sels calcaires.

L'une organique, osséine.....	30 à 40 0/0
L'autre minérale, terre osseuse.....	70 à 60 0/0

*Ostéine*. — Nom donné par Ch. Robin qui fut le premier à démontrer l'importance de cette recherche chimique pour le classement des tissus.

On l'obtient par dissolution des sels de chaux dans de l'acide chlorhydrique étendu au 10°, elle conserve la forme et la structure de l'os.

Insoluble dans l'eau froide ou chaude,

Soumise longtemps à l'action de l'eau bouillante, elle se dissout et forme de la gélatine soluble. Par la coction prolongée elle ne donne pas de glucose, elle est toujours la même pour l'os de l'animal jeune ou vieux, bien portant ou malade.

La matière des os offre une résistance à la putréfaction qui n'est dépassée que par celle de l'émail des dents.

(1) Gautier. Chimie appl. à la Phys.

(2) Dict de chimie, par Wurtz.

(2) Robin et Verdeil. — Chimie.



Des ossements de la période diluvienne contiennent encore de la gélatine non altérée. L'examen des dents et des ossements des périodes géologiques anciennes, de même que celle des l'égnites fournit la démonstration que la substance osseuse comme le cellulose des plantes était composée à cette époque comme elle l'est aujourd'hui. Recherches de Scheurer Kestner. Bull de la Société chimique.

*Composition chimique.* — L'osséine et la gélatine ont presque la même composition chimique; il faut aussi en rapprocher la géline.

Osséine. (Bibra).	{	C. 50.76
		H. 7.07
		AZ. 18.45
		O. 24.35
		S. 0,216

La *gélatine* qui dérive de l'osséine a à peu près la même composition, pourtant elle contient moins de S. se gonfle par eau froide.

Soluble par eau chaude.

Le tannin la précipite et forme un composé non putrescible. Elle est très digestible et se convertit en une peptone spéciale, la gélatine-peptone.

L'osséine est associée à la terre osseuse dans les proportions de 30 à 40 parties d'osséine pour 60 à 70 parties de matière minérale. On ne peut pas affirmer la combinaison chimique. Il y a entre l'osséine et les sels calcaires une sorte d'attraction élective telle qu'on ne parvient jamais à priver entièrement l'osséine de



tout son phosphate terreux et qu'il suffit de précipiter le phosphate acide de chaux par l'ammoniaque en présence de la gélatine pour que le phosphate tricalcique formé entraîne avec lui jusqu'à 20 0/0 de son poids de gélatine. Ce phénomène d'entraînement est tout à fait comparable à ce qui se passe lorsqu'une fibre animale fixe dans la teinture une matière colorante en vertu de l'*affinité capillaire*, comme s'exprime M. Chevreul. Cette comparaison avec la teinture est d'autant plus justifiée, que les expériences de Flourens nous ont appris que la matière osseuse offre précisément une grande attraction élective pour les matières colorantes de la garance.

Voici, d'après Frerichs, un tableau de la composition moyenne du tissu osseux :

	SUBSTANCES COMPACTES.	PARTIE SPONGIEUSE.
Osséine .....	31.5	38.2
Phosphate tribas. de chaux.....	58.7	50.2
Fluorure de calcium.....		
Phosphate tribas. de chaux.....	?	?
Carbonate de chaux.....	10.1	11.7
Sels minéraux solubles.....	?	?

On a constaté que l'on pouvait, par l'alimentation, substituer d'autres sels à une partie du phosphate tri-



basique de chaux (Roussin) (1). — Arséniate de chaux, (Papillon, (2), magnésie) strontiane et alumine).

*Périoste.* — La formation du périoste n'appartient pas, à proprement parler, à la genèse de l'os. Dans le cas d'ossification cartilagineuse c'est le périchondre qui fournit toujours l'enveloppe fibreuse, dans le cas d'ossification dans d'autres tissus, le périoste sert en quelque sorte d'enveloppe fibreuse ; aussi depuis longtemps les anatomistes et les chirurgiens ont-ils distingué deux couches dans le périoste dont l'une ne sert aucunement à l'ostéogenèse.

Dans le tissu lamineux le périoste est formé au début par un tissu très mou, composé de corps fibro-plastiques, formant une couche qui enveloppe la petite masse osseuse primitive. La face profonde du périoste est en rapport avec une ou plusieurs couches d'ostéoblastes ; sa face externe est en rapport avec différents tissus ; le périoste est traversé par des vaisseaux assez volumineux qui se subdivisent et forment un lacis capillaire à sa face profonde au contact des ostéoblastes.

*L'os ne dérive d'aucun autre tissu.*

Les ostéoblastes ne dérivent ni du tissu lamineux ni des cellules cartilagineuses. On ne peut voir ni les degrés intermédiaires de transformation des cellules du tissu lamineux ni la transformation des cellules cartila-

(1) Roussin. Journal de pharmacie, t. XLIII, p. 102.

(2) Académie des sciences, 10 février 1873. Recherches expérimentales sur les modifications de la composition immédiate des os. F. Papillon.



gineuses contrairement à ce que beaucoup d'auteurs ont prétendu (Voir la p. 60). Les cellules ont des réactions différentes avec les matières colorantes. Avec le picrocarmin les ostéoblastes se colorent fortement (corps cellulaire noyau;) au contraire, dans la cellule cartilagineuse le noyau est seul coloré et le corps cellulaire transparent et incolore. Le noyau du tissu conjonctif est très coloré pendant que le corps cellulaire reste pâle.

Avec l'hématoxyline les ostéoblastes se colorent plus vivement, avec des colorations successives par la fuchsine et le violet de méthylaniline, ces éléments tranchent sur tous les autres par leur coloration en violet foncé.

Avec le mélange de méthylaniline et d'hématoxyline les ostéoblastes sont colorés en violet foncé tandis que les noyaux des cellules cartilagineuses ont une coloration violet rouge.

La substance osseuse n'est pas le résultat d'une transformation de la substance cartilagineuse.

La substance osseuse doit être considérée comme un élément, nous ne défendons pas de nouveau cette opinion. Elle a l'appui de noms autorisés et nous pourrions répéter ici ce que nous avons écrit page 8. L'ostéoblaste ne sécrète pas l'osseine calcifiée, cependant il la précède toujours et l'ostéine s'en gendre en vertu d'une loi d'observation d'après laquelle l'apparition d'un élément provoque l'apparition d'un autre élément. Il est impossible par l'analyse chimique de confondre les deux substances fondamentales, le cartilage possède la cartilageine ou matière chondrogène, tandis qu'au contraire l'os renferme l'osseine qui entraîne le dépôt

Rémy.

6



de sels minéraux. L'osséine et la matière chondrogène ont des réactions tout à fait différentes en chimie, et sous l'influence des matières colorantes. Enfin les produits de transformation que l'on peut obtenir de ces deux substances, la gélatine et la chondrine, ne sont pas les mêmes soit que la substance osseuse se substituant à la substance du cartilage soit qu'elle envahisse le tissu lamineux ou fibreux.

*Différences physiques et chimiques des tissus cartilagineux et osseux*

Densité de l'os sec	1930-1990	
— spongieux	1240	perd 40 0/0 par dessiccation.
— compacte	1270	— 20 à 30 0/0
Il perd par la dessiccation		40 0/0
Densité du cartilage	1130	à 1160

La cartilagéine par coction dans l'eau à 120° donne la chondrine.

L'osséine par coction dans l'eau à 120° donne de la gélatine.

La chondrine est précipitée par les acides, le précipité est soluble ordinairement dans un excès de l'acide.

L'acide acétique ne dissout pas le précipité d'osséine.

L'acide sulfurique concentré dissout le chondrine, cette solution diluée et chauffée donne de la leucine mais pas de glycocole.

On a signalé, en outre, la production d'une glucose particulière ; cette soi-disant chondro-glucose réduit bien la liqueur de Fehling, mais n'est pas un principe défini ; elle est formée principalement d'un acide azoté



complexe qui cristallise et possède des propriétés réductrices (Piétri) (1).

La gélatine n'est pas précipitée par les acides (l'acide tannique seul la précipite). L'acide acétique et l'acide sulfurique la dissolvent à froid. Cette solution étendue d'eau et chauffée donne de la leucine et du glycolle.

La chondrine est précipitée par les sels d'aluminium, et l'acétate de plomb, les sulfates de fer et de cuivre.

La gélatine n'est pas précipitée par ces corps, mais prend par l'action du sulfate de cuivre une coloration violette.

La chondrine n'est pas précipitée par le chlorure de mercure.

La gélatine est précipitée par ce chlorure.

La gélatine a 3 Az. de plus et 13 Cl. de moins que la chondrine.

Le cartilage n'est pas coloré par l'acide chromique qui colore l'os en vert. Le picro-carminate colore peu ou pas la substance cartilagineuse; l'os est coloré en rouge clair. L'hématoxyline colore la substance cartilagineuse en bleu et donne à l'os une couleur violet rouge. Le mélange de violet de méthylaniline et d'hématoxyline seul ou appliqué après une coloration par le picro-carminate donne les meilleurs résultats. La substance cartilagineuse a une teinte bleuâtre et cette coloration bleue s'accroît et devient très sombre lorsque le cartilage est masqué par la calcification, tandis que l'os prend une coloration rouge violacé. Cette propriété qu'a la matière colorante sus-indiquée de colorer la

(1) Deutsche Chemische Gesellschaft, 1879.



substance cartilagineuse même calcifiée est d'une grande importance pour l'étude de l'ossification dans le cartilage.

*Lorsque le tissu osseux se développe, on voit se résorber dans la plupart des cas les tissus qui lui ont servi de guide.* Ce fait est vrai et cette destruction du tissu à mesure que s'avance l'ossification est surtout évidente pour le cartilage. Nous verrons, en effet, le cartilage avoir une évolution hâtive, les éléments de ce tissu mourir et être résorbés par un mécanisme particulier. Dans l'os il ne reste pas de trace de cartilage. Lorsque le tissu lamineux a servi de guide il paraît ne pas y avoir de destruction aussi complète. Dans l'ossification guidée par le périoste en particulier, on voit persister des filaments particuliers décrits par Sharpey et qui ont reçu le nom de fibres de Sharpey. Les modifications que produit dans les tissus la présence des éléments de l'os, c'est-à-dire le processus par lequel les éléments osseux sont guidés et par lequel les substances jouant le rôle de guide sont détruites consécutivement constituent l'étude de l'ossification.

### CHAPITRE III

#### OSSIFICATION ENCHONDRALE

*Modifications que subit le cartilage avant l'ossification.*

L'ossification se fait dans les cartilages avant l'apparition des vaisseaux ou après, de là deux formes.



Le cartilage hyalin d'ossification non vasculaire, avant d'être apte à diriger l'ossification doit subir quelques modifications. Le dépôt osseux ne se fait pas au niveau des parties en voie d'activité, mais au niveau de parties ayant déjà subi un certain développement. Le point où le cartilage se prépare à l'ossification n'est pas le même partout et il dépend en quelque sorte de la forme de l'os. Les cartilages d'ossification sont des cartilages hyalins enveloppés de périchondre sur une partie de leur surface offrant d'autre part un certain nombre de surfaces articulaires. Il faut distinguer le cas dans lequel l'os présente deux ou plusieurs articulations de celui dans lequel il n'a qu'une seule articulation. Avant la vascularisation sur un cartilage à deux articulations, on voit le tissu présenter des modifications suivant que l'on a affaire aux extrémités ou au corps du cartilage. Aux extrémités, les éléments se présentent avec les caractères que nous avons décrits dans la période de genèse, centre plus clair, périphérie plus sombre à cause du plus grand nombre de noyaux. On reconnaît déjà nettement l'épiphyse de la diaphyse, Ch. Robin. 1849. Dans la diaphyse la substance amorphe, les chondroplastes, les cellules et les noyaux se modifient à mesure qu'on s'éloigne des extrémités. La substance amorphe devient un peu plus abondante, elle forme des travées plus distinctes sans changer de réaction sous l'influence des matières colorantes, elle est creusée de cavités qui, grandissant de plus en plus, lui donnent ainsi un aspect réticulé. Ces cavités ou chondroplastes augmentent progressivement de capacité depuis les extrémités jusqu'à la partie centrale de la diaphyse. La cellule cartilagi-



neuse dont nous avons vu la naissance par un noyau ovoïde augmente aussi de volume et son corps cellulaire un peu granuleux d'abord, devient ensuite hyalin, comme vésiculeux, sans posséder jamais de parois épaisses ; les noyaux ovoïdes d'abord deviennent sphériques, puis très granuleux, puis très irréguliers. C'est surtout sur les cartilages destinés à l'ossification qu'on observe les formes irrégulières des chondroplastés qui ont été considérés comme caractéristiques de l'état fœtal et qui caractérisent seulement la phase de préparation du cartilage pour l'ossification. Il n'y a encore aucun vaisseau dans le cartilage. Néanmoins ce cartilage est prêt pour l'ossification.

Le corps de la diaphyse présente des conditions spéciales, l'activité vitale semble affaiblie, le développement des éléments anciens continue, mais non pas la reproduction de nouveaux. Cette partie est, en quelque sorte, arrêtée dans son accroissement. Au contraire, les extrémités articulaires ont continué à s'accroître, elles sont plus volumineuses, elle présentent les signes très évidents d'une plus grande activité vitale, caractérisée par la petitesse relative de leurs éléments, leur rapprochement, la moins grande épaisseur du péri-chondre. C'est dans la portion la moins active du cartilage que débutera l'os, par conséquent à égale distance des surfaces articulaires.

Dans les cartilages mono-articulaires, la partie non articulaire subit seule les modifications indiquées plus haut pour la diaphyse, c'est-à-dire se prépare à l'ossification. Le point d'ossification sera situé à l'extrémité



de l'os qui n'est pas articulaire et la coiffera comme un chapeau (1).

Ce mode d'ossification est d'autant plus remarquable qu'à côté se fait l'ossification des autres phalanges qui commencera sur le corps de la diaphyse. C'est par la face palmaire que débute l'ossification de la capsule osseuse car elle se développe davantage du côté de la pulpe du doigt.

Dans le cas où le cartilage n'est pas vasculaire il y a donc une première forme d'ossification qu'on peut bien observer sur la diaphyse d'un os comme l'humérus, le fémur, ossification particulière que nous pourrions appeler prévasculaire et ce processus, temporaire chez l'homme, est constant dans quelques vertèbres. Mais la totalité du cartilage ne sera pas transformée en os sans que les vaisseaux y pénètrent préalablement, et il y aura vascularisation des extrémités articulaires du cartilage, à l'exception de la couche voisine de l'articulation qui ne s'ossifie jamais; à cette variété de vascularisation du cartilage correspondent des modifications du cartilage que nous ne pourrions décrire qu'à l'ossification. Les vertèbres, quelques os du crâne comme les extrémités épiphysaires des os longs appartiennent à cette dernière variété d'ossification.

*Génèse des ostéoblastes sous le péri-chondre* — 1<sup>er</sup> phénomène. — La génèse de l'os, si nous considérons un

(1) Note sur l'ossification de la phalange unguéale chez l'homme et chez le singe par Louge et Mer. Gaz. méd., Paris 1875, p. 188.



cartilage non vasculaire tel que le fémur, ne commence qu'après la production de certaines modifications du cartilage dont nous avons donné la description plus haut; on voit le cartilage diaphysaire préparé se séparer d'une manière très nette du périchondre, auquel il était jusqu'alors accolé intimement. Les bords du cartilage sont limités nettement et on ne voit plus en ce point la disposition des chondroplastes qui s'observe aux deux extrémités. Le périchondre semble épaissi et décollé. Par l'apparition des ostéoblastes va se former le périoste. Nous sommes certains d'avoir vu se produire pour le fémur des oiseaux, l'humérus du mouton, le fémur et le radius de l'homme (embryon humain de 2 cent.), la modification que nous venons de décrire. D'après les pièces que nous avons pu examiner sur des séries d'embryon à des époques très rapprochées du développement, le dépôt de substance osseuse, et la calcification du cartilage sont précédés par la génération des ostéoblastes.

C'est la genèse des ostéoblastes qui décolle le périchondre. Ils se déposent à sa face profonde sur plusieurs couches et déterminent cette limitation exacte des bords du cartilage. C'est à cette époque qu'on voit bien qu'ils ne s'engendrent ni du cartilage ni du tissu embryoplastique. Ils possèdent dès leur naissance un corps cellulaire granuleux et fixent les matières colorantes d'une manière spéciale. Ainsi est formée sous le périchondre une couche molle qui représente la couche molle du périoste. Ce dépôt d'ostéoblastes précède de deux jours chez le poulet le dépôt de lamelle osseuse; c'est à partir du



moment où il débute que se fait la calcification du cartilage séparé du périchondre.

Nous retrouverons toujours les ostéoblastes précédant l'ossification et annonçant la calcification du cartilage. Nous avons constaté ce processus à plusieurs reprises, et dans le développement du cal nous avons été frappés de trouver une période où il n'y a que des ostéoblastes, sans travées osseuses.

Aussi croyons-nous qu'il était important d'insister sur ce fait que les ostéoblastes précèdent le dépôt osseux de plusieurs jours et que leur apparition coïncide avec l'apparition de la calcification du cartilage. C'est avec raison que M. Robin insistait sur le fait de l'apparition de la calcification du cartilage plusieurs jours avant que l'os se dépose.

*Modifications des cellules cartilagineuses et calcifications des travées.*— Sitôt que les ostéoplastes sont déposés à la périphérie du cartilage, on voit les chondroplastres devenir plus vastes. La substance intercellulaire cartilagineuse est en quelque sorte diminuée d'épaisseur. Elle donne à la coupe une figure réticulée, puis les cellules cartilagineuses deviennent plus volumineuses, leur corps cellulaire gonfle, devient comme vésiculeux hyalin. Le noyau cellulaire ne tarde pas à se modifier, il se déforme, devient anguleux, étoilé, il se résout en granulations qui ne fixent plus les matières colorantes. Bien loin de donner des signes d'activité vitale, de puissance reproductrice, de rajeunissement, la cellule cartilagineuse a l'air vieillie et épuisée. Jamais

Rémy.

7



nous n'avons vu rien qui puisse faire admettre que ces éléments engendrent des ostéoplastes.

A la même époque on voit les cloisons du cartilage envahies par le dépôt de granulations minérales, les cellules cartilagineuses se rident de plus en plus, en devenant étoilées; elles semblent étouffées par la substance calcaire granuleuse. On ne saurait trop insister sur la différence qui existe entre ce tissu calcifié et l'os. L'os n'apparaît qu'en suite, 7 ou 8 jours plus tard (Robin), 2 jours chez le poulet. On voit à la surface du cartilage apparaître, immédiatement appliquée à la couche profonde des ostéoblastes, une lame de substance homogène qui n'a d'abord que 2 ou 3  $\mu$  d'épaisseur. Cette matière donne les réactions de la substance osseuse que nous avons décrites plus haut, tandis qu'au contraire le cartilage calcifié donne les réactions du cartilage par le mélange de violet de méthylaniline et d'hématoxyline.

*Premier dépôt osseux.*— Il est périphérique et conoïde. La genèse de l'os commence alors à égale distance des extrémités de l'os dans la diaphyse. D'après le professeur Robin (1) le premier dépôt osseux correspondra au point où sera plus tard l'artère nourricière, ce point est superficiel situé à la périphérie du cartilage entre le périchondre et le cartilage.

Cet auteur démontre que l'ossification ne débute pas par le centre de l'os comme on l'admettait jusqu'alors,

(1) Note sur le point précis où se montre le premier point d'ossification des os longs.

Ch. Robin. 4864, Société de biologie in gazette méd. de Paris, 1866.



mais par la périphérie pour pénétrer ensuite dans l'épaisseur des tissus en produisant une sorte de petit cône. De ce centre s'irradieraient des lamelles divergentes jusque dans la profondeur. Pour nous, d'après une série de pièces (voir à ce sujet la planche I), nous croyons que la formation osseuse superficielle marche avec rapidité autour du cartilage et s'étale pour former un anneau ou une gaine osseuse, dans le centre duquel se voit pendant quelque temps le cartilage conservé. Néanmoins, simultanément se produirait la pénétration intérieure du cône osseux au niveau de l'artère nourricière.

*Formation d'une gaine osseuse.* — D'abord située entre les ostéoblastes et la surface du cartilage, la lamelle de substance osseuse ne tarde pas à circonscire des ostéoblastes et à les emprisonner. Pouchet et Tourneux, page 441, décrivent cette ossification sous le nom d'ossification périostique. (Voyez pl, I 436.)

Les ostéoblastes sont alors devenus cellules osseuses et la cavité creusée dans la substance osseuse s'appelle ostéoplaste. La cellule osseuse devient hérissée de pointes qui se ramifient. Le processus réduit à sa plus simple expression est celui que nous observerons toujours, toutes les fois qu'il se produira de l'os à l'état normal ou anormal. La lamelle osseuse primitive par addition de couches moyennes, atteint en moyenne une épaisseur de 30  $\mu$ . La première lamelle osseuse déposée forme un étui qui s'étend peu à peu vers les extrémités des os longs. La propagation des produits osseux se fait en



surface, le cartilage, bien que calcifié est encore intact et non vasculaire.

Les vaisseaux accompagnent néanmoins le dépôt osseux. Il se trouve des capillaires au milieu des ostéoblastes. Nous verrons tout à l'heure comment ils pénètrent dans l'intérieur du cartilage et comment cette pénétration est le signal de la destruction du cartilage calcifié.

Ainsi le cylindre cartilagineux est divisé en deux parties, un corps cartilagineux calcifié entouré d'une gaine osseuse et deux extrémités qui débordent l'os.

Lorsqu'il n'y a qu'une extrémité articulaire, l'os forme un capuchon qui grandit peu à peu et dont les bords laissent dépasser la tête articulaire.

*Ossification de quelques poissons.* — Cette forme d'ossification périphérique primitive (1) s'observe à la période embryonnaire chez les mammifères. (Nous avons coupé à ce dessein une série d'embryons de mouton) chez les oiseaux (embryons de poulet) et enfin elle s'observe aussi chez les poissons. Chez ces derniers le processus initial paraît même pour quelques os se continuer toute la vie, c'est-à-dire que, étant donné un premier cylindre cartilagineux, le cylindre est entouré par un étui osseux jusqu'à une faible distance des extrémités, le cylindre cartilagineux calcifié persistant. Puis les deux tissus s'accroissent simultanément. Le cartilage des extrémités s'allonge et se dilate, et cet allongement est

(1) Pouchet. Du développement du squelette des poissons osseux, 1875-1876. Journal de l'anatomie.



bientôt suivi du dépôt d'un nouvel étui osseux qui entoure le premier et le dépasse en longueur, de sorte que, par la continuation de ce processus, on trouve des os cartilagineux au centre et aux extrémités, osseux à la périphérie, le cartilage ayant tout à fait la forme d'un sablier.

Dans cette forme d'ossification le cartilage sert donc évidemment de soutien pour le dépôt primitif et de guide pour le dépôt consécutif d'os.

Ce cartilage ne devient jamais vasculaire. Le processus à déjà été indiqué par Dugès, en 1834.

*Batraciens.* — Chez les batraciens, la forme de l'ossification est d'abord identique. On retrouve l'étui osseux insérant le cartilage. Mais chez eux, bien que cette forme de la diaphyse persiste toujours, on voit les vaisseaux pénétrer dans le cartilage à travers le revêtement osseux, et une cavité médullaire est bientôt creusée dans le cartilage calcifié.

Chez les oiseaux et les mammifères la formation osseuse est compliquée par suite de la vascularisation du cartilage et de sa destruction, et le premier état est tout à fait transitoire, les premières formations osseuses étant peu à peu détruites pendant l'accroissement pour faire place à la cavité médullaire ; de nouvelles formations osseuses paraissant sous le périoste.

*Phénomènes consécutifs au dépôt de la première lamelle.* — 1° *Addition périostique.* — Pendant quel-



que temps, quelques jours chez les oiseaux, où les phénomènes se passent avec rapidité, on voit l'accroissement de l'os se faire sans destruction du cartilage aux dépens des ostéoblastes périphériques situés sous le périoste. Les ostéoblastes déposés à la face extérieure de l'os sont mis en rapport avec des vaisseaux autour desquels ils forment une sorte de gaine, puis une nouvelle lamelle osseuse se développe entre les ostéoblastes entourant le vaisseau et ceux en rapport avec le périoste; cette seconde lamelle limite avec la première une cavité très irrégulière qui représente un premier canal de Havers. Quelques lamelles se déposent ainsi successivement. Le dépôt se fait plus sur une des faces de l'os que sur l'autre, ce qui est en rapport avec le point osseux primitif. Le dépôt osseux dans l'intérieur du cartilage est bientôt favorisé par l'apparition des vaisseaux.

90. *Disparition du cartilage.* — Le cartilage qui, pendant ces premiers dépôts n'est pas encore vasculaire ne va pas tarder à disparaître. Ainsi disparaîtra le premier guide cartilagineux des dépôts osseux, mais nous verrons qu'il restera cependant, après destruction de la première partie calcifiée, une autre partie du cartilage qui ne se vascularisera pas non plus et qui guidera encore le dépôt osseux. Au point qui correspond au premier dépôt osseux on voit un des vaisseaux de la couche ostéoblastique traverser la lamelle la plus interne de l'os diaphysaire et se mettre en rapport avec le cartilage. Très rapidement, dans l'espace d'un jour pour le poulet, ce premier vaisseau qui représente l'artère de l'os



donne des bourgeons vasculaires en regard desquels se fond en quelque sorte le cartilage (1).

Il y a une sorte de résorption comparable à celle qui s'observe dans l'amaigrissement. Bientôt il ne reste au milieu des vaisseaux que quelques masses cartilagineuses calcifiées appliquées contre la première lamelle osseuse. Ces amas persistent quelque temps, puis sont résorbées à leur tour. Ainsi se forme un disque qui sépare le cartilage en deux ; lors de la formation de ce disque et par le progrès de la résorption on trouve bientôt vers les extrémités articulaires la destruction se limitant sur un plan perpendiculaire à la longueur de l'os, par une série de petites cavités plus ou moins irrégulières à chacune desquelles correspond une anse vasculaire.

Neumann a prétendu qu'il existait là un capillaire terminé en cæcum. Il est seul de son opinion.

Cette limite correspond à une zone plus ou moins épaisse de cartilage calcifié qui devra servir de guide à

(1) J. Muller a signalé l'influence des vaisseaux dans la résorption médullaire.

D'autres opinions ont été mises sur ce sujet. On a admis des éléments chargés de résorber l'os, cellules géantes les Allemands, qui ne sont que des myéloplaxes. Les ostéoblastes eux-mêmes ont été chargés de détruire le cartilage et même l'os. On leur a donné le nom d'ostéoclastes (Kolliker). Des pointes d'ivoire ayant été enfoncées dans un os vivant on a vu la surface des pointes érodées et dans les anfractuosités de l'ivoire après son arrachement on a découvert quelques ostéoblastes. Donc ils détruisaient l'ivoire.

D'autres font naître ces éléments par une migration de globules blancs, qui se souderaient pour former les myéloplaxes. Ziegler, central. Blatt. 1874. Cette théorie est par trop subtile et appuyée sur des arguments d'imagination.



l'ossification amenant l'accroissement des os en longueur. Au-dessus de cette zone est un cartilage spécial, celui de l'épiphyse.

La gaine osseuse dépasse le plan de destruction du cartilage, la zone cartilagineuse calcifiée et recouvre dans une certaine étendue l'extrémité articulaire. Sa lamelle terminale va en s'effilant, elle est précédée par une couche d'ostéoblastes.

Remarquons ici qu'avec le développement des vaisseaux coïncide la disparition du cartilage. Nous verrons d'un autre côté les vaisseaux servir à la nutrition du cartilage dans l'extrémité diaphysaire.

Les vaisseaux sont accompagnés par des noyaux et des cellules. Ces cellules sont les unes des ostéoblastes qui tapissent les lamelles osseuses et iront servir à l'ossification de la partie cartilagineuse calcifiée dont nous avons noté la persistance, les autres doivent être rapprochées des médullocelles et ne donnent pas les mêmes réactions colorantes que les ostéoblastes. On trouve encore les corps embryoplastiques et fibro-plastiques étoilés. Dans la clavicule d'un embryon humain de 2 centimètres il existait déjà des myéloplaxes allongées, irrégulières, contenant un grand nombre de noyaux.

Les vaisseaux ont d'abord la structure des capillaires ; ce sont des capillaires extrêmement dilatés remplis de globules du sang ; d'après quelques auteurs on pourrait suivre sur ces vaisseaux le processus du développement de nouveaux capillaires. Parallèlement à ces vaisseaux on voit des trainées de corps fusiformes qui pourraient être attribués à des nerfs en voie de développement.



mais on sait combien cette recherche est difficile et d'ailleurs l'étude de la moelle des os sort de notre sujet.

*Ossification simultanée sous le périoste et dans le cartilage.* — Par les progrès du développement se produisent sous le périoste de nouvelles lamelles osseuses englobant de nouveaux canaux de Havers, et simultanément la couche d'ostéoblastes dont nous avons vu l'émigration dans la cavité médullaire va se mettre en rapport avec le cartilage qui obture les extrémités du canal médullaire et servir à la génération de lamelles osseuses. Étudions par quel procédé.

Il nous faut encore commencer ici par décrire les modifications du cartilage, c'est là que réside toute la difficulté de la description, le dépôt de lamelles osseuses se faisant toujours par le même processus ostéoblastique. On remarque que ce cartilage, examiné de la cavité médullaire vers la diaphyse, présente une série de couches différentes par ordre de superposition. Une couche incrustée de sels calcaires, une couche où il y a des modifications spéciales des cellules cartilagineuses, une troisième qui peut être considérée comme un centre générateur, puis au-dessus une masse plus ou moins volumineuse de cartilage ayant les caractères et les propriétés du cartilage fœtal; cette dernière constituera l'épiphyse. Cette épiphyse ne tardera pas à être traversée par des vaisseaux, tandis que les couches cartilagineuses superposées dont il vient d'être question ne sont jamais vascularisées. Il en résulte une ossification particulière pour l'épiphyse.

Rémy.

8



La diaphyse ayant commencé par un cartilage non vasculaire se continue de même. Le cartilage de conjugaison n'est pas vasculaire. Ces deux portions de cartilage qu'on a dénommées la première, cartilage épiphysaire, et la seconde cartilage de conjugaison peuvent se distinguer à l'œil nu. On voit facilement les vaisseaux de l'épiphyse et on en remarque l'absence dans le cartilage de conjugaison. Egalemeut le cartilage épiphysaire à ses caractères habituels tandis que celui de conjugaison a pris un aspect soyeux, strié et une coloration jaunâtre.

L'aspect soyeux est dû à une évolution particulière des cellules cartilagineuses et à une disposition spéciale des chondroplastes. Les cellules cartilagineuses de la couche de génération se multiplient et donnent lieu à la naissance de familles dont les cellules se disposent en séries rectilignes se dirigeant vers la cavité médullaire. Ces cellules ne sont pas logées dans un seul chondroplaste allongé qui viendrait s'ouvrir dans la cavité médullaire, mais des cloisons secondaires séparent une série de nouveaux chondroplastes. Ces cloisons restent toujours très minces. Les cellules et les chondroplastes vont en augmentant de volume et de capacité à mesure qu'elles approchent de la cavité. Les cellules cartilagineuses, à la partie supérieure de ces chondroplastes, ont les caractères de l'état fœtal. Par suite de leur multiplication rapide, elles subissent une compression qui les aplatit. Ces cellules ainsi aplaties, étant coupées dans certains sens, donnent les cellules triangulaires qui ont été considérées comme caractérisant l'état fœtal. Les cellules, à mesure qu'on s'éloigne de leur point de dé-





FIG. 2. Tirée du Traité d'anatomie générale des Cadiat ; ossification dans le cartilage d'après une coupe longitudinale faite sur un embryon ; *a* cellule de cartilage en voie de développement ; *b* le chondroplaste a atteint son maximum de dilatation la cellule commence à s'atrophier ; *c* chondroplaste dont les parois sont amincies et sur le point d'être envahies par les vaisseaux et les ostéoblastes ; *d* dépôt calcaire se faisant entre les piles de chondroplastes (le dépôt granuleux n'est pas indiqué, n'ont plus que cette modification de la substance qui se révèle par sa coloration au carmin) ; *e*, vaisseaux sanguins ; *f*, ostéoblastes ; *g*, ostéoblastes de la couche sous-périostée (remontant plus haut que la lamelle osseuse) ; *h*, ostéoblastes passant à l'état d'ostéoblastes ; *i*, premier médullaire ; *k*, éléments du périoste.



part, tendent à reprendre leur forme sphérique. Elles sont logées dans des chondroplastes de plus en plus volumineux. Mais cet accroissement de volume des cellules ne paraît pas être en rapport avec une activité vitale nouvelle. La cellule paraît vésiculeuse ; le noyau se déforme. D'autres fois la cellule devient tout à fait granuleuse. Lorsqu'on poursuit ces cellules jusque dans les chondroplastes très dilatés qui touchent aux cavités médullaires, jamais on ne voit ces cellules se segmenter, multiplier ; elles ont plutôt l'air de cellules arrivées à leur développement ultime. En effet, ces cellules vont tomber dans les cavités médullaires et y disparaître.

Ces phénomènes de transformation des cellules et des chondroplastes sont la règle, de sorte qu'on peut voir un grand nombre de séries cellulaires semblables, disposées parallèlement. Ce phénomène a été désigné d'une façon pittoresque par Broca (1) du nom de rivulation.

Renaut (juillet 1878, Académie de médecine, Archives générales) adresse une note sur les groupes isogéniques des éléments cellulaires du cartilage (de la raie) ; il distingue les groupes coronaires et axiaux. De fait déjà connu précédemment. (Schwann, Kölliker, Ch. Robin, Reichert, 1846 ; Todd, Bowmann.)

Entre les cavités allongées ainsi formées, la substance cartilagineuse fournit des cloisons épaisses qui contrastent avec les minces cloisons de séparation des chondroplastes proliférés. Ces cloisons, sur des coupes intéressant toute la longueur de la série des chondroplastes

(1) Broca. Sur quelques points de l'anat. path. du Rachit, Bull. soc. anat. 1852;



en rivulation, se présentent sous forme de travées arrivant jusque dans la cavité médullaire, travées qu'on a appelées directrices et qui jouent en effet ce rôle. C'est autour d'elles que se fait le dépôt osseux, de même qu'il s'est fait autour du cylindre primitif. Ces travées cartilagineuses subissent, presque à partir du point où elles deviennent distinctes, des modifications de nature qui suivent. Il est une première transformation indiquée par la coloration au carmin que prend cette partie, à l'exception des autres ; une autre modification est due au dépôt de granules opaques qui sont considérés comme de la calcification. Ces granules s'étendent aussi aux cloisons transversales des chondroplastes. Un troisième phénomène, c'est l'apparition d'une couche de substance plus compacte qui forme sur chaque bord chondroplastique de la travée une aiguille remontant à la hauteur de cinq ou six chondroplastes. Quelquefois aussi cette substance envahit la cloison transversale. Cette nouvelle substance peut être confondue, à cause de ses propriétés optiques, avec la substance osseuse, mais elle s'en distingue par la réaction du violet de méthylaniline qui la colore en bleu cyanique, tandis que la substance osseuse est colorée en rouge violacé. Ainsi la calcification du cartilage étudiée en ce point se compose de trois stades : 1° à une grande distance des vaisseaux, modification chimique de la substance, mais non morphologique ; 2° modification morphologique, consistant en dépôt de granules, et 3° dépôt d'une masse compacte. Le troisième stade n'est pas encore de l'ossification, mais il peut être facilement confondu avec elle. Voyez la fig. 2, page 59 et la planche 1.



*Calcification spéciale de la clavicule.*

La clavicule (1) commence par un point cartilagineux et se développe par la loi unique de l'ostéogénèse, aux dépens des ostéoblastes. Mais dans ce cas, en raison de la rapidité du développement de l'os, il y a une modification spéciale dans la calcification qui fait que les transformations du cartilage, au lieu de suivre les trois stades réguliers, passe d'emblée aux dépôts d'une masse compacte. La clavicule paraît alors formée par l'ossification des chondroplastes, mais il n'en est rien; le dépôt osseux commence par la périphérie, aux dépens des ostéoblastes; et le cartilage calcifié disparaît par vascularisation et production d'espaces médullaires, suivant le processus indiqué plus haut. Remarquons pour la deuxième fois qu'on trouve des myéloplaxes dans ces cavités médullaires primitives. Quelques autres points osseux se développant rapidement dans le cartilage, tels que l'épine de l'omoplate, des points cartilagineux du maxillaire développés en dehors du cartilage de Meckel, etc., présentent ce même mode de calcification qui peut être pris pour de l'ossification.

(1) Studien über die Entwicklung der Knochen u. d. Knochengewebes. L. Stieda Arch. f. mikr. anat. 1855, p. 235. L'auteur contrôle et rejette les assertions de Strelzoff relatives à une ossification métatypique de l'épine de l'omoplate et du maxillaire inférieur. Quand à l'épine et au corps de l'omoplate, elles s'ossifient absolument comme les os longs. Ses recherches ont été faites sur des embryons de chat, souris, lapin porc.

Voyez Kölliker. Eléments d'histologie, 1872, p. 292, et rapprochez de cette opinion sur la clavicule celle de Strelzoff. Ueber die Histogenese der Knochen aus dem Path. Institut zu Zurich 1873 Bd.



*Destinée des cloisons des chondroplastes et des cellules cartilagineuses.*

Les chondroplastes dont la cavité est la plus grande et où la cellule cartilagineuse est la plus altérée sont ceux qui touchent aux vaisseaux que nous avons vus accompagner la destruction du premier cartilage calcifié. Ces vaisseaux suivent, en effet, les cavités des chondroplastes et s'enfoncent dans les conduits ainsi créés. La cellule cartilagineuse tombe dans la cavité médullaire; sa destinée a été le sujet de nombreux travaux; nous acceptons l'opinion d'après laquelle elle se détruirait. Cette opinion est d'ailleurs en rapport avec les données générales sur l'évolution des cellules. On ne voit jamais les cellules ayant subi une série de modifications dans leur développement prendre tout à coup la propriété de reproduction. C'est à une période voisine de leur genèse, dans leur jeunesse, qu'elles jouissent de la propriété de se reproduire. Ainsi sont les épithéliums, les éléments du tissu lamineux, etc. Du reste, nous n'avons jamais vu ces cellules présenter la segmentation que leur attribuent quelques auteurs.

Quelques auteurs prétendent que la cellule de cartilage s'altère très facilement et que l'état que je viens de décrire est une altération cadavérique. Des travaux de Schleicher (déjà cité, p. 15) montrent que les acides chromique et picrique n'altèrent pas les cellules. J'ajouterai qu'il en est de même de la macération bien dirigée dans l'acide formique.



Neumann (1) a signalé, à propos de l'ossification aux dépens du cartilage de conjugaison, un fait curieux, mais que nous n'avons pas pu vérifier. Avec la teinture d'iode iodurée, il constate que les cellules cartilagineuses des chondroplastes en rivulation sont colorés en brun foncé. Il suppose qu'elles renferment du glycogène. Il s'est assuré que ces cellules n'existaient plus dans les cavités médullaires.

Les travées persistent en raison de leur épaisseur pendant un certain temps; elles forment des espèces de tubes dont les parois se double d'une mince lamelle osseuse qui ne tarde pas à englober les ostéoblastes. Pendant quelque temps, la substance cartilagineuse peut être retrouvée entre les tubes osseux ainsi formés; ainsi que des chondroplastes calcifiés, puis cette substance disparaît par un processus inconnu.

Sur une coupe perpendiculaire à la longueur de l'os et portant en ces points, l'os paraît alors formé par une lamelle continue périphérique; c'est le dépôt périostique primitif dont l'extension est proportionnelle au développement du cartilage; et, au centre, on trouve une série de tubes parallèles dus à la direction particulière qu'imprime le cartilage au dépôt de l'os.

La genèse de l'os ne diffère donc pas dans ce cas du processus habituel; elle a seulement subi quelques modifications par le fait du cartilage. L'activité de la couche cartilagineuse de ce point est considérable; c'est

(1) Die Iod. Reaction der Knorpel und Chordazellen. Archiv. f. micros. anat. Bd XIV, p. 54, 1877.



elle qui prend la plus grande part à l'accroissement des os en long; son importance a été mise en lumière par tous les chirurgiens. Détruisez-la, le développement des os en long s'arrête; augmentez son activité, le développement en longueur se fait plus vite. L'influence de cette couche sur la direction des travées osseuses a été bien mise en lumière par les travaux d'Ogston (1), qui a montré que sur l'os adulte on pouvait reconnaître les os périostiques des os guidés par le cartilage, en examinant la direction des canaux de Havers. Les canaux de Havers, développés aux dépens du cartilage de conjugaison, sont perpendiculaires à la surface articulaire, les canaux de la diaphyse étant, au contraire, parallèles à cette surface.

*Ossifications des épiphyses et des cartilages vasculaires.* — L'ossification commence à une époque tardive dans les épiphyses, alors que la diaphyse a une épaisseur osseuse considérable. On en trouve des exemples dans l'ossification de l'extrémité inférieure du fémur, dont le point osseux paraît vers la naissance, et dans l'extrémité interne de la clavicule qui ne présente un point osseux que vers 20 ans.

L'état osseux sous ce rapport diffère beaucoup de l'état cartilagineux, comme le remarque Sappey (Anatomie descriptive p. 106 et 107) la genèse du cartilage est rapide presque simultanée en tous les points du corps; la genèse osseuse, au contraire, est très lente et elle n'est soumise à aucune loi, bien que plusieurs auteurs, (Serres), aient

(1) Ogston. 1875 Journal of Anatomy and Phys.



cherché à établir une loi qui préside à l'ordre d'apparition des points osseux.

Un certain temps après que la diaphyse a subi les deux premiers modes d'ossification, on voit au-dessus du cartilage de conjugaison le cartilage de l'épiphyse dont nous avons parlé, page 20, être pénétré par des vaisseaux; dans quelques cartilages qui doivent être rapprochés des épiphyses à cause de leur mode d'ossification, on voit de même naître les vaisseaux. Ce fait s'observe dans le cartilage des vertèbres. Le processus de vascularisation sera le même dans les deux cas (1).

*Dans ces cartilages le point d'ossification est central (1). On pourrait jusqu'à un certain point rapprocher ce mode d'ossification de celui de la diaphyse, si l'on considère que dans les deux cas le cartilage envahi primitivement par l'ossification est celui dont le développement est le plus avancé. En effet, la vascularisation du cartilage se fait par pénétration des vaisseaux naissant du périchondre. Le point central est donc le moins vasculaire et de plus le développement de ce cartilage se fait excentriquement : ayant débuté par le centre, il se développe par la périphérie. Cette opinion n'est pas soutenue par des faits précis, elle n'a que la valeur d'une hypothèse; quoi qu'il en soit nous voyons que dans ce cartilage il y a des modifications qui sont destinées à diriger le développement de l'os, et que l'os une fois né au centre de l'épiphyse s'y développe par le*

(1) Ch. Robin 1837. Cartilage, dictionnaire des sciences encyclopédiques 18:1.



*processus habituel à la genèse osseuse, c'est-à-dire par la multiplication des ostéoblastes.* Nous n'avons donc qu'à étudier les modifications du cartilage. Les ostéoblastes qui pénètrent en ce point viennent d'un point de départ encore mal connu.

*Développement des vaisseaux.*— Sur les vertèbres (1) où ce développement a été bien étudié, on voit que le développement des vaisseaux commence par la partie postérieure des corps vertébraux. Les vaisseaux capillaires résorbent le tissu cartilagineux dans lequel ils s'enfoncent. Les vaisseaux du cartilage de l'épiphyse persistent très longtemps; on peut les voir jusqu'à quinze ou seize ans, ce qui est en rapport avec la soudure tardive de quelques-unes des épiphyses.

Ces vaisseaux sont accompagnés par une certaine quantité de cellules à propos desquelles on peut discuter l'existence de la moelle des cartilages. Quelques auteurs admettent que ces cellules sont des cellules cartilagineuses mises en liberté par l'ouverture des chondroplastes. Ch. Robin n'admet pas cette manière de voir.

*Disposition des cellules cartilagineuses.* — Les cellules cartilagineuses sont plus développées au centre qu'à la périphérie; le point qui est atteint par l'ossification présente la calcification des travées cartilagineuses et le développement des chondroplastes alignées; en série; mais ces séries disposées d'une manière radiale par rapport au centre de l'épiphyse sont plus difficiles à étudier que les séries

(1) Ch. Robin, mémoire sur le développement de vertèbres atlas et avis. — Journal de l'anat. 1864.



du cartilage de conjugaison. Ces séries ont pour point de départ les cellules situées sous le cartilage articulaire permanent, sous le périchondre, et enfin du côté de la diaphyse le centre générateur des éléments du cartilage de conjugaison, mais cette disposition est troublée par la présence des vaisseaux qui constituent chacun un centre de rivulation d'après quelques auteurs.

Lorsqu'après un certain temps de développement le centre qui est en rapport avec le cartilage de conjugaison cesse de fournir de nouvelles cellules, la jonction du noyau central de l'épiphyse avec l'ossification diaphysaire se produit et les deux points communiquent par l'intermédiaire de l'ouverture des chondroplastés séries; à ce moment cesse le développement en long à l'extrémité épiphysaire de l'os; la soudure a lieu. Latéralement le noyau osseux s'étend vers le périchondre où il rencontre la lamelle osseuse périphérique, du côté de l'articulation, l'ossification du cartilage n'a pas lieu.

*Cartilage articulaire* — Ce cartilage dans les articulations mobiles présente une texture qui rappelle celle que nous avons décrite pour la période embryonnaire. A la surface articulaire sont des chondroplastés aplatis, qui lui sont parallèles; au-dessous des chondroplastés sphériques plus volumineux, plus profondément enfin les chondroplastés ovoïdes à plusieurs cellules perpendiculaires à la surface articulaire, comme ceux qui ont servi au développement de l'os épiphysaire.

La substance cartilagineuse augmente de quantité en allant de la surface aux parties plus profondes.



*Ossification des points complémentaires.* — Dans cette ossification qui se passe aux dépens d'une saillie cartilagineuse, nous trouvons que l'ossification débute sous le périoste et que de là elle se dirige vers le corps de l'os dont elle est séparée par un cartilage de jonction et sur lequel on observe les phénomènes de rivulation, de calcification, et de résorption. (1)

(1) Kassowitz ueber periostale Knorpelbildung und Apophysenwachsthum, central Blatt, 1875.

Tout le monde sait que dans des conditions pathologiques le périoste peut produire du cartilage. Tel est le cal cartilagineux. Les cellules formatrices de la couche interne du périoste prennent la forme de cellules du cartilage tandis que la substance fondamentale d'abord fibrillaire devient peu à peu hyaline et se colore vivement par l'hématoxyline et le bleu d'aniline. Ce tissu se change ensuite strictement en véritable tissu osseux non lamellaire (ostéogénie métaplastique) par transformation chimique de la substance fondamentale et changement de forme des cellules du cartilage qui deviennent anguleuses. Dans les cavités médullaires limitées par ce tissu se produit plus tard de l'os médullaire de provenance ostéoblastique. Je n'ai pas pu observer dans le cal l'ouverture de capsules de cartilage agrandies et leur réplétion par le tissu ostéogène du dehors, ainsi que cela s'observe dans l'ossification enchondrale normale. Or, cette genèse du cartilage par le périoste est un fait habituel et normal pour toutes les apophyses appartenant à des os formés librement ou périostiquement et ne se développant pas comme une simple excroissance d'épiphyse cartilagineuse (comme le grand trochanter ou le tubercule des côtes). Le meilleur exemple est offert par la tubérosité du radius. Elle est d'abord cartilagineuse et produite en cet état par le périoste, le cartilage s'ossifie directement (ossification métaplastique) en presque totalité; ce n'est que la partie centrale qui s'ossifie par ostéoblastes. Même chose pour l'épine de l'omoplate, les apophyses sternale et acromiale de la clavicule; l'angle le condyle et l'apophyse coronoïde du maxillaire inférieur. L'exemple le plus frappant est fourni par le développement des cornes du chevreuil et du cerf. Ces données semblent militer en faveur de l'hypothèse qui accorde un rôle actif aux cellules du cartilage dans l'ossification enchondrale.

Il faut rapprocher de cette opinion celle de Kölleker (Histologie, 1872), qui admet que les ostéoblastes peuvent se transformer en cellules cartilagineuses.



#### CHAPITRE IV.

##### OSSIFICATION DANS LE TISSU FIBREUX.

Comme nous l'avons déjà dit pour la genèse de l'os, ce qui complique l'étude de l'ossification et la rend si difficile, c'est qu'on est obligé de tenir compte des modifications qui se passent dans les tissus qui servent de guide à la genèse osseuse. Quand ces modifications deviennent simples, rien n'est plus facile que d'exposer l'ossification. Il nous a fallu une longue description et de nombreux paragraphes pour tâcher d'indiquer les nombreuses modifications que le cartilage fait subir au dépôt osseux. Dans le tissu fibreux notre tâche sera bien raccourcie, mais il est un point de comparaison sur lequel notre attention doit être attirée, c'est que l'ossification guidée par le cartilage est régulière, tandis que celle guidée par les autres tissus sera irrégulière.

Lorsque l'os est précédé par un cartilage de même forme, il a une limitation bien définie et les anomalies, les irrégularités de développement sont rares. Si au contraire nous considérons l'os qui se développe librement sans avoir ce moule cartilagineux, nous voyons qu'il est fréquemment le siège d'erreurs de lieu et de forme. Les os wormiens qu'on rencontre parmi les animaux à température variable, comme chez les mammifères sont dus à ce mode de formation, c'est un point osseux égaré (Ch. Robin). Cette atypie est mise en évidence aussi par les cas où s'engendre l'os dans un cal,



dans une tumeur. C'est à la liberté de l'ossification en quelque sorte que sont dues toutes ces irrégularités dont les musées nous offrent des exemples.

*Ostéogénie d'envahissement.* — Cette ossification qui est l'ossification libre de J. Wolf (1) l'ossification néoplastique de Strefzoff (2), s'observe à la périphérie des os longs (*l'ossification périostique rentre dans cette catégorie*), elle s'observe dans quelques os qui sont en rapport médiatement avec le cartilage tels que le maxillaire inférieur. Elle forme enfin les os de la voûte du crâne (2), tandis que les os de la base du crâne sont formés aux dépens du cartilage. Elle sert donc à la fois à former le tissu des os longs et des os plats. L'ossification dermique des poissons s'y rattache.

*Modification du tissu fibreux.* — D'après Ch. Robin (Cours de 1880) le maxillaire supérieur se forme à un moment où il n'y a pas encore de fibres lamineuses au sein du tissu lamineux embryonnaire. Quand le tissu lamineux est formé, on voit la matière fondamentale fibrillaire devenir hyaline, et autour de ce point rayonner des prolongements aplatis, hyalins et rigides, puis cette couche devient opaque par le dépôt de granules calcaires et le long des fibres se déposent des cellules ou osteoblastes de Gegenbaur qui sont englobés bientôt par la substance osseuse.

(1) Ueber die Entwicklung des nicht präformirten Knochengewebes. C. Wolf. Centralblatt, 1835, page 307.

(2) D'après Ch. Robin. Les cornes de cerf ne sont que des excroissances osseuses développées par ce mode d'ossification.



*Dépôt des ostéoblastes.* — Les modifications préparatoires du tissu lamineux sont beaucoup moins importantes que celles du tissu cartilagineux ; elles consistent dans une sorte de substitution calcaire, avec apparence hyaline d'abord, obscure ensuite ; les fibres lamineuses ainsi durcies et transformées servent de guide aux dépôts ostéoblastiques. Ces fibres ne disparaissent pas en totalité, on les retrouve chez l'adulte entre les lamelles osseuses à l'aide de certaines préparations. (Fibres de Sharpey.) (1)

Des aiguilles osseuses et des lamelles sont ainsi formées, autour desquelles sont disposés les ostéoblastes. Ces aiguilles et ces lamelles en se développant circonscrivent des cavités contenant des vaisseaux ; ce sont les premiers canaux de Havers. Les vaisseaux se développent alors proportionnellement au tissu osseux et ainsi de suite se produisent des lamelles osseuses.

Dans l'ossification des *os plats*, le point osseux primitif débute par le centre et de ce point partent des rayons divergents qu'on peut bien étudier sur le développement des pariétaux. La première lamelle osseuse est mince et représente un réseau de lamelles disposées sur un seul plan. On trouve toujours à la limite de ces os une couche abondante d'ostéoblastes ; c'est cette couche que Ch. Robin a vue depuis longtemps, mais que par l'insuffisance des moyens d'exploration, il avait

(1) Renaut. Gazette médicale de 1885. Note sur le tissu élastique des os. Dans les os longs d'oiseau on trouve à la fois des fibres de Sharpey et des fibres élastiques. Donc il y a deux sortes de fibres de Sharpey et il part de là pour trouver que tous ces tissus peuvent se substituer.



confondue avec du cartilage et désignée sous le nom de cartilage d'envahissement.

Les os développés par ce mode d'ossification ne présentent pas de cartilage articulaire (Suture lambdoïde). Ces os sont remarquables par la présence des os wormiens, dont nous avons signalé plus haut l'origine et la cause. Lorsque des os développés par ce mode d'ossification ont des extrémités articulaires on voit se former tardivement des noyaux de cartilage. Dans le *maxillaire inférieur* qui présente des surfaces articulaires, on voit la symphyse du menton se développer aux dépens du cartilage de Meckel (Ch. Robin et Magitot), mais à l'extrémité condylienne se montre un point cartilagineux de développement spécial. Ces faits sont à rapprocher des cas de genèse tardive de cartilage, signalés par Kassowitz. (Nous donnons ci-dessous un extrait de Stieda qui résume les opinions actuelles sur le sujet du maxillaire inférieur (1).

(1). Masquelin. Maxillaire inférieur de l'homme. Bulletin de l'Académie royale de Belgique, 1878. Julin, ossification du maxillaire inférieur, Archives de Van Beneden, 1880, résume toute la bibliographie à ce sujet.

D'après Stieda loco citato : I. le maxillaire osseux naît indépendamment du cartilage de Meckel dans le tissu conjonctif. Là où les deux organes se rencontrent le tissu cartilagineux disparaît par atrophie. Le tissu osseux apparaît sous forme de deux lamelles : 1° une lamelle verticale ou latérale ; 2° une lamelle médiane apparaît entre le premier et le cartilage de Meckel et provoque l'atrophie de ce dernier. Les deux lamelles se confondent par leur bord inférieur en une gouttière dans laquelle pénètrent ensuite les germes dentaires. La lamelle latérale forme l'angle du maxillaire et les deux apophyses dirigées en haut.

Outre le cartilage de Meckel qui s'atrophie, on voit apparaître durant la formation du maxillaire inférieur des noyaux cartilagineux indépendants ou accessoires ; un noyau se voit dans l'apophyse articulaire, dans l'angle de la mâchoire, dans la partie antérieure des proces-

Rémy.

10



Les faits tardifs du développement cartilagineux sur un os formé dans du tissu lamineux, sont à rapprocher des cas de productions cartilagineuses accidentelles dans le cal et les exostoses sous-unguéales.

L'ossification libre ne produit pas toujours des os plats, en outre sert au développement des os longs. L'*ossification périostique* n'est pas autre chose. (Voyez ce qui a été dit plus haut sur ce sujet.)

---

## CHAPITRE V.

### *Régénération du cartilage.*

La régénération du cartilage peut s'observer chez l'homme accidentellement. On voit assez régulièrement, dans le jeune âge, le cartilage se développer par génération nouvelle dans le cal des fractures. On voit aussi les surfaces cartilagineuses blessées se reproduire.

sur les alvéolaires de chaque côté. Des noyaux cartilagineux isolés se forment dans le tissu qui fournit les ostéoblastes.

III. Ces noyaux accessoires n'ont qu'une existence transitoire; ils s'atrophient devant le tissu osseux par le même mécanisme que le cartilage fœtal des os longs. Jamais ils ne se transforment directement en os.

Il n'est pas exact de parler d'un cartilage d'encroûtement sur le condyle.

La couche superficielle est formée par du tissu conjonctif fibrillaire avec ses éléments cartilagineux isolés qui ne donnent nullement l'aspect d'un fibro-cartilage. Cette couche conjonctive est séparée elle-même de l'os par une mince couche de cartilage. Il n'y a pas non plus de cartilage articulaire sur le ménisque ni sur l'apophyse transverse.



Les conditions de cette régénération ont été indiquées par Legros (1).

Cet anatomiste trop tôt enlevé à la science, expérimentant sur le cartilage hyalin et sur le fibro-cartilage (trachée du chien, oreille du lapin, cartilages articulaires), a observé la reproduction de ces tissus. Dans les cartilages articulaires, une condition essentielle pour cette reproduction est que la lésion qu'on produit expérimentalement porte sur la synoviale, sur le cartilage, sur l'os ou le périchondre.

Mais c'est surtout sur les animaux à température variable, dans la reproduction des membres amputés que la régénération du cartilage et de l'os présente de curieuses particularités. Dès le cinquième jour après l'amputation, on reconnaît près de l'os un cône de cartilage qui marche peu à peu jusqu'à l'extrémité du membre dont il semble diriger le développement. Le squelette cartilagineux est d'abord d'une seule pièce, les articulations ne se forment que progressivement, et, ce n'est que vers un mois et demi que l'ossification commence.

La régénération est en raison directe de l'activité nutritive chez ces animaux et ces nouvelles formations de tissu sont d'autant plus rapides, que la nutrition se fait plus activement.

Presque nulle en hiver, l'ossification est plus rapide

(1) Ch. Legros. De quelques régénérations anormales. Comptes rendus de la Société de biologie, 1867.

Broca. Bulletin de la Société anatomique, 1851.

Ollier. Traité de la régénération des os.

Redfern. On anormal nutrition in articular cartilage. Monthly journal of medical sciences.



au printemps et très prompte en été. Dans cette dernière saison il arrive quelquefois, que l'activité de nutrition est telle qu'il se forme un phlegmon. Dans ce cas la régénération se trouve complètement arrêtée. Enfin, Legros observa que la régénération n'avait pas lieu lorsqu'on faisait des sections longitudinales des membres.

Ces données sont appuyées par les travaux de Peyraud et de Hans Strasser (1).

Peyraud a constaté que le périchondre fait le cartilage comme le périoste l'os.

*Régénération du tissu osseux.*— Les premières données exactes sur la régénération des os sont dues à Duhamel (1), le même qui a si bien étudié leur accroissement.

Il sut démontrer que la couche molle du périoste était le point de départ de la régénération osseuse dans le cal; précédant Troja, Cruveilhier, Flourens, Ollier, de Lyon, dont les expériences n'ont fait que confirmer sa découverte et en déterminer les conditions plus précises, grâce aux progrès des moyens d'observation. Ce dernier auteur fit faire un pas considérable à la question, par la transplantation du périoste.

Cette question de la régénération du tissu osseux présentait plusieurs points à élucider. Quelle part prenaient l'os, c'est-à-dire la substance osseuse, le périoste, les

(1) Peyraud. Etudes expérimentales sur la régénération des tissus cartilagineux et osseux. Académie de médecine, 5 juillet 1877.

Hans Strasser. Zur Entwicklung der Extremitäten knorpel bei Salamandern und Tritonsen. Morpholog. Jahrbuch, p. 240, année 1879.

Duhamel. Mémoires à l'Académie de médecine de 1837 à 1857.



canaux de Havers, la moelle, les tissus périphériques ? Nous ne nous occuperons pas des théories agitées par les anciens, de l'influence du sang épanché, de la lymphe plastique, etc., qui ont préoccupé tous les esprits de cette époque, mais ne valent plus la peine d'être soulevées. Elles n'ont de point d'appui ni en physiologie, ni en anatomie. Nous citerons néanmoins l'opinion de Bichat, pour montrer de quel secours est dans l'interprétation des faits, l'usage des instruments.

Revenant à une ancienne idée de Bordenave, cet anatomiste qui s'est illustré à tant d'autres titres, n'avait pas de la régénération une idée aussi exacte que Duhamel ; d'après lui, le périoste aurait une certaine action, mais pas prédominante. Le cal serait une cicatrice produite par des bourgeons charnus, développés à la surface des deux fragments et allant à la rencontre l'un de l'autre. Une fois réunis les vaisseaux de nouvelle formation s'infiltreraient de sels calcaires et l'os serait régénéré.

Pour en revenir à Duhamel, ce dernier indiquait la marche suivante de la régénération. A la suite d'une tuméfaction considérable, le périoste s'interposerait entre les fragments, favoriserait la production de cartilage, et enfin, celle du tissu osseux. Le premier, il sut différencier deux couches dans le périoste : l'une, l'externe serait une membrane inerte ou de protection ; la couche interne serait seule active et cela par l'intermédiaire d'une substance interposée entre le périoste et l'os. Les couches osseuses se formeraient par l'organisation de cette partie profonde du périoste comme les couches concentriques du ligneux par l'organisation du cam-



bium. Malpighi avait déjà fait cette comparaison de l'accroissement des arbres et celui des os.

Dans ses recherches sur le rôle du périoste dans la formation de l'os, Ollier a observé que l'os pouvait être régénéré par cette membrane et il a attribué cette régénération à des éléments situés à la face interne du périoste, et contenu dans un blastème exsudé par celui-ci; condition expresse, car ce n'est pas le périoste lui-même qui devient osseux. Le cartilage qui se montre dans ce cas de régénération n'a rien de commun avec celui qu'on observe chez le fœtus dans l'ossification.

Les éléments du tissu osseux se forment par métamorphose des cellules et des noyaux provenant de la face interne du périoste. L'ossification se fait de l'os ancien vers les couches extérieures.

Cette couche profonde du périoste (couche ostéogène d'Ollier) qui reproduit l'os, c'est la couche d'ostéoblastes. On le voit s'épaissir, décoller le périoste à une grande hauteur au-dessus du trait de fracture, et ses éléments multiplier à la façon d'une couche épithéliale. Nous examinerons tout à l'heure par quel procédé se fait cette

(1) Ollier. Journal de physiologie 1859. Recherches expérimentales sur la production artificielle des os au moyen de la transformation du périoste et sur la régénération des os après les résections et les ablations complètes.

(1) Ollier, De la moelle des os et de son rôle dans l'ossification anormale et pathologique, Journal de la physiologie 1863. Du même, Nouvelles expériences sur la régénération des os. Régénération des os courts. Journal de la physiologie, 1862.

Traité expérimental et clinique de la régénération des os et de la production artificielle du tissu osseux.



ossification nouvelle dont nous trouvons déjà l'un des facteurs. La substance osseuse ne nous paraît subir que des modifications passives; pendant longtemps on ne remarque que le trait net de la cassure au milieu de substance osseuse de nouvelle formation. La substance nouvellement formée dans le cal n'est pas une extension de l'ancienne, car sur les animaux nourris avec la garantie avant la fracture la substance osseuse nouvelle n'est pas colorée. Elle diminue par résorption; les canaux de Havers se dilatent; dans leur intérieur se voient des ostéoblastes et en même temps on y trouve des myéloplaxes en nombre considérable. La substance osseuse devient peu à peu aussi spongieuse que l'os régénéré.

La moelle agit-elle dans la formation des os? (1).

Duhamel n'en parle pas. Michel Troja et Flourens lui attribuent un rôle semblable à celui du périoste. Ollier montra que les transplantations de moelle des os ne reproduisent pas l'os, mais que la dénudation de l'os, était suivie d'ossification dans le canal. Les expériences de Goujon sont en faveur du rôle actif. (Journ. d'anat., 1879.)

A l'aide du microscope, on voit la moelle cesser d'être graisseuse, les vaisseaux devenir plus apparents, s'entourer d'une gaine de corps fibro-plastiques, puis on trouve des trainées d'ostéoblastes, mêlées avec une grande quantité de myéloplaxes.

Les tissus environnant le périoste ne sont pas susceptibles de reproduire l'os lorsqu'ils sont transplantés;

(1) Demarquay. 26 décembre 1872. Bulletins de l'Académie de médecine dans les Archives générales de médecine, 1872.

Note de G. Félizet, 30 juin 1863, Académie de médecine dans Archives générales, 1873.



mais dans le cas de fracture ils concourent à la formation de la virole externe; il y a une formation exagérée de corps fusiformes, résorption des éléments musculaires et dissociation des éléments tendineux.

Le cal est formé par une virole interne et une virole externe; ces deux viroles bien décrites par Dupuytren sont constituées par les éléments fibro-plastiques que nous avons mentionnés tout à l'heure dans le périoste, dans la moelle et dans les tissus environnants; c'est le cal celluleux qui contient les ostéoblastes précédant ainsi le dépôt de substance osseuse, comme dans la période embryonnaire. Il se forme dans ce cal celluleux, dans les parties les plus éloignées de l'os, une genèse de cartilage, mais ces noyaux cartilagineux isolés ne constituent pas un agent indispensable de la formation du cal. Ils ne semblent exister, d'après les recherches de MM. Robin et Cadiat, que dans le jeune âge et pendant tout le temps de la période de développement des os. Il n'y a donc pas là une ossification enchondrale, mais une ossification libre. Du reste elle en a l'irrégularité, caractère sur lequel nous avons insisté.

Après l'apparition des ostéoblastes, se dépose la substance osseuse, et l'ossification se fait alors tout à fait selon les lois habituelles.

La régénération de la substance osseuse s'observe d'abord à la périphérie; ce n'est que plus tard qu'elle envahit la moelle de l'os; quant à la substance cartilagineuse, si elle existe, elle est toujours extérieure, en dehors de la zone des ostéoblastes, et surtout elle ne persiste que quelques jours. Lorsque les deux fragments sont très écartés; cette substance cartilagineuse offre un



caractère curieux; elle se présente sous forme d'un manchon qui coiffe les deux extrémités et les sépare. Nous avons pu vérifier ces faits grâce à l'obligeance de M. le Dr Quenu, chef de laboratoire d'histologie de Clamart, qui a mis à notre disposition une série de pièces résultats de ses expérimentations sur ce sujet (1).

(1) Hofmohl. Ueber Callusbildung, méd. Jahrb. 1874.

Le cal reproduit exactement la formation embryonnaire de l'os enchondral et périostal. [Au niveau de la cassure les cellules osseuses prolifèrent pour former des cellules médullaires.

---

## CHAPITRE VI

### ACCROISSEMENT DES OS.

L'accroissement des os se fait en longueur et en épaisseur. L'accroissement en épaisseur se fait pendant la période fœtale et la période de développement des os par addition de couches nouvelles de substance osseuse, disposée en lamelles laissant entre elles des cavités irrégulières. Ceci s'observe avec certitude sur les os d'embryons. Plus tard, sur l'adulte, ces phénomènes se compliquent et sont plus difficiles à démontrer à cause de la formation des canaux de Havers. Les lamelles se déposent à l'intérieur des canaux primitifs en les retrécissant (Tomes et de Morgan), tandis que de nouvelles couches se déposent sous le périoste. Alors la disposition des lamelles devient très compliquée.

On doit à Duhamel (1) une ingénieuse méthode de

(1) Duhamel. Mémoire à l'Académie des sciences 1742, page 109.

Rémy.



constatation des dépôts sous-périostiques. Il profita d'une observation de Belchier qui avait vu les os d'animaux devenir rouges après le mélange de garance dans leurs aliments. Il vit que sur des animaux nourris avec des aliments alternativement contenant de la garance ou n'en contenant pas, les os présentaient des zones concentriques rouges et blanches correspondant aux divers dépôts périostiques. [D'autre part il enroula autour des os en voie de développement des anneaux métalliques et vit ces anneaux peu à peu recouverts par de nouvelles couches osseuses, Hunter (1) confirma cette manière de voir ainsi que Flourens (2).

L'accroissement se fait donc de la périphérie au centre et aux dépens du périoste par les ostéoblastes de Gegenbaur. Cet accroissement est-il le seul? N'existe-t-il pas d'accroissement interstitiel? Duhamel et Havers l'avaient admis. Cette opinion fut combattue par Hunter et Flourens, mais la question ne paraît pas encore jugée. Il existe sur cette question une série de travaux récents

(1) Hunter. Œuvres complètes, traduc. Richelot, t. IV, page 411.

Brullé et Hugué. (Expériences sur le développement des os dans les mammifères et les oiseaux [nient l'importance de la garance]. Annales des sciences, nat. 1845 page 383.

(2) Flourens. Théorie expérimentale des os, 1847, page 23.

Wolff et Busch, discussion sur la valeur de l'alimentation par la garance pour reconnaître la formation de substance osseuse nouvelle confirment les résultats avec la garance.

Congrès de la Société allemande de chirurgie. Berlin klin. Wochens. n° 37 page 549, 10 septembre 1876.

Vulpian et Philippeaux renouvelèrent des expériences sur ce sujet. Kolliker s'appuie sur divers travaux allemands pour nier la certitude des résultats donnés par la garance.



contradictoires. Les uns Julius Wolff (1), Gudden (2), A. Mayer, Rüge, Kuhlman, Strelzoff (3), soutiennent tant par des recherches expérimentales que par des mensurations microscopiques l'expansion intertitielle. Leurs expériences consistent à enfoncer de fines tiges de métal dans une diaphyse en croissance et constater leur éloignement.

Julius Wolff prétend même que sur les préparations de Hunter, qu'il a vues au Muséum de Londres, il a constaté cet accroissement quoique les œuvres de Hunter disent le contraire. Des expériences faites sur le crâne par Gudden ont donné le même résultat. Ces expérimentateurs pensent que leurs contradicteurs Virchow (4) Wegner (5), Maas, Lieberkühn, Köl liker, Stieda, Schweiger, Seidel, etc. se sont servis de clous trop gros, condition défavorable pour une mensuration exacte. Ollier (6) a lui-même admis cet accroissement. Cette expansion a, du reste, une importance très-minime, car elle

(1) Julius Wolff. Ueber die Expansion des Knochengewebes, Berliner K. Wochenschrift, 1875.

(2) Gudden. Remarques sur le travail de Maas sur la régénération et l'accroissement des os. Archiv. für. klin. Chirurgie, vol. XXI. page 477.

(3) Strelzoff. Série de mémoires dont : Zur Frage über Wachstum der Knochen, Berliner klin. Wochenschrift 1875, page 469.

(4) Virchow Ueber die Bildung und Umbildung der Knochen gewebes Berlin Klin. Wochenschrift. 1875 et autres mémoires

(5) Wegner. De la croissance normale et pathologique des os longs. Arch. für Anat. und Phys. t. LXI. p. 44-76.

(6) Ollier Recherches expérimentales sur le mode d'accroissement des os. Archives de physiologie, 1873.

Ollier 22 août 1873. Association française pour l'avancement des sciences, session de Lyon.

Sur les moyens chirurgicaux pour activer l'accroissement des os chez l'homme.



ne produit que des changements de volume très-peu considérables.

L'accroissement en longueur se fait, pour les os longs, aux dépens du cartilage épiphysaire. Les expériences de Duhamel et de Hunter à l'aide de clous d'argent enfoncés l'un dans la diaphyse, l'autre dans l'épiphyse et dont ils mesuraient l'éloignement sont démonstratives. Ollier (1) en détruisant ce cartilage a arrêté l'accroissement en long, et il a pu favoriser l'accroissement des os en excitant la nutrition de ce centre générateur. Lorsque nous avons affaire à un os non préformé, l'accroissement se fait par la couche d'ostéoblastes qu'on appelait cartilages d'envahissement. Nous n'insisterons plus sur les irrégularités de ce développement.

Il faut pour l'accroissement en longueur admettre également pour une très faible part l'accroissement interstitiel.

*Influence de la nutrition sur le développement des os.*

— L'influence de la nutrition sur les os a été étudiée par Chossat qui a montré, en 1842, que l'introduction dans les aliments d'une certaine quantité de phosphate et de carbonate de chaux était nécessaire. En dehors de ces conditions le dépôt calcaire ne se faisait plus et il était même résorbé. L'os s'amincissait et devenait fragile. Milne Edwards démontra qu'il n'y avait pas de modification chimique de l'osséine et de sels calcaires.

Les troubles de nutrition produisant une perte considérable de phosphore détermineraient également une diminution de la solidité de l'os (Verneuil) (1).

(1) Gazette des hôp. 1879. p. 378 a insisté sur les rapports de la phos-



D'après les études de M. Sanson (1) sur l'élève du bétail, on obtient un dépôt plus abondant de sels calcaires par une alimentation très abondante et c'est à une soudure prématurée que l'on devrait la petite taille des animaux soumis à une alimentation trop riche en phosphates et calcaires. Les fémurs d'animaux précoces contiennent 67,7 de matière minérale (densité 1,34), le fémur des espèces ordinaires contenant 61,4 de matière minérale et ayant pour densité 1,27.

Enfin je dois signaler l'influence qu'exercent les nerfs sur la nutrition des os. Schiff, Mantegazza, Vulpian ont signalé des faits d'atrophie ou hypertrophie de ces organes dans des cas de sections ou de maladies nerveuses.

*Caractères différentiels du tissu à divers âges. —* Le tissu osseux embryonnaire est tout à fait spongieux. Les lamelles laissent entre elles des cavités très larges qui ne sont pas comparables aux canaux de Havers, bien qu'elles en soient les origines. Le tissu adulte est formé d'une portion compacte, périphérique et d'une portion spongieuse intérieure. Dans la vieillesse la quantité de tissu spongieux augmente. Les lamelles osseuses du fœtus sont moins épaisses que celles de l'adulte.

phaturie avec des lésions osseuses fait déjà signalé par Tessier de Lyon. Thèse d'agrégation en médecine 1878.

(1) Sanson. Influence du développement hâtif des os sur leur densité. Théorie physiologique sur la précocité. Anal. dans Gaz. méd. de Paris, 1870, p. 407.

Mémoire de l'Académie des sciences. Sur la théorie de l'achèvement hâtif des os. Ac. des sciences 9 octobre 1871.



Les ostéoplastes sont plus grands chez le fœtus et présentent moins de ramifications canaliculaires. Les ostéoplastes, d'après quelques auteurs, pourraient être atrophiés par la croissance de la substance osseuse. Les cellules osseuses sont faciles à voir chez le fœtus, grosses; elles paraissent diminuer de volume par les progrès de l'âge. Quelques auteurs, en particulier Klebs(1) prétendent qu'elles disparaissent, Klebs est convaincu que le contenu des ostéoplastes dans les vieux os est tout à fait gazeux. Il appuie son opinion sur l'apparence noire que les ostéoplastes présentent à la lumière transmise, sur des os examinés dans l'eau ou à l'état frais; 2° parce que au moyen de la pompe à air une grande quantité de gaz est obtenue des os, enfin parce que exposés à une solution de potasse dont l'effet est d'absorber l'acide carbonique, les corpuscules deviennent transparents. M. le professeur Tourneux (de Lille) nous a montré des ostéoplastes qui présentaient des vacuoles dans leur substance cellulaire. Est-ce le début de la résorption? Rappelons l'opinion émise par Ch. Robin en 1857.

Les ostéoblastes sont bien plus abondants dans la période de vie intra-utérine et d'enfance que plus tard, bien qu'ils persistent toujours. On trouve aussi des myéloplaxes, à tout âge, mélangés à ces ostéoblastes même sous la face profonde du périoste. La moelle des os subit ces modifications dont nous n'avons pas à nous occuper.

Il en est de même des vaisseaux et des nerfs qui se

(1) Centralbl. für medic Wissench. 1868 p. 61.



rencontrent dans la moelle des os et dont il n'y a rien de particulier à dire. Le périoste devient plus fibreux par le progrès de l'âge. Les myéloplaxes diminuent de nombre à sa face profonde, ainsi que les ostéoblastes.

*Différences chimiques.* — Deux opinions sont en présence : 1° Celle de Bichat appuyée par les travaux de Davy, Frerichs, Rees, Bibra. L'élément organique prédomine chez l'enfant et l'élément inorganique chez le vieillard.

2° Le tissu osseux est inaltérable, opinion de Stark, Lehmann, Frémy, Nelaton.

MM. Sappey et Nelaton après une série d'expériences sont arrivés aux conclusions suivantes :

1° L'élément organique diminue et l'élément minéral augmente à mesure que les os approchent du terme de leur développement.

2° Ces deux éléments ne présentent plus alors ni diminution ni augmentation, et restent longtemps unis dans la même proportion.

3° Dans l'extrême vieillesse, l'élément organique augmente et l'élément minéral diminue, d'où il suit qu'ils reviennent à la proportion qu'ils offraient au début de la vie.

Les analyses de Bibra portent trop exclusivement sur les matières minérales.

Celles de Rees (1) portent sur les deux. Voici la com-

(1) Rees cite par L'héritier. *Traité de chimie pathologique*, Paris 1853.



paraizon entre les os de fœtus et ceux de l'adulte qui résulte de ses analyses.

*Analyse de Rees.*

	MAT. ADULTE.	INORG. FŒTUS.	MAT. ADULTE.	ORG. FŒTUS.
Fémur.....	62.49	57.51	37.51	42.49
Tibia.....	60.01	56.52	39.99	43.48
Péroné.....	60.02	56	39.98	44
Humérus.....	63.02	58.08	36.98	42.92
Radius.....	60.50	56.50	39.49	43.50
Cubitus.....	60.50	57.49	39.50	42.51
Clavicule.....	57.52	56.75	42.48	43.25
Iliaque.....	58.79	58.50	41.21	41.50
Omoplate.....	54.51	56.60	45.19	48.40
Côtes.....	57.49	57.35	42.51	42.65

Il résulte de ce tableau :

1° Les os longs de l'adulte contiennent plus de matière inorganique que ceux du fœtus.

3° Les os plats de l'adulte ne diffèrent pas de composition d'avec ceux du fœtus.

Je joins ici quelques notes de Denis, éparses dans la préface de ces ouvrages.



*Analyse de Denis (1).*

	EAU.	GELATINE.	PHOSPHATE de chaux.	CARBONATE de chaux.
3 ans.	33.34	33.34	23.32	10
20 ans.	13	27.80	53	6
78 ans.	14.40	27.90	44.90	12.80

Bien que peu nombreuses, elles sont importantes parce qu'elles sont plus complètes, et tiennent compte de l'eau, la matière organique et des matières minérales; comme elles sont à l'appui, des analyses nombreuses, de Bibra et de Rees, je crois qu'on peut les donner comme une conclusion. Elles donnent des indications qui concordent avec les résultats de Sappey et Nélaton.

La dernière proposition de ces auteurs doit cependant être modifiée légèrement. Les matières organiques augmentent de nouveau dans la vieillesse. Les phosphates diminuent sans atteindre les proportions de l'enfance, mais les carbonates augmentent. La graisse, d'après Bibra va toujours en augmentant.

Lehmann (2), a donné à la suite d'une série de recherches les conclusions suivantes qui sont toujours confirmatives, de l'opinion de Bichat.

(1) Denis. Recherches sur le sang humain considéré à l'état sain. Commercy, 1830, p. 32.

(2) J. Lehmann. Ueber den Einfluss der Nahrung auf die Knochenbildung. Munchen, 1877.



1° Les os des membres sont plus riches en matières terreuses que ceux du tronc.

2° Le fémur et l'humérus en renferment plus que les autres os longs.

3° Les os courts contiennent plus de graisse que les os cylindriques.

4° Il n'y a aucune différence entre les os des deux sexes.

5° Les os des enfants renferment moins de principes minéraux que ceux des adultes.

6° Les os des vieillards renferment plus de principes minéraux que ceux des adultes.

7° L'âge n'a pas d'influence sur les matières grasses.

Il n'y a pas d'analyse faite sur les os de l'embryon, c'est-à-dire sur la première osséine calcifiée. Hoppe (1), a observé que les os d'un fœtus de lapin à terme ne donnent pas de gélatine par coction dans la marmite de Papin.

Mais il n'y a pas d'analyse de la période de début précis. Nous avons essayé si les matières colorantes dont l'emploi doit être ici considéré comme une réaction chimique, donnaient quelques renseignements. Nous n'avons rien trouvé. Peut-être est-ce par suite du peu de temps dont nous disposions.

(1) Archiv. für Path. anat. t. IV, p. 17.



## CHAPITRE VII.

### HISTORIQUE ET CRITIQUE.

J'ai cherché dans l'exposé qui précède, à résumer l'état des connaissances actuelles, sur le sujet qui m'était imposé par le concours. Il me reste maintenant à montrer les théories qui se sont succédé, afin de combattre les unes et de défendre les autres.

*Du cartilage.* — C'est à de Baer, dans Burdach Physiologie, 1838; à Rathke, Ueber die Entwicklungs geschichte der Schädels der Wirbelthiere, 4 Bericht über de Wissensch. Seminar zu Königsberg, 1839, que sont dues les premières données sur le développement des cartilages. Ils ont vu qu'il apparaissait primitivement dans les vertèbres. Quand la question du lieu d'apparition fut résolue, vint celle du mode. La théorie du blastème dans laquelle le noyau s'engendrerait fut émise; elle a été niée par Bischoff, (Développement de l'homme, 1839) qui n'a jamais pu voir la matière amorphe précédant les cellules dans les membres en voie de développement. Une autre théorie, comparant la cellule cartilagineuse à la cellule végétale, admit que la paroi cellulaire était sécrétée par la cellule, en vertu de l'axiome *omnis a cellula*. Schwann défendit cette opinion. Mikroskopische Untersuchungen. Berlin, 1838, p. 114, 115. Elle ne manque pas encore de partisans à cette époque.



Ceux qui croyaient que la cellule sécrète le cartilage comme ceux qui admettaient la production contraire des cellules, aux dépens du blastème préformé, professaient que le cartilage n'était qu'une forme d'os et faisant la confusion de tissus à la période embryonnaire ils décrivaient le tissu muqueux comme générateur du cartilage et le cartilage comme générateur de l'os. Bichat lui-même, page 87, édition de 1846, fait dériver le cartilage des parenchymes de nutrition. Ce fait est un exemple des plus beaux que l'on puisse citer en faveur de la loi de métamorphose des organes; dit Blandin, annotateur de Bichat, qui entraîné par cette conception philosophique, n'hésite pas à repousser l'ossification du crâne sans période cartilagineuse comme impossible (Bichat, loco cit.)

La genèse des éléments cellulaires du cartilage ne fut bien indiquée comme genèse spéciale que par Ch. Robin (1). Dans une série de travaux, il classa la substance amorphe cartilagineuse parmi les éléments non figurés, montra son indépendance vitale. Profitant de la découverte de la chondrine faite par J. Muller il insista sur la différence entre la chondrine; la gélatine, et la substance des cellules cartilagineuses, pour démontrer que le cartilage ne naît pas du tissu conjonctif et n'est pas sécrété par la cellule cartilagineuse. Les deux éléments naissent l'un après l'autre par

(1) Ch. Robin. Mémoire sur le développement des vertèbres. Journal d'anatomie et de physiologie, 1864.

Anatomie et physiologie cellulaires, 1873.

Mémoire sur l'évolution de la notocorde 1868. Art. Cartilage, Dictionnaire encyclopédique des sciences nat. Paris, 1871.



genèse. On les voit décoller les fibres musculaires striées appliquées à la gaine de la notocorde pour former la colonne vertébrale cartilagineuse primitive (batraciens poissons). L'élément figuré précède toujours l'autre.

R. Owen (1), Rathke (2), Kolliker, Bischoff faisaient développer les cartilages et les fibro-cartilages aux dépens de la notocorde. Robin démontra que la notocorde persistait indépendamment des fibro-cartilages intervertébraux.

Dès 1849, il indiquait en outre le rôle des cartilages dans la direction de l'ossification, montrant par comparaison l'irrégularité des dépôts osseux dans l'ostéogénie par envahissement. Il décrivait la précocité de formation des surfaces articulaires, indiquant qu'à peine formées, elles sont reconnaissables et ont leurs caractères définitifs. Il montra que, contrairement à l'opinion professée jusqu'alors. (voyez l'anatomie générale de Béclard (3), le cartilage se formait par masses continues dont la fragmentation a lieu consécutivement (4).

*De l'os.* — Les découvertes dans l'anatomie générale ne se font que par les progrès des diverses sciences dont elle est tributaire. L'hypothèse ne peut pas suppléer à l'observation et c'est le perfectionnement des moyens d'observation qui détermine le progrès dans les connaissances. Avant les instruments grossissants on ne pouvait

(1) Rowen. Ostéologie comparée. Paris 1855.

(2) Rathke. Dans physiologie de Burdach 1833.

(3) Béclard. Le système cartilagineux, thèse de concours 1849.

(4) Luschka fit connaître avec précision le développement des amphitrahroses. Die Halbgelenke der menschlichen Körpers 1858.



rien soupçonner sur la genèse de l'os ; aussi les conceptions des anciens sur ce sujet, qu'on trouve encore rééditées à propos de la formation du cal dans la plupart des écrits du commencement de ce siècle, paraissent-elles absolument le résultat d'une vive imagination. Une exacte observation des faits qui se passent dans les expériences dont on a déterminé à l'avance toutes les conditions peut néanmoins conduire à des découvertes sur l'accroissement des os, et le hasard servant à la sagacité d'un observateur le met en possession d'un moyen dont il tire d'excellents résultats. Je citerai pour exemple Duhamel qui d'une observation de la coloration des os par l'alimentation de la garance tira une méthode de recherches qui lui fit déterminer avec une précision qui nous étonne la succession des phénomènes de développement des os.

L'étude des phases successives par lesquelles passent les organes qui se développent a fourni et donne encore chaque jour des résultats précis et vraiment scientifiques. Pour le développement de l'os en particulier, les recherches embryogéniques en nous montrant les phénomènes dans leur simplicité primitive sont un objet d'étude des plus féconds. La comparaison des organes chez les divers animaux ne donne pas moins de résultats parce qu'elle permet de voir dans sa simplicité chez l'un ce qui était compliqué chez l'autre. La chimie analysant les substances que l'œil confond vient encore en aide à l'observateur. C'est le cas particulier de l'étude des os ; les chimistes savaient que l'ostéine découverte par Ch. Robin était différente de la cartilagine avant qu'on ait pu démontrer l'indépendance complète des deux tis-



sus osseux et cartilagineux. Il faut enfin tenir compte de la perfection des méthodes de conservation et de préparation des tissus : l'acide formique pour le tissu osseux permet d'enlever rapidement les substances calcaires sans altérer les éléments de l'os. L'usage des matières colorantes lorsqu'elles sont employées dans le but de faire reconnaître des modifications chimiques impossibles à déceler par d'autres procédés vient s'ajouter à la multiplicité des causes qui peuvent déterminer des progrès scientifiques. Mais ces moyens d'analyse, quelque perfectionnés qu'ils soient, ne suffisent pas, si celui qui les emploie n'a pour guide les lois générales qui président aux phénomènes vitaux. Ces lois qui sont les mêmes pour l'élément et le tissu que pour l'organisme entier qui en est composé, ont été bien mises en évidence par les travaux de Bichat sur les tissus ; chacun de ces tissus possède une vie particulière, il a des propriétés vitales individuelles, des propriétés physiques dues à sa texture. L'étude de l'influence des conditions mécaniques, physiques, chimiques, dans lesquelles s'exercent les propriétés vitales des éléments ne doit pas être négligée. Pourquoi une cellule végétale absorbera-t-elle un sel déterminé à l'exclusion des autres qui se trouvent placés autour d'elle.

Il y a certainement des conditions de forme ; le corps cellulaire, la paroi cellulaire, sont disposés de manière à se prêter à une osmose particulière (Gautier, *Revue scientifique* de 1874). Cette même cellule, subissant des modifications de température ou de pression, pourra avoir des propriétés un peu différentes ; ainsi on explique les modifications de coloration des fleurs de même espèce. Mais si nous trouvons que la forme influence la



propriété, nous ne devons pas admettre pour cela que toute analogie de forme corresponde à une analogie de propriété. C'est l'erreur dans laquelle sont tombés beaucoup d'anatomistes. Les phénomènes de nutrition dont je viens de parler pour la cellule sont influencés par la masse alimentaire en quelque sorte ; il y a là quelque chose d'analogue à ce qui se passe pour certaines réactions chimiques où la masse du réactif agit d'une manière particulière. La nutrition du tissu osseux est influencée par la quantité de substances minérales introduites dans la circulation. Les cellules animales sont soumises à des influences semblables ; mais aussi, de même que le milieu influence la cellule, la cellule, d'un autre côté, influence le milieu. Elles peuvent provoquer l'apparition de nouveaux corps dans ce milieu, soit par une sorte de sécrétion, soit par une action de présence, et cette influence de la vie d'une cellule se fait sentir non seulement sur les corps non organisés, mais aussi sur les éléments doués de vie. Les cellules produisent, par une sorte d'action de présence, la séparation de certaines substances chimiques qui sont toujours les mêmes (ferments figurés).

Mais de même qu'en chimie, un ferment ne produira pas l'apparition d'une autre substance que celle qu'il a la propriété de produire, de même, en physiologie, une substance ne pourra provoquer l'apparition d'un autre élément que celui qui l'accompagne d'habitude. Les influences extérieures pourront modifier dans certaines limites le phénomène ; peut-être se produirait-il une sélection spéciale qui modifiera le phénomène à la longue, mais jamais on ne verra subitement un élé-



ment perdre ses propriétés pour en prendre de nouvelles. Jamais non plus on ne verra un élément vieilli reprendre une activité de reproduction et renaître de ses cendres. C'est l'oubli ou l'ignorance de ces considérations générales qui entretient les erreurs et suscite tant de travaux qui ne reposent que sur des analogies de forme. Il faut aussi se défier de conclure d'un fait pathologique à un fait normal. C'est ainsi qu'on a pris un des phénomènes qui s'observent dans les chondroplastes, par un processus sénile, pour un phénomène de génération d'un nouveau tissu. Nous voyons, au contraire, que c'est toujours par un élément jeune que se fait le développement, et que les éléments séniles sont caducs.

La première théorie sur l'ostéogenèse peut se formuler ainsi : *Tout os provient d'un cartilage*. Les défenseurs de cette opinion sont extrêmement nombreux. Elle a été formulée par les premiers anatomistes qui se sont occupés de l'ostéogenèse : Grew, 1681; Havers, 1692; Nesbitt, 1753; Albinus (1). On en trouve encore des représentants de nos jours. Le Mémoire de Julin, en 1880 (loc. cit.), défend encore partiellement cette manière de voir.

Elle reposait sur l'analogie de forme qui existe entre

(1) Grew, 1681. English Academy.

Havers 1692. Osteologia Leipzig, 1692.

Nesbitt. Human osteogeny 1753 Altenburg.

Albinus. Adnot. anat. Lib VI et VII.

Weber. Meckels arch. 1827.

Miesher. De inflammatione ossium Berlin 1836.



la cellule cartilagineuse après calcification et l'ostéoblaste. Mais elle ne tenait compte ni d'embryogénie, ni de la chimie. Le développement des os non cartilagineux était complètement inconnu. Voici de quelle manière on décrivait la transformation du cartilage en os (1) :

Lorsque la cellule cartilagineuse s'était développée jusqu'à un point variable, elle était peu à peu comprimée par le dépôt calcaire dans la substance intercellulaire, puis ratatinée, et prenait la forme étoilée. Ainsi la cellule jouait un rôle passif. Mais bientôt, sous l'influence des doctrines cellulaires, on lui fit jouer un rôle actif. Les uns, admettant la théorie de la cellule végétale, supposaient un épaississement de la capsule qui se serait fait de telle façon, que de petits canalicules auraient été réservés. Pour d'autres, (Schwann) (2), la question d'apparence étoilée n'était pas un obstacle à la transformation de la cellule cartilagineuse ; il trouvait le fait tout naturel, en le comparant avec les cellules étoilées de la choroïde. Pour d'autres enfin, la cellule cartilagineuse se transformerait en cellule osseuse, en faisant de l'os aux dépens de son corps cellulaire (Meyer, 1841-1849) (3); le noyau seul aurait formé la cellule osseuse. On sait que, pendant un certain temps aussi,

(1) Gerber. Handbuch der allgemeinen Anatomie des Menschen, 1839.  
Bruns. Lehrbuch der allgemeinen Anatomie, Braunschweig 1841.  
Henle. Allgemeine Anatomie Leipzig 1841.  
Mandl. Manuel d'anatomie générale 1843.

Béclard. Anatomie générale 1852.

(2) Schwann. Microscopische Untersuchungen etc. Berlin, 1839.

(3) H. Meyer 1841-1849,

Meyer. Der Knorpel und seine Verknocherung *müller's Arch.* 1849, et  
ueber die Bedeutung der Knochenkörperchen 1841.



on a considéré la cellule osseuse comme une sorte de concrétion calcaire, avant qu'on eût démontré l'apparence noire de l'ostéoblaste (Serres et Doyère) et étudié la pénétration de l'air. Virchow démontra la cellule osseuse.

On sent dans ces opinions l'influence de la doctrine *omnis a cellula*, la grande préoccupation est d'expliquer comment la cellule se transforme. C'est là que tendent les efforts de Schwann, de Meyer, de Kolliker (1) et de Aeby (2). Mais les sujets d'étude ne sont pas toujours bien choisis. Kolliker basa sa théorie de l'ossification sur un cas de rachitisme (1849); il prit alors un phénomène de calcification proprement dite, une dégénérescence pour un phénomène normal. Lorsque, chez un rachitique, le cartilage de conjugaison a subi les modifications qui disposent ses chondroplastes en séries superposées et qui les préparent à être ouverts par les vaisseaux, si le cartilage continue à évoluer au lieu de céder la place aux vaisseaux et à l'ossification, on voit la cellule cartilagineuse s'entourer d'une sorte de substance particulière qui se dépose irrégulièrement dans l'intérieur des chondroplastes;

(1) Kolliker. Zur Verknocherung bei Rachitis. Mittheil der naturforsch. Gesellsch. zu Zurich 1849.

Allgemeine Betrachtungen über die Entstehung der knöchernen Schädel bei Wirbelthieren, Zootomische Anstalt zu Würzburg 1849.

Microscopische anatomie. Leipzig, 1850.

Eléments d'histologie. 1872, Paris.

(2) Aeby. Zeitschrift für rationnelle medicin, 1858, t. IV.

(2) Aeby s'appuie sur un point excessivement restreint, l'étude des symphyses du pubis pour édifier une théorie générale.



mais bien que la cellule cartilagineuse prenne des analogies de forme, elle ne devient jamais cellule osseuse ; ce n'est pas de l'os qui se trouve autour d'elle, comme on peut s'en assurer par les réactions colorantes. Du reste, c'est vraiment mal choisir un sujet d'ostéogenèse que de prendre un cas où il ne se forme pas d'os.

Quoi qu'il en soit, cette théorie de la transformation du cartilage fut acceptée par Gerlach, Leydig, Tomes de Morgan, Todd et Bowmann, Reichert, Schlossberger, Virchow, et elle est encore soutenue dans les écrits de Lieberkühn (Reichert's und Du Bois Reymond's Archiv., 1862, 1863, 1864 ; Strelzoff, Centralblatt, 1863 (pour l'épine de l'omoplate (1) ; Kolliker, Eléments d'Histologie, 1872 ; Masquelin, Académie de Belgique, 1878 ; Julin, Archives de Beneden, 1880, pour le maxillaire inférieur.

Tous les auteurs, depuis Schwann, admettaient que la cellule cartilagineuse sécrétait la substance fondamentale, que la substance cartilagineuse n'était qu'un durcissement de ce produit de sécrétion, et que le dépôt de substance calcaire se surajoutait simplement au dépôt de substance cartilagineuse sécrétée. A partir des travaux de Ch. Robin (1849) (2), qui s'appuyèrent sur la chimie, on

(1) Gegenhauer, Unters. z. Vergleichender, Anatomie des Wirbelthiere, 1865 (pour les clavicules de l'homme, les cornes du cerf).

Kolliker range Gegenhauer au nombre de ceux qui croient à l'ossification directe aux dépens du cartilage. Il le fait ainsi se démentir en 1865. Je me suis assuré qu'il n'en était rien.

(2) On trouve des renseignements à ce sujet dans Robin et Verdeil. Chimie biologique.

Ch. Robin. Gazette médicale de Paris, 1857 n° 14 et 16. Mémoires de la Soc. de biol., art. Ostéogénie du Dictionnaire des dictionnaires, 1849, Paris, 1850. page 119.

Tomes. Cyclopædia of anatomy, Osseous tissue.



connut que la substance cartilagineuse était remplacée par une autre substance particulière appartenant à l'os. L'ostéine (Ch. Robin) diffère de la cartilagine; elle diffère de la substance des cellules; donc elle ne peut pas être le résultat d'une transformation de la cartilagine par dépôt de sels phosphatés et calcaires; donc elle ne peut être un produit exsudé du corps des cellules. C'est à cette substitution d'un élément par un autre que Charles Robin donna le nom d'ossification par substitution. Il montra aussi que la substance cartilagineuse et osseuse, bien qu'amorphe, devait être considérée comme un élément doué de vie au même titre que la cellule; qu'il y avait là génération d'un tissu nouveau, *ostéogénèse par substitution*. L'apparition de cet élément non figuré étouffe la cellule et déforme le chondroplaste. Un premier pas fut donc fait dans la différenciation des tissus, puisque, sur deux éléments dont le tissu primitif se composait, un disparaissait. Ch. Rouget, 1856; G. Pouchet, 1864; Morel, 1864; Tomes et de Morgan, 1853, adoptèrent cette opinion. D'un autre côté un embryologiste s'apercevait de l'insuffisance, de la théorie ancienne. Bischoff, en 1843, dans son Développement de l'homme, s'écrit qu'il ne peut admettre tout ce qui a été fait avant lui; il ne voit pas la cellule cartilagineuse se transformer pour donner la cellule osseuse.

Tomes et de Morgan. Observat. on the structure and developpment of bone, Phil. transact. of the Royal Society, 1853, p. 109.

G. Pouchet Précis d'histologie humaine de 1864, Ch. Rouget, développement et structure du système osseux, Paris 1856.

Morel. Traité élémentaire d'histologie, Paris, 1864, p. 78.



« C'est pour ainsi dire, à la chimie, que sont dus les premiers progrès des connaissances sur l'ossification, c'est-à-dire la première preuve que l'os et le cartilage n'étaient pas le même tissu à deux phases différentes. »

Le premier axiome : « Tout cartilage provient d'un os » fut cependant contesté de très bonne heure. Coyter, Nesbitt, Duhamel savaient que l'os peut provenir d'un autre tissu que le cartilage et que les os de la voûte du crâne sont d'abord membraneux et non cartilagineux. Ce fait fut signalé ensuite par J. Müller pour le squelette des poissons. (Abhandl. der Berliner Academie, 1838) et fut établi grâce aux travaux de Sharpey, Tomes et de Morgan, 1853 ; Virchow, 1847 ; Kolliker, 1850. Alors furent divisés les os en primaires ou provenant d'un cartilage préformé, et secondaires, ou non développés aux dépens d'un cartilage préformé. Ch. Robin, Ch. Rouget, Pouchet, 1864, Morel, 1864, reconnurent également la nécessité d'admettre deux modes d'ossification : ossification par substitution (nous l'avons étudiée) et ossification par envahissement, dont nous allons parler.

Il y avait donc deux sortes d'os. Pour ceux qui ne reconnaissent pas aux tissus de propriétés spéciales, qui même ne reconnaissent pas de tissus, il était facile d'expliquer la genèse différente de ces deux os. Ils naissent tous les deux aux dépens des tissus de substance conjonctive, l'un avec transformation du cartilage, l'autre sans transformation, ossification directe et indirecte.

Virchow (1) fut le défenseur d'une première opinion :

(1) Virchow. Ossification directe du tissu conjonctif. Archiv. für path.



« L'os n'est formé par aucun tissu spécialement, il est formé par le tissu conjonctif dont les cellules étoilées sont englobées par la substance calcaire.

Il n'est vraiment pas possible de soutenir aujourd'hui cette théorie des tissus de substance conjonctive qui sont susceptibles de se remplacer. Il est aussi impossible à une cellule du tissu conjonctif de s'entourer de substance osseuse que de substance cartilagineuse. Il faut la présence d'un élément spécial, l'ostéoblaste. Mais, même en admettant l'ostéoblaste, cet auteur n'est pas amené à différencier les tissus dont il s'occupe, car il fait provenir les ostéoblastes, tantôt des cellules cartilagineuses, tantôt des cellules du tissu conjonctif.

Ch. Robin, d'un autre côté, poussé par la direction de ses travaux à faire engendrer le tissu osseux toujours aux dépens d'un même tissu, admit la théorie du cartilage d'envaïssement, basée sur une erreur d'interprétation due à l'insuffisance des moyens techniques de cette époque (1850). Ce dernier, remarquant que les os étaient toujours précédés par une couche molle dans laquelle il distinguait quelques noyaux au milieu d'une substance grenue donnant l'idée d'un cartilage à l'état embryonnaire, admit que cette couche molle était un cartilage spécial qui précédait l'ossification. Ce cartilage spécial n'était autre que la couche ostéoblastique.

En 1858, parut la théorie de Müller, qui marque une transition vers celle de Gegenbaur. H. Müller (1) admit

Anat. 1847, p. 135 et la pathologie cellulaire, les cellules du tissu conjonctif devenaient des cellules osseuses.

(1) Müller Ueber die Entwicklung der Knochensubstanz nebst Bemerkungen über der Bau der rachitischen Knochen.  
Zeitsch. f. wiss. zoolog. Bd IX. 1858 p. 145.



que la calcification du cartilage n'était qu'un fait provisoire. La cellule osseuse est formée d'emblée aux dépens de cellules particulières. Mais il confond la genèse de ces cellules avec celle d'éléments figurés du cartilage ou du tissu conjonctif. Baur (1) n'est pas plus explicite, mais un fait important est déjà signalé.

Il faut arriver jusqu'en 1864 à Gegenbaur (2) pour que la démonstration de la différence des tissus soit complète. Gegenbaur découvre qu'il existe des cellules spéciales qui sont appliquées sur la substance osseuse, qui la précèdent dans son développement; il en donne une bonne description avec d'excellentes figures et détermine toutes les phases successives de la transformation de ces cellules en corpuscules osseux. Il montre que ces cellules jouent un rôle dans l'apparition de la substance osseuse et les nomme ostéoblastes. Dès lors le tissu osseux était bien différencié du tissu cartilagineux, par la chimie et par l'anatomie. Comme je l'ai déjà indiqué dans le cours de ce travail ces cellules avaient déjà été vues. Sharpey, Tomes et de Morgan. Mayer les avaient observées; c'est la même couche de cellules dont Duhamel avait constaté l'existence à la face profonde du périoste. C'est cette couche qui constituait le cartilage d'envahissement du professeur Robin. Mais personne n'avait montré leur genèse spéciale, n'avait suivi ces éléments depuis l'embryon jusqu'à l'adulte, n'avait démontré qu'elles existaient simultanément dans les os formés comme dans

(1) Baur. Zur Lehre der Verknöcherung des primordialen Knorpels. Müller's Archiv. 1857, p. 347.

(2) Gegenbaur. Ueber die Bildung des Knochengewebes. Ienaische Zeitschrift f. med. und naturw. Bd 1864 p. 343.



les os libres. Gegenbaur en le faisant a démontré que le tissu osseux était bien un tissu spécial indépendant depuis son origine jusqu'à sa fin. Il a ainsi complété ce qu'avait commencé les travaux chimiques de Ch. Robin.

Ces éléments ont été constatés par tous les auteurs contemporains, Landois (1), Waldeyer (2), Busch Stiéda, Strelzoff, etc. Ranvier (3), Pouchet et Tourneux Cadiat, Robin.

Cependant cette découverte n'eût pas toute l'influence qu'elle mérite. Quelques auteurs croient encore à la possibilité d'une ossification par la cellule cartilagineuse suivant le procédé anciennement décrit. Leurs noms sont cités plus haut. Virchow n'a pas abandonné sa théorie, et d'autre part parmi ceux qui reconnaissent la présence de l'ostéoblaste, il existe sur l'origine de cet élément des divergences que nous allons exposer et combattre.

Les uns reprenant l'ancienne théorie de H. Müller font dériver l'ostéoblaste de la cellule cartilagineuse. Parmi ceux-ci nous trouvons M. Ranvier qui attribue à cette cellule [cartilagineuse déjà vieille trois transformations. Elle forme la moelle des os et ensuite l'ostéoblaste, et puisque nous voulons montrer jusqu'où peut

(1) Landois. Centralblatt f. die med. W. Berlin 1865.

Ueber die ossification der Gewebe n° 16.

Ueber den ossifications process, n° 18.

(2) Waldeyer. Berliner central Blatt f. die med Wissensch. 8 février 1865, et ueber den ossifications process. Schultzés, Archiv. f. microsc. Anat. Bd 1, p. 359, 1865.

(3) Ranvier. Traité technique et Développement des os. Thèse 1865.

Développement du tissu osseux 1873. Acad. de méd., traité technique, thèse de 1865.

Rémy.



être poussée la confusion, ces mêmes éléments formeraient des cellules lymphatiques, lesquelles à leur tour peuvent former tous les tissus. Virchow a admis la genèse des ostéoblastes à la fois aux dépens de la moelle du cartilage et du tissu conjonctif; Waldeyer leur genèse par le cartilage. Leboucq (1) A. V. Brunn (2) Masquelin, Julin (déjà cités) croient aussi à cette descendance. L'influence de la pathologie cellulaire de Virchow, de l'axiome *omnis a cellula* se fait toujours sentir. Waldeyer rend encore plus évidente cette influence. En effet il écrit que quelques ostéoblastes se dissolvent pour constituer la substance qui englobe les autres; cependant la différence de composition de la cellule et de la substance osseuse est déjà connue depuis longtemps.

Par contre l'importance des ostéoblastes et leur véritable genèse a été bien défendu, en France dans les travaux de Pouchet et Tourneux, Cadiat; à l'étranger par Stieda, Strelzoff, Steudener, Thierfelder, Wolff, Rollet, Ebner, Loven etc.. Bruch, Neumann....

Pour ceux-ci la cellule cartilagineuse est morte et l'ostéoblaste est un élément de genèse indépendante.

(1) Etude sur l'ossificat. Acad. des sciences de Belgique, 1878.

(2) Brunn. Beitrage zu Ossification Lehre, Reicher'st, and du BoisReymond, archiv. 1874.

Steudener. Beiträge zur Lehre von der Knochen entwicklung und dem Knochenwachsthum. Halle 1875.

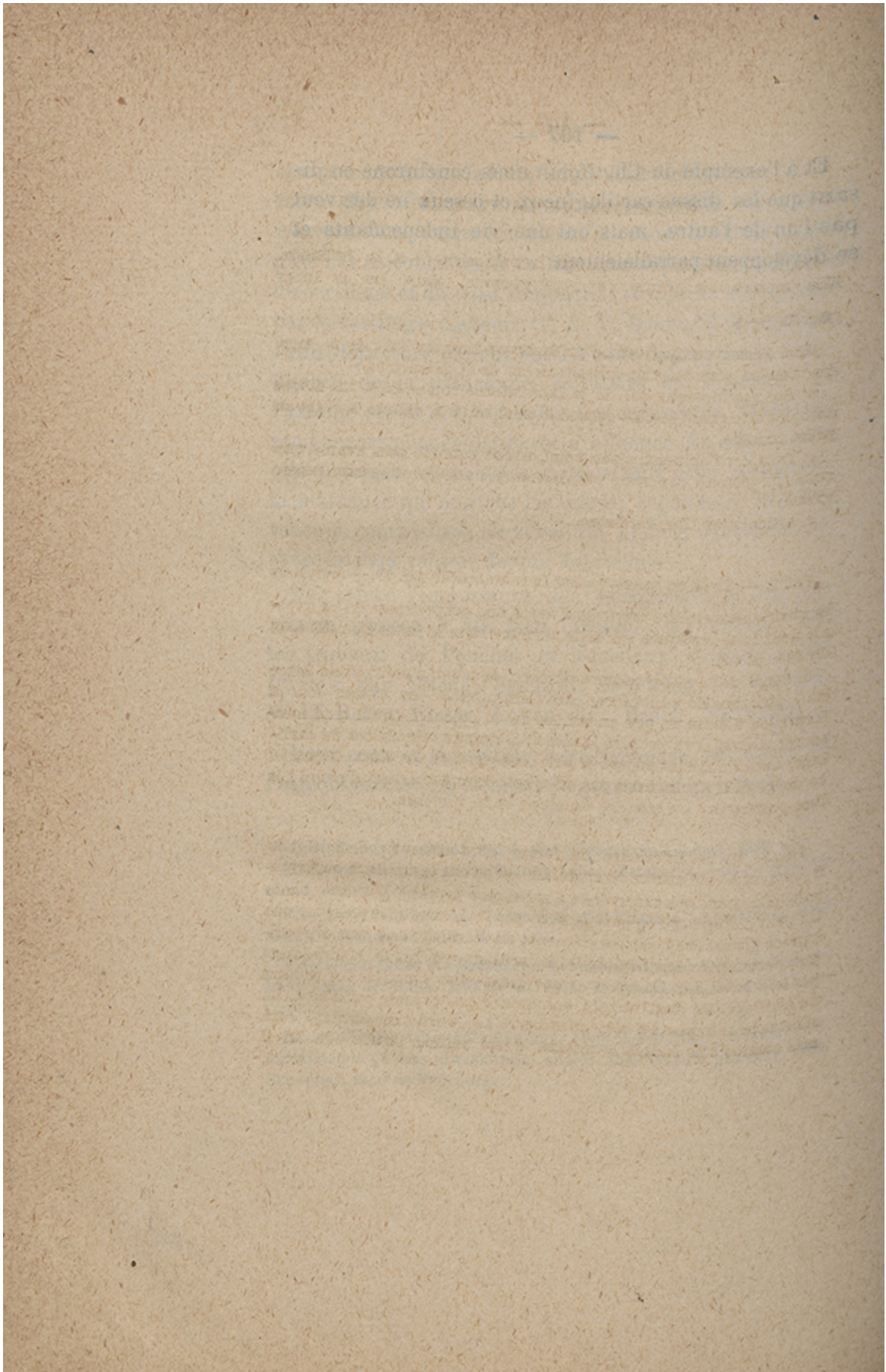
Thierfelder. Ueber die Bedeutung der provisorischen Knorpel Verkalkung Arch. der Heilk. XVI p. 441 1875. Hoffmann und Schwalbe Jahrbesber.

Loven. Studier och rendersökningar öfver benvåfnaden, fornamligast medafseende på dess utveckling, analys dans Quain's anatomy. 1872 Soc. phys. méd de Würburg.



Et à l'exemple de Ch. Robin nous concluons en disant que les dissus cartilagineux et osseux ne dérivent pas l'un de l'autre, mais ont une vie indépendante et se développent parrallèlement.







# EXPLICATION DE LA PLANCHE

FIG. 1. — Tirée du mémoire sur la notocorde de M. le P<sup>r</sup> Robin. Elle montre les points de développement dans les os longs (fig. 33,  $\frac{11}{1}$ ).

*jklm*. Fémur cartilagineux d'un embryon humain long de 24 mm. du vertx au périnée, a un grossissement de 11 diamètres.

*n*. Son point osseux qui de la face interne forme déjà un disque complet atteignant le côté opposé à celui où il a débuté à l'état de point conoïde.

*o*. Tibia cartilagineux, *p* son point osseux conoïde plus avancé que celui du péroné *q* péroné cartilagineux *r* son point osseux encore grenu.

*s*, Articulation tibio-tarsienne.

FIG. 2. — Tirée du mémoire sur la notocorde fig. 19  $\frac{9}{1}$  corps de la quatrième vertèbre cervicale d'après une coupe transversale grossie neuf fois, pratiquée sur cette vertèbre chez le fœtus humain long de 18 cent 1/2.

*a*. Canal de la notocorde non olitéré ; *b*. point d'ossification large de 7 dixièmes de millimètre, cordiforme, bilobé en avant, dont la formation débute un peu en arrière de la notocorde qu'il tend à entourer et dont il va prendre la place ; *c*. canaux vasculaires du cartilage, aucun n'atteint encore le point osseux vers les côtes duquel ils se dirigent. Il n'y en avait pas en avant. Ils apparaissent d'abord à la face postérieure ou concave du corps de la vertèbre.

FIG. 3. Moitié inférieure du fémur d'un embryon de Poulet de 8 jours en A est l'extrémité articulaire où se voit le cartilage embryonnaire à noyaux très rapprochés à substance hyaline peu abondante. On peut distinguer l'épiphyse de la diaphyse. L'extrémité présente une surface articulaire *k* où les éléments du cartilage ont une disposition particulière. Sur l'épiphyse, le cartilage est limité confusément par le perchondre. En *b* se voit une disposition parallèle des noyaux du cartilage. Ils sont bientôt entourés d'une capsule cellulaire. La substance amorphe est plus abondante. Les bords du cartilage sont nets comme s'ils étaient le résultat d'une section artificielle. En C



est une couche de cellules qui sont les premiers ostéoblastes comme nous avons pu nous en assurer sur des sens d'embryons. En *d* est le périchondre décollé par ces éléments.

Fig. 4. — Section perpendiculaire à la longueur d'un péroné de mouton pour montrer comment se forme un anneau osseux autour du cartilage de la diaphyse. La substance osseuse est indiquée en noir. L'anneau est incomplet O, Ostéoblastes. — p. périchondre.

Fig. 5. Elle montre sur un embryon de mouton la lamelle osseuse périphérique entourant le cartilage D. — C. Extrémité épiphysaire d'ostéoblastes p. périoste. La substance osseuse est indiquée en noir. Elle est déjà déposée sous forme de lamelles inégales superposées. Le cartilage dont j'indique la calcification par une teinte grise et des traits est encore dépourvu de vaisseaux. Mais ceux-ci se trouvent (V) en grand nombre au milieu de la couche d'ostéoblastes.

Fig. 6. Montrant un état plus avancé du dépôt osseux, la formation de l'artère nourrière, qui est alors une anse vasculaire pénétrant le cartilage. Mêmes indications qu'au-dessus.



## TABLE DES MATIÈRES.

---

Chapitre I. -- Cartilage .....	3
Nolocorde .....	4
Apparition du cartilage .....	5
Cartilage embryonnaire .....	5
Le cartilage venait par des tissus environnants .....	8
Il forme d'abord des masses contenues qui se pigmentent ...	11
Filio cartilage articulaire .....	16
Filio cartilage élastique .....	17
Cartilages permanents .....	19
Cartilage d'ossification .....	27
Chapitre II. -- De l'os .....	30
Ostéoblastes .....	31
Substance .....	34
L'os ne dérive d'aucun tissu .....	40
Chapitre III. -- Ossification enchondrale .....	44
Genèse des ostéoblastes sous le péri-chondre .....	47
Premier dépôt osseux .....	50
Phénomènes consécutifs au dépôt de la première lamelle osseuse .....	53
Ossification des épiphyses et cartilages vasculaires .....	65
Ossification des points complémentaires .....	69
Chapitre IV. -- Ossification dans le tissu fibreux .....	70
Chapitre V. -- Régénération des tissus cartilagineux et osseux ...	73
Chapitre VI. -- Accroissement des os .....	84
Chapitre VII. -- Historique et critique .....	

---