

Bibliothèque numérique

medic@

**Rouget, Charles. - Développement et
structure du système osseux**

1856.

Paris : Imprimerie de L. Martinet

Cote : 90975

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS.

CONCOURS POUR L'AGRÉGATION.

(SECTION DES SCIENCES ANATOMIQUES ET PHYSIOLOGIQUES.)

DÉVELOPPEMENT ET STRUCTURE
DU
SYSTÈME OSSEUX

THÈSE

SOUTENUE A LA FACULTÉ DE MÉDECINE, LE 18 DÉCEMBRE 1856

PAR LE

DOCTEUR CHARLES ROUGET,

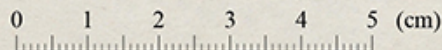
Prosecteur de la Faculté de médecine,
Ancien interne lauréat des hôpitaux, Membre de la Société de Biologie
et de la Société anatomique.

PARIS

IMPRIMERIE DE L. MARTINET,

RUE MIGNON, 2.

1856



Juges du concours.

MM. DUMAS, membre de l'Institut, PRÉSIDENT.

GAVARRET, professeur de physique à la Faculté de Paris.

MOQUIN-TANDON, membre de l'Institut, professeur de botanique
à la Faculté de Paris.

WURTZ, professeur de chimie à la Faculté de Paris.

BÉRARD, doyen, professeur de chimie à la Faculté de Montpellier.

BENOIST, professeur d'anatomie à la Faculté de Montpellier.

KUSS, professeur de physiologie à la Faculté de Strasbourg.

RAYER, membre de l'Institut.

CL. BERNARD, membre de l'Institut.

Compétiteurs.

Sciences anatomiques et physiologiques.

MM. BAILLON.

DUPRÉ.

LEGENDRE.

MOREL.

ROUGET.

DÉVELOPPEMENT ET STRUCTURE

DU

SYSTÈME OSSEUX.

CONSIDÉRATIONS PRÉLIMINAIRES.

On désigne sous le nom de *système*, en anatomie, un ensemble de parties qui ont entre elles des affinités naturelles. Si l'on se place au point de vue anatomique pur, et que l'on déduise ces affinités naturelles d'une texture élémentaire semblable, on entend par système un ensemble de parties ou d'organes simples, formées d'un même tissu. Si, au contraire, on fait intervenir le point de vue physiologique, l'idée de fonction, pour juger les connexions naturelles des parties, on entend par système un ensemble d'organes semblables ou dissemblables concourant à un but commun, à une même fonction. Ces deux modes de détermination des *systèmes organiques*, dont les conséquences sont si différentes, partagent encore aujourd'hui les anatomistes.

En Allemagne, la seconde opinion semble généralement adoptée; elle y a été introduite par Meckel qui, dans son Anatomie générale, admet « des systèmes organiques simples, des parties simi-

lares, — et des systèmes organiques composés, des parties non similaires chargées d'accomplir une fonction spéciale, ou, comme s'exprimait Bichat, des *appareils*. »

Aujourd'hui Kölliker réunit dans un même groupe, qu'il désigne sous le nom de *système*, des parties entièrement dissimilables au point de vue de la texture anatomique, par exemple, le foie, la rate, le thymus, les organes de la respiration qui forment le système intestinal; — les reins, la vessie, les ovaires, l'utérus constituent le système génito-urinaire.

En France, au contraire, on adopte généralement l'autre opinion; c'est celle de Bichat qui, le premier, réunit les parties constituées par un même tissu en *systèmes organiques*, et les distingue nettement des appareils ou groupes d'organes destinés à exercer une fonction déterminée: « La nature ne s'astreint à aucun ordre méthodique, en distribuant ces systèmes dans les divers appareils; elle n'a point égard aux grandes différences qu'elle a établies entre les fonctions. Chacun peut appartenir en même temps à des appareils de fonctions qui n'ont aucune analogie.... » Et plus loin: « Concevons donc les systèmes simples par abstraction, si je puis parler ainsi; représentons-nous-les d'une manière isolée, comme des espèces de matériaux distincts les uns des autres, quoique assemblés deux à deux, trois à trois, quatre à quatre, etc., pour former les édifices partiels de nos appareils, édifices dont résulte l'édifice général de notre économie. Chacun de ces appareils est destiné à exercer une fonction déterminée, et doit se classer, par conséquent, comme les fonctions. » (Bichat, *Anatomie générale*, vol. IV.)

C'est en se conformant à ces principes que M. C. Robin caractérise les systèmes et détermine leur place lorsqu'il expose de la manière suivante l'enchaînement et la subordination des différentes branches de l'anatomie: « Il est incontestable qu'il faut, au contraire, actuellement traiter l'anatomie en commençant par l'étude des *éléments anatomiques* ou *organiques*, suivre leur combinaison, soit seulement entre eux, soit avec d'autres en

» nombre plus ou moins considérable pour former des *tissus* ;
 » considérer ensuite le *système* que forme l'ensemble d'un même
 » tissu dans la distribution, dans l'économie tout entière, en un
 » mot, les lois de la distribution, puis étudier à part les lois des
 » diverses combinaisons des tissus des *organes*, pour considérer
 » enfin le groupement de ces organes eux-mêmes en *appareils*
 » proprement dits. » (*Du microscope*, etc., p. 164.)

C'est aussi cette manière de comprendre les systèmes organiques que nous adopterons. Il ne faut pas croire qu'il n'y ait là qu'une simple discussion de mots, les uns donnant le nom de système à ce que les autres désignent sous le nom d'appareil. Cette dissidence dans les mots entraîne un fait plus grave : ceux pour qui système est synonyme d'appareil, omettent plus ou moins complètement toutes ces considérations sur les parties semblables disséminées dans les appareils divers, base même de l'anatomie générale fondée par Bichat ; ils leur substituent des généralités sur les appareils ou confondent dans un tout peu harmonique ces deux ordres d'idées générales, si distinctes pourtant, les unes devant précéder et les autres suivre l'anatomie spéciale des organes.

Je vais donner un exemple de cette confusion, et montrer en même temps combien il était important de fixer ce qu'on doit entendre par *système* avant d'aborder le fond même du sujet que je dois traiter ici.

Sous la dénomination de *système osseux*, Meckel comprend à la fois les os du squelette et leurs articulations. — Béclard traite sous le même titre (*le système osseux ou le squelette*), des os, des articulations et du squelette. — Pour Kölliker enfin, le *système osseux* comprend les os, les cartilages articulaires, les ligaments, les capsules articulaires. Pour ces anatomistes, système osseux ne signifie rien autre chose qu'*appareil passif de la locomotion*. Aussi, en dehors de la description du tissu de l'os, toutes les considérations générales qu'ils présentent ne se rapportent en réalité qu'à l'appareil du squelette. Le moindre inconvénient de cette manière de voir est de réunir ce qui devrait être séparé ; un

autre plus grave, c'est d'omettre ou de désunir ce qui doit être réuni.

En vain chercherait-on dans ces travaux un lien qui rattache les formations osseuses de l'appareil locomoteur à ces formations osseuses que l'étude de l'organisation animale, envisagée dans l'ensemble des espèces, nous montre disséminées dans des appareils si divers, et cependant toujours semblables entre elles. Tels sont les os des muqueuses (dents, os laryngiens), les os cutanés, les os du cœur, du pénis, du diaphragme, des tendons, etc. Les uns les oublient ou les ignorent, les autres, comme Kölliker, se bornent à les énumérer. Bichat, bien qu'il n'envisage que l'anatomie spéciale de l'homme, fait preuve d'une tendance bien plus juste et bien plus élevée lorsqu'il rattache les formations dentaires, dépendances de l'appareil digestif, au système des os du squelette, et lorsqu'il décrit, avec une exactitude qui n'a pas été égalée, l'évolution des formations osseuses des tendons et des ligaments (os sésamoïdes) qu'il distingue des pièces de ce même squelette, tout en montrant les analogies de structure qui rattachent toutes ces formations les unes aux autres.

C'est de cet esprit de Bichat que nous nous inspirerons en nous efforçant de compléter ces données premières à l'aide des riches matériaux que l'anatomie moderne puise dans l'étude de l'ensemble des organismes.

Pour nous donc, le système osseux comprend l'ensemble des *formations osseuses* considérées à un point de vue tout à fait indépendant des organes ou des appareils qu'elles constituent ou contribuent à former. Du système osseux ainsi défini, nous n'avons à exposer que le développement et la structure. Tout ce qui a trait à la forme des parties, à leurs connexions et à leurs fonctions est en dehors de notre sujet.

Mais, d'autre part, comme l'a fort bien dit M. C. Robin, l'histoire du développement et de la formation des os (ostéogénie) comprend plusieurs ordres de considérations distinctes, mais liées les unes aux autres, et dérivant les unes des autres. En premier

lieu, il faut connaître le mode de formation de la substance qui compose le tissu osseux, puis voir de quelle manière, à l'aide de cette substance et d'autres éléments anatomiques communs (vaisseaux, nerfs, tissu conjonctif), se forme le tissu des os.

C'est seulement alors que l'on peut légitimement aborder l'étude de l'évolution du système osseux, c'est-à-dire voir comment l'ensemble des formations du tissu osseux se développe, non plus dans une partie isolée quelconque du corps d'un animal, mais dans l'ensemble de l'organisme à ses divers âges et dans l'ensemble des organismes aux divers degrés de la série.

Le plan que nous suivrons dans l'exposition de notre sujet se déduit naturellement des considérations précédentes. Nous étudierons successivement :

- 1° L'évolution et la structure de la substance osseuse ;
- 2° L'évolution et la structure du tissu osseux ;
- 3° Les formations osseuses dans la série animale, dans les divers appareils, aux différentes périodes du développement embryonnaire ;
- 4° Les formations osseuses anormales ou accidentelles, comme complément et preuve des lois de l'évolution des formations normales.

CHAPITRE PREMIER.

Évolution et structure de la substance osseuse.

La substance osseuse ne dérive des cellules blastématiques, ni par métamorphose, ni par substitution. Elle apparaît au milieu, dans l'épaisseur même d'éléments anatomiques normaux en voie de développement ou déjà développés. Ces éléments ne se méta-

morphosent pas ; ils ne se dissolvent pas pour laisser la substance osseuse se substituer à elle ; car on peut, dans les os complètement formés, éliminer la substance osseuse proprement dite et retrouver, plus ou moins modifiés à la vérité, mais encore reconnaissables à leurs caractères essentiels, les éléments anatomiques préexistants à l'apparition de la substance osseuse.

Ainsi, c'est là un fait fondamental qui domine toute l'histoire du système osseux. La substance osseuse n'a point, comme les véritables éléments anatomiques, d'existence indépendante. Elle ne fait que se surajouter, se combiner à des éléments préexistants. Il n'y a point, à proprement parler, d'éléments osseux ; il n'y a que des éléments qui subissent la transformation osseuse.

Quels sont donc les éléments simples des tissus primordiaux, susceptibles d'être ainsi modifiés par l'envahissement osseux ? Ce sont les différents tissus de substance conjonctive :

Le tissu cartilagineux,

Le tissu conjonctif.

DES TISSUS GÉNÉRATEURS DE LA SUBSTANCE OSSEUSE.

Ces tissus ont pour caractères généraux communs de constituer tous les organes passifs de l'économie, de fournir seuls de la gélatine ou de la chondrine, d'être, au point de vue anatomique, primitivement constitués par des cellules et une substance intercellulaire homogène, d'être l'un et l'autre capables de se transformer en tissu osseux.

Dès longtemps déjà des anatomistes éminents, Haller, Walther, de Blainville, avaient admis que les os provenaient d'une modification de la fibre ou du tissu cellulaire, dénomination qui, pour eux, comprenait toute substance conjonctive, mais ce n'était chez eux qu'une vue de l'esprit ; il était réservé à notre époque de transformer en une vérité d'observation une hypothèse oubliée.

Reichert, le premier, appela l'attention, en 1845, sur les connexions naturelles du tissu cartilagineux et du tissu conjonctif ou cellulaire, et les réunit tous deux sous le nom de substance conjonctive.

Mais Reichert avait seulement cherché à montrer l'identité de la substance intercellulaire du cartilage et de la substance conjonctive, et il ne l'avait fait que d'une manière fort imparfaite.

Sharpey, Virchow et Kölliker montrèrent une analogie de plus entre ces deux tissus, en observant que le tissu conjonctif ordinaire (tissu cellulaire) peut se transformer en tissu osseux comme le tissu cartilagineux qui jusque là paraissait seul doué de cette propriété.

Enfin Donders et surtout Virchow ont achevé de réunir dans une même famille naturelle le tissu cartilagineux, le tissu conjonctif et le tissu osseux en établissant : 1° que les cellules du cartilage et les cellules plasmatiques du tissu conjonctif sont des formations analogues ; 2° que les corpuscules osseux (ostéoplastes), éléments spéciaux du tissu des os, ne sont autre chose que des cellules isolables qui représentent les cellules du cartilage ou les cellules plasmatiques plus ou moins modifiées.

Les tissus de substance conjonctive, dont chaque espèce présente plusieurs variétés secondaires, sont essentiellement constitués : 1° par une substance intercellulaire fondamentale donnant de la chondrine ou de la gélatine, homogène dans sa forme la plus simple (cartilages vrais d'ossification, etc., tissu conjonctif homogène), lamelleuse, fibroïde ou fibreuse dans certaines variétés (cartilages des os; cartilages costaux, quelquefois fibro-cartilages, tissu conjonctif lamineux, tissu fibreux); 2° par des cellules disséminées avec plus ou moins de régularité dans la substance fondamentale.

Dans les cartilages et dans le tissu conjonctif aux premières périodes de son développement, ces cellules non pas identiques mais analogues, présentent des contours arrondis, lorsqu'ils sont envahis par l'ossification, et dans le tissu conjonctif,

indépendamment de cette condition, les cellules se déforment, s'allongent et projettent en tous sens les prolongements nombreux, ramifiés et anastomosés (canalicules des os; fibres de noyau ou de cellule).

OSSIFICATION DES CARTILAGES.

Phénomènes qui précèdent l'ossification. — Dès le premier moment où l'on peut découvrir chez l'embryon une de ces formations cartilagineuses qui plus tard s'ossifieront, on la trouve constituée par une agglomération de cellules provenant par métamorphose sans doute des cellules formatrices. Elles reposent dans une substance intercellulaire homogène, peu abondante, qui augmente peu à peu, de manière que dès le milieu de la période embryonnaire, sa masse est à peu près égale à celle des cellules; à la naissance cette masse est à peu près le double de celle des cellules, après quoi cellules et substance intermédiaire s'accroissent en proportions à peu près égales. Les cellules augmentant cependant notablement en dimensions jusqu'à devenir huit ou dix fois plus volumineuses que chez le nouveau-né. La cellule contenue dans une cavité (capsule) de la substance fondamentale est plus ou moins granulée, munie d'un noyau arrondi, vésiculeux, et d'un nucléole; cette cellule s'altère promptement sous l'influence des réactifs et même de l'eau. La membrane se retire vers le noyau, et il en résulte un corpuscule irrégulier, granuleux, obscur (corpuscule du cartilage).

Dans le point où la substance osseuse va d'abord apparaître, ou bien dans le voisinage immédiat de la substance osseuse déjà formée, cette cellule primordiale grandit et donne lieu à une formation secondaire de cellules nouvelles soit par segmentation (Leidy) soit par génération endogène. Ces cellules nouvelles sont disposées en séries linéaires, suivant le grand axe de l'os futur et par groupes de 20 ou 30 quelquefois (Todd et Bowman), issus d'une seule cellule primordiale, et séparés les uns des autres par la substance fondamentale; la couche de cartilage dans laquelle

s'accomplissent ces phénomènes de multiplication de cellules a une étendue variable, elle forme une zone en général très mince autour des centres d'ossification, $1/2$ à 1 millimètre au plus. La substance fondamentale de cette couche est jaunâtre, demi-transparente et offre un aspect strié, manifestement fibreux.

Développement et structure de la substance fondamentale.

— Bientôt on aperçoit, dans un point du cartilage temporaire, un peu plus d'opacité que partout ailleurs. Un dépôt granuleux, opaque, s'est formé dans la substance fondamentale du cartilage. Ce dépôt granuleux s'insinue entre les séries ou groupes de cellules qu'il entoure d'étuis, de gaines ou de réseaux. Il marche d'une égale rapidité en tous sens, de manière que dans les os longs et plats il occupe toute l'épaisseur de l'os bien avant d'atteindre les extrémités ou les bords; les granulations à bords foncés, noirâtres, à centre jaunâtre, clair, obscurcissent de plus en plus le cartilage; puis, devenant avec le temps plus cohérentes, plus homogènes, se laissent traverser par la lumière et permettent dans les dépôts déjà anciennement formés d'apercevoir les détails de structure très obscurs à la limite de l'ossification.

L'acide chlorhydrique montre que ces granulations sont composées de phosphate et de carbonate calcaire. D'une forme anguleuse, arrondie, blanches à la lumière directe, à bords foncés, à centre jaunâtre clair, par la lumière transmise, ces granulations présentent des dimensions diverses, depuis une finesse extrême, jusqu'à $0^m,002$ — $0^m,004$. Quand l'ossification est achevée, elles imprègnent le tissu entier de la substance fondamentale et disparaissent comme parties isolées et distinctes. Néanmoins, alors, la masse osseuse, quelquefois homogène, présente tantôt un aspect vaguement granulé, tantôt un pointillé net et fin résultant de molécules isolées, pâles, très serrées, mesurant $0^m,0005$ de diamètre. Lorsque les os sont calcinés, puis écrasés ou bouillis dans la marmite de Papin, on en obtient, suivant Tones, de petits grains anguleux dont le diamètre est $\frac{1}{3}$ à $\frac{1}{6}$ de celui des corpuscules du sang, $\frac{1}{60000}$ à $\frac{1}{140000}$ de pouce (Todd et Bowman).

Ces dimensions concordent sensiblement entre elles et il est très

probable que ces granulations sont l'élément ultime qui, pour constituer la substance osseuse, pénètre la substance fondamentale du cartilage, et peut-être se combine jusqu'à un certain point avec elle, question que nous discuterons plus loin.

Modification des capsules et cellules de cartilage pendant l'ossification. — Corpuscules osseux ou cellules osseuses ramifiées. — Les phénomènes que nous venons d'exposer ont leur siège dans la substance fondamentale ou intercellulaire du cartilage; mais les capsules ou cavités à parois propres du cartilage et les cellules qu'elles renferment ne restent pas étrangères aux modifications amenées par l'ossification. Elles subissent une transformation importante dont nous allons maintenant nous occuper. A mesure que le dépôt granuleux calcaire envahit la substance fondamentale du voisinage des cavités, on voit les bords de celles-ci devenir plus obscurs, moins nettement limités, présenter des crénelures qui empiètent graduellement sur le calibre intérieur; en même temps, la cellule contenue, refoulée de plus en plus à mesure que le dépôt calcaire envahit la cavité, se plisse, se déforme et la membrane s'applique immédiatement aux anfractuosités de la paroi calcaire. Quand le dépôt osseux est achevé, la substance fondamentale étant plus homogène, les bords des cavités redeviennent plus nets, leurs contours ne sont plus pâles comme dans le cartilage, mais noirâtres foncés, tandis que le contenu cellulaire présente une coloration jaune rougeâtre à l'état frais.

Il arrive quelquefois que plusieurs cellules de cartilage, provenant d'une même cellule mère, se trouvent enfermées dans une cavité commune au moment de l'ossification. On voit alors ultérieurement des bords de la cavité osseuse se développer des cloisons qui la partagent en cavités secondaires, communiquant entre elles par un rétrécissement, qui affecte souvent la forme d'un gros canalicule.

Les cavités présentent la forme d'une graine de courge; elles sont oblongues, aplaties et ont en moyenne $0^m,02$ de longueur, $0^m,009$ de largeur, $0,009$ d'épaisseur; leur nombre est de 1000 en moyenne par millimètre carré (Harting, Koelliker). Bientôt

des bords et surtout des deux faces de ces cavités partent des incisures qui pénètrent dans la substance fondamentale osseuse, s'allongent, se divisent, se ramifient et s'anastomosent les unes avec les autres, et forment enfin ces canalicules osseux qui, communiquant tous entre eux et avec les cavités, constituent un système répandu dans toute la substance de l'os. Des prolongements émanés de la cellule contenue dans la cavité (cellule et cavité osseuses, précédemment cellule et cavité cartilagineuses) se développent conjointement avec les canalicules osseux qu'ils remplissent et se mettent en communication avec les ramifications semblables des cellules voisines. Les canalicules ont en moyenne $0^m,018$ à $0^m,03$ de longueur sur $0^m,0018$ de largeur à leur partie moyenne.

L'évolution des cavités et des canalicules des os est un des points de l'étude du système osseux dont l'observation présente le plus de difficultés et qui, par conséquent, a été le plus controversé. La description que j'en ai donnée est basée sur les observations récentes de Virchow, Donders, Kölliker, Remak, Brandt et Gerlach, observations que je puis confirmer sur plusieurs points. J'aborderai maintenant la discussion des opinions contraires à celle que je viens d'exposer.

Sur des lames minces et transparentes d'os secs, les cavités et les canalicules paraissent obscurs à la lumière transmise et d'un blanc brillant, au contraire, à la lumière directe. Cet aspect avait été attribué au dépôt des sels calcaires dans les cavités (d'où le nom de corpuscules calcaires). L'observation d'os frais ou imbibés d'un liquide très pénétrant, comme l'essence de térébenthine, montre parfaitement transparents les corpuscules et les prolongements qui ne devaient leur aspect obscur qu'à l'air qu'ils contenaient.

Mais une question moins facile à trancher est celle qui est relative aux transformations de la cavité du cartilage et de son contenu pendant l'ossification. Kölliker admet, d'après ses observations sur le développement des os rachitiques, que l'épaississement et la dé-

formation des parois propres des cavités du cartilage (capsules cartilagineuses) précède l'ossification et la substance fondamentale voisine. C. Robin regarde, au contraire, le dépôt de granulations calcaires comme la cause même de la déformation et du rétrécissement des cavités ; mes propres observations me portent à partager cette dernière opinion, au moins pour ce qui concerne l'état normal.

Mais relativement à la cellule contenue dans la cavité du cartilage, C. Robin pense qu'elle se dissout et disparaît pendant l'ossification, tandis qu'au contraire Donders et Kölliker ont constaté sur des os traités par l'acide chlorhydrique puis par la soude caustique l'existence d'un noyau de cellule dans la cavité osseuse. Plus tard, Virchow a découvert le fait bien plus important encore et confirmé par les observations de Kölliker, Remak, Hoppe, Brandt et Gerlach, qu'en faisant macérer les os dans l'acide chlorhydrique on parvient à isoler le contenu des cavités et canalicules osseux sous forme de cellules étoilées. Deux opinions sont donc en présence : les corpuscules osseux sont-ils des lacunes, de simples vides dans la substance osseuse, ou bien ont-ils une existence propre comme éléments indépendants ?

Mes propres observations me portent à confirmer au moins en partie les résultats obtenus par Donders, Kölliker et Virchow. Il est certain que sur des tranches osseuses traitées par l'acide chlorhydrique, puis rendues transparentes par la soude caustique ou par l'ébullition, on peut nettement distinguer dans les cavités osseuses un contenu distinct de la paroi et d'apparence solide ; il est certain aussi qu'en traitant un os gélatineux par l'ébullition dans une solution de soude, on isole très nettement ces corpuscules cellulaires étoilés et ramifiés qui présentent parfaitement la forme et les dimensions de ceux que l'on observe sur une tranche osseuse normale.

Mais les rapports entre le contenu granuleux obscur et les corpuscules étoilés diaphanes que Kölliker figure encore emprisonnés dans le blastème cartilagineux, ces rapports sont-ils ceux d'un noyau et d'une paroi de cellule ? Je ne le pense pas. Ce que

Kölliker a figuré comme un noyau me paraît être la cellule osseuse elle-même contractée et ratatinée par l'action des réactifs. Sur des préparations analogues à celle d'après laquelle le dessin de Kölliker est exécuté, j'ai vu que ce qu'il figure comme paroi de cellule n'est autre chose que la paroi de cavités creusées dans la substance fondamentale; les bords de cette cavité apparaissent tantôt comme une ligne obscure, tantôt comme un contour pâle, suivant que la préparation a plus ou moins d'épaisseur ou de transparence. Une zone très transparente, mais étroite, borde le contour et le sépare d'un corpuscule obscur, dentelé, d'aspect caractéristique, qui sans doute à l'état normal remplit complètement la cavité, la zone claire et transparente indiquant un intervalle dû probablement au retrait du corpuscule sous l'influence des réactifs.

Le corpuscule dentelé peut, comme je l'ai dit, être complètement isolé de la substance osseuse par l'action combinée de la potasse et de l'ébullition. On constate alors qu'il est identique à ceux que dans le cas précédent on observe encore contenus dans les cavités de la substance fondamentale. Les dentelures des bords sont plus distinctes et munies de prolongements très nets mais très fins et probablement rompus très près de leur origine à cause de cette finesse même. Mais la masse du corpuscule est homogène, et laisse voir seulement deux à trois granulations assez semblables à des nucléoles autour desquels on n'observe que dans des cas très rares peut-être de véritables noyaux. C'est la masse du corpuscule tout entier rétractée dans l'intérieur de la cavité osseuse, qui a été figurée par Kölliker comme noyau de cellule.

Je n'en considère pas moins ces corpuscules étoilés, ramifiés de la substance osseuse comme de véritables formations cellulaires dont le noyau a disparu par les progrès du développement, comme cela s'observe dans d'autres formations analogues (cellules épidermiques, prétendues cellules des fibres de noyau du tissu conjonctif, etc.).

DÉVELOPPEMENT DE SUBSTANCE OSSEUSE DANS LE TISSU
CONJONCTIF.

La manière dont la substance osseuse se développe là où il n'existe pas de cartilage préformé, est un des sujets les plus controversés : d'après Kölliker, dans le point où l'os doit se développer, dans l'interstice de deux membranes conjonctives, apparaît sous forme de couche fondamentale membraneuse, un blastème mou, qui se dépose successivement à l'époque seulement où il doit être envahi par l'ossification. Cette couche membraneuse est constituée par un blastème intercellulaire et des cellules plasmatiques, semblables à celles du tissu conjonctif. Le blastème intercellulaire est envahi par les matériaux salins, et les cellules plasmatiques se ramifient et se transforment en cellules osseuses; l'ossification s'avance sous forme de trabécules et de cloisons anastomosées en réseau; là où elle apparaît, elle consomme en quelque sorte tout le blastème. Néanmoins, on peut encore apercevoir des restes de ce blastème dans les vides que les cloisons laissent entre elles, vides qui par les progrès du développement s'éloignent dans certains points par résorption de la substance osseuse déjà formée, et dans d'autres points au contraire seront comblés par les progrès de l'ossification, de manière à donner naissance à une lame compacte de substance osseuse.

D'après Ch. Robin, une trame *cartilagineuse* homogène, creusée de petites cavités closes, ou d'aréoles ouvertes, envahit peu à peu une place occupée d'abord par d'autres tissus. A peine formée elle-même elle est envahie par le dépôt de sels terreux, d'abord granuleux puis plus homogène, et la substance fondamentale de l'os est constituée; quant aux ostéoplastes, chaque cavité transparente de la trame cartilagineuse devient l'origine de l'un d'entre eux. De diamètre à peu près égal en tous sens dans les os du crâne, allongées dans les os des membres, ces cavités, souvent ouvertes d'abord, remplies par un liquide sans corpuscules ni cellules ne se ferment que plus tard par les progrès

de l'ossification, c'est seulement à l'époque de la naissance ou quelques mois plus tard qu'il se développe dans leur intérieur un corpuscule ou amas de granulations analogues à celles des cavités des cartilages. Le dépôt de sels terreux déforme les cavités primitivement régulières, les envahit partiellement, et même quelquefois les comble entièrement. Quand l'ossification est terminée, les bords des cavités deviennent plus nets, les incisures apparaissent et tout se passe comme dans la formation des ostéoplastes dans les cartilages vrais. M. Ch. Robin admet encore que dans certains points, la substance osseuse se forme directement sans être précédée de trame cartilagineuse ni de blastème mou, et dans ce cas les ostéoplastes, apparaissant d'abord comme simples échancrures du bord des processus osseux, se complètent graduellement, et se transforment en cavités closes, par les progrès de l'ossification.

Ici encore deux opinions sont en présence : Le dépôt calcaire se fait-il dans un blastème membraneux continu dont certaines parties sont seules envahies par l'ossification, ou bien dans toute l'étendue d'une trame cartilagineuse aréolaire ? Les cellules du blastème se transforment-elles en corpuscules osseux ? ou bien au contraire ceux-ci ne sont-ils que des cavités formées de toutes pièces, soit aux dépens des interstices de la trame cartilagineuse, soit directement par l'ossification ? Ces questions ont une importance capitale, car elles se rapportent à un mode d'après lequel un grand nombre de formations osseuses se développent, d'après lequel toutes s'accroissent. J'ai donc cru devoir en chercher la solution dans l'observation directe, et je vais exposer le résultat de mes recherches sur ce sujet.

Sur un embryon humain de dix à douze semaines, si l'on enlève avec précaution les membranes fibreuses (périoste et dure-mère) entre lesquelles se développent les os de la voûte du crâne (1),

(1) Frontaux, pariétaux, portion écailleuse de l'occipital, et la voûte palatine du maxillaire supérieur et le maxillaire inférieur sont également très favorables à ces observations.

on obtient une lame en partie osseuse, en partie membraneuse, mais *continue* dans toute l'étendue qu'occuperont les os complètement formés. La zone membraneuse est en continuité directe avec la zone en voie d'ossification et, comme elle est parfaitement distincte des membranes fibreuses contiguës. Déjà avec un faible grossissement (30 diamètres environ), on distingue dans chaque lame quatre régions distinctes : deux occupent les limites extrêmes et sont, l'une complètement membraneuse et homogène dans sa structure ; l'autre, complètement osseuse. Des deux régions moyennes, l'une, contiguë à la région osseuse, est en voie d'ossification ; l'autre, contiguë à la région membraneuse, s'en rapproche beaucoup par ses caractères histologiques, mais présente déjà cependant une disposition particulière : nous l'appellerons région ou zone *intermédiaire*.

La zone membraneuse est constituée par un blastème conjonctif fibroïde et granuleux parcouru çà et là par des faisceaux fibreux entrecroisés dans toutes les directions, mais caractérisé surtout par la présence, dans son épaisseur, d'innombrables cellules plasmiques, ovoïdes ou arrondies et de noyaux libres. Dans la zone intermédiaire on retrouve exactement les mêmes éléments, mais, de plus, cette zone est parcourue par un réseau de trabécules hyalines d'une homogénéité et d'une transparence remarquables, par suite desquelles le réseau, bien que les mailles en soient très larges dans certains points et les éléments très délicats, tranche nettement sur le fond grisâtre et granuleux du blastème conjonctif. Le réseau hyalin de la zone intermédiaire semble répéter exactement la disposition des faisceaux fibreux entrecroisés de la zone membraneuse, avec lesquels il se continue du reste manifestement, mais par une fusion graduelle des caractères des deux éléments. Vers la zone en voie d'ossification, les trabécules se multiplient, augmentent d'épaisseur, et circonscrivent des mailles de plus en plus nombreuses et étroites dont on peut nettement distinguer deux espèces, les unes grandes et les autres petites. Les trabécules principales rappellent d'une manière frap-

pante la forme d'une tige de palmier et les grandes aréoles qui les séparent celle d'une ogive. A la limite des deux régions moyennes, les trabécules de la trame hyaline se continuent avec des trabécules absolument analogues quant à la disposition générale, mais différentes d'aspect, moins transparentes, à bords plus nets, plus obscurs, parsemées de granulations jaunâtres et d'innombrables cavités microscopiques; une limite brusque et tranchée comme une soudure de deux métaux différents, sépare les extrémités des trabécules en voie d'ossification des trabécules hyalines, bien que toutes les deux appartiennent évidemment à un seul et même système. La trame qui s'ossifie intercepte deux espèces de mailles qui se distinguent d'une manière beaucoup plus nette encore que dans la zone intermédiaire par leurs dimensions caractéristiques.

Les unes constituent de véritables aréoles, les autres de petites cavités microscopiques dont nous avons indiqué déjà l'existence. Mais pour les aréoles comme pour les cavités, la forme et les dimensions seules diffèrent, la structure est la même. Toutes deux ont pour parois des trabécules ou bien hyalines ou bien en voie d'ossification; pour contenu, des portions plus ou moins étendues du blastème conjonctif et ses cellules.

A mesure qu'on se rapproche de la zone complètement ossifiée, et que les trabécules deviennent plus obscures et jaunâtres, les petites cavités creusées dans l'épaisseur des trabécules se resserrent de plus en plus, et un réseau hyalin qui bientôt va également s'ossifier s'étend dans le champ des aréoles qu'il ferme ou même oblitère plus ou moins complètement.

Ce qui frappe immédiatement lorsqu'on observe la progression envahissante de la trame hyaline, c'est que lors même que le réseau se resserre de plus en plus, il ne fait que s'insinuer dans la substance conjonctive intercellulaire enveloppant ici des groupes plus ou moins nombreux de cellules; là une ou deux cellules isolées autour desquelles l'enceinte nouvelle se resserre de plus en plus jusqu'à venir au contact de la paroi de cellule elle-

même, mais sans jamais, à ce qu'il semble, dépasser cette limite.

Lors donc que la couche membraneuse primitive a subi sa transformation la plus complète, tout se résume en somme en ceci : Un blastème homogène et transparent s'est graduellement épanché dans la substance conjonctive granuleuse et fibroïde ou fibreuse, puis, dans ce blastème lui-même, se sont déposés les éléments de l'ossification. Mais au milieu de tous ces changements les cellules plasmatiques du tissu conjonctif sont restées intactes et reconnaissables encore à tous leurs caractères dans l'intérieur des petites cavités déjà irrégulières et munies d'incisures, de la substance osseuse de nouvelle formation.

Bien loin de disparaître par ces progrès ultérieurs du développement, ces cellules poussent au contraire des prolongements qui s'insinuent dans les incisures des parois de la cavité, se ramifient et s'anastomosent sans doute entre eux dans les canalicules qui perforent en tous sens la substance fondamentale de l'os complètement formé.

Ainsi, d'une part, au lieu d'un blastème membraneux dont tous les éléments, cellules et substance intercellulaire, apparaissent successivement et à l'époque seulement de l'ossification (1), il faut admettre, là du moins où la substance osseuse se *développe primitivement* dans le tissu conjonctif, la préexistence d'une membrane fibreuse ou fibroïde qui d'abord occupe tout le champ envahi plus tard par la formation osseuse. Il est très vrai qu'une trame aréolaire homogène hyaline précède graduellement le dépôt calcaire et s'avance de 2 ou 3 millimètres quelquefois au-devant de lui.

Mais rien ne prouve que cette trame soit de nature cartilagineuse, car elle manque absolument du seul élément qui puisse la caractériser dans ce sens, *la cellule cartilagineuse*. La persistance, au contraire, des cellules plasmatiques ou conjonctives au milieu de cette trame porte à la considérer comme une simple

(1) Kælliker. — Cette opinion ne doit pas être complètement rejetée, mais réservée pour l'accroissement du tissu osseux.

modification, un retour à la forme primitive homogène de la substance intercellulaire conjonctive.

Cette persistance des cellules plasmatiques à toutes les périodes du développement de la substance osseuse, leur présence constante dans les alvéoles de cette substance ou de la trame hyaline, et enfin leur transformation en cellules osseuses étoilées, sont des faits incontestables et d'une extrême importance.

La formation de toutes pièces des corpuscules osseux n'est vraie qu'autant que l'on réservera ce nom pour les *cavités* qui renferment les *cellules*.

Enfin, ces cavités n'apparaissent complètement vides et transparentes que dans le cas où elles représentent de simples alvéoles ouverts, que le blastème conjonctif et les cellules ont abandonnés dans les manœuvres de la préparation. Sur des pièces fraîches ou conservées dans l'alcool, à côté de ces cavités vides, évidemment artificielles, on en observe toujours un grand nombre intactes et remplies de leur contenu de cellules.

DÉVELOPPEMENT DE SUBSTANCE OSSEUSE DANS LE TISSU FIBRO-CARTILAGINEUX.

Dans certaines formations du tissu conjonctif fibreux, les cellules plasmatiques sont remplacées par de véritables cellules de cartilage. Lorsque la substance osseuse s'y développe, un épanchement de blastème homogène précède de très près son apparition, comme dans l'ossification des membranes conjonctives; seulement ici, les cellules cartilagineuses préexistant, on peut considérer le tissu fibro-cartilagineux comme passé à l'état cartilagineux pur par la transformation de substance conjonctive fibreuse en substance homogène: métamorphose qui prouve de la manière la plus directe l'intime parenté du tissu conjonctif et du tissu cartilagineux. Les phénomènes ultérieurs sont absolument les mêmes que ceux qui se passent dans l'ossification du tissu conjonctif.

DU RÔLE DES VAISSEAUX DANS LE DÉVELOPPEMENT DE LA SUBSTANCE OSSEUSE.

La formation de substance osseuse (dans le cartilage) est indépendante de l'apparition des vaisseaux. Elle la précède dans beaucoup de cas ; car non-seulement les premiers dépôts osseux se forment dans des cartilages dépourvus de vaisseaux, mais ensuite lorsque les vaisseaux se développent ils n'occupent que la substance osseuse déjà formée et ne s'avancent pas dans le cartilage en voie d'ossification. Ce n'est que lorsque les os et les cartilages épiphysaires ont déjà un certain volume, que l'on voit les cartilages non encore ossifiés se creuser en canaux vasculaires.

Néanmoins, il ne faudrait pas conclure de ces faits que les vaisseaux ne jouent aucun rôle dans l'ossification. Il est certain, au contraire, qu'ils en fournissent les matériaux. Mais, dans les premiers temps, lorsque la masse de substance qui s'ossifie est encore peu considérable, les vaisseaux du voisinage suffisent à l'alimenter ; plus tard, quand la masse augmente, les vaisseaux apparaissent et se rapprochent du centre du mouvement organique d'accroissement et de transformation du cartilage, sans cependant y pénétrer, le plasma qu'ils fournissent étant transmis de proche en proche aux éléments organiques.

CHAPITRE II.

Évolution et structure du tissu osseux.

L'apparition des vaisseaux dans la masse du cartilage d'ossification ou dans le noyau osseux déjà formé marque un nouveau stade dans l'évolution du système osseux. Jusque-là il ne consistait qu'en substance fondamentale cartilagineuse ou conjonctive,

plus ou moins complètement transformée en substance fondamentale osseuse et en cellules cartilagineuses ou plasmatiques (conjonctives), transformées en cellules osseuses. Maintenant, à ce groupe d'éléments, isolé en quelque sorte, viennent se joindre les éléments généraux des tissus (vaisseaux, nerfs, substance conjonctive) qui se rattacheront à la vie générale de l'organisme; et de l'union de tous ces éléments naîtra le tissu osseux.

TISSU OSSEUX DANS LES CARTILAGES EN VOIE D'OSSIFICATION.

Dans les cartilages où se développent des vaisseaux avant l'ossification, on voit dans certaines régions les éléments se ramollir, se fondre, en quelque sorte, en une masse commune, et par suite la substance du cartilage se creuser en canaux peu ramifiés, sur les parois desquels les cellules cartilagineuses sont étroites et allongées. La masse formatrice qui s'est substituée aux éléments du cartilage remplit complètement ces canaux, elle consiste dans le principe en substance homogène et en petites cellules arrondies; au bout de peu de temps, des prolongements des vaisseaux voisins se mettent en communication avec cette masse et croissent par formation de vaisseaux nouveaux aux dépens de ses éléments dont une partie se transforme aussi, en dehors des vaisseaux, en parois de tissu conjonctif plus ou moins parfait (Kölliker).

Dans la substance osseuse qui a pris la place du cartilage non vascularisé, et qui est comme lui homogène et compacte, on constate des phénomènes analogues aux précédents. La substance fondamentale se ramollit, les parois des cavités qui renferment les cellules se détruisent, et celles-ci, comme la substance fondamentale elle-même, se dissolvent, sont résorbées ou se transforment, et à la place de ces éléments de la substance osseuse apparaît une substance molle et rosée, consistant en un blastème amorphe et en cellules arrondies, granuleuses, munies d'un ou deux noyaux (moelle fœtale). Les cavités remplies de cette moelle

se mettent en communication les unes avec les autres, et un système de canaux, fréquemment anastomosés et ramifiés, parcourt en tous sens la masse osseuse. En même temps, aux dépens d'une partie de la moelle contenue dans ces canaux se développent des vaisseaux, des nerfs, du tissu conjonctif et des cellules adipeuses. Le développement des vaisseaux sanguins s'accomplit avec une grande rapidité et suit de près l'apparition des espaces médullaires; on n'aperçoit que plus tard la graisse et les nerfs. Les cavités de l'os et les vaisseaux qu'elles renferment, croissant avec plus de rapidité que le dépôt osseux, elles envahissent bientôt, non-seulement l'os en voie de formation, mais le cartilage lui-même.

Les vaisseaux des espaces médullaires, munis de parois propres, d'une tunique adventice et de fibres musculaires reconnaissables dans les artères, consistent en un ou deux gros vaisseaux ou en plusieurs capillaires, et s'anastomosent fréquemment d'une cavité à l'autre. Vers l'extrémité articulaire de l'os, ils se recourbent en anses flexueuses. Vers la membrane périostale, ils s'anastomosent avec les vaisseaux.

DÉVELOPPEMENT DU TISSU OSSEUX DANS LA SUBSTANCE CONJONCTIVE EN VOIE D'OSSIFICATION.

Le blastème amorphe dans lequel se dépose ici la substance osseuse, circonscrit comme nous l'avons vu dans les mailles de ses réseaux des ilots plus ou moins étendus de tissu conjonctif, de cellules plasmiques, parcourus par des vaisseaux.

Ces éléments généraux préexistant à l'apparition de la substance osseuse, dès qu'elle a accompli son développement, le tissu osseux est complètement formé; les mailles des réseaux, d'abord en partie ouvertes au dehors, achèvent de se limiter par le développement de nouvelles lamelles ou trabécules, des cavités tout à fait analogues aux cavités médullaires sont constituées, et renferment

comme elles des vaisseaux, et une substance conjonctive, à cellules plasmatiques, qui par substitution ou peut-être seulement par métamorphose, ne tarde pas à prendre les caractères de cette substance conjonctive caractérisée par des cellules arrondies et des noyaux agglomérés dans un blastème commun qui constitue la moelle rouge des os.

DÉLIMITATION DU TISSU OSSEUX.

Ce tissu osseux se limite par des parties qui, bien que constituées par des éléments analogues ou même identiques avec ceux des tissus où se développe la substance osseuse, lui opposent à l'état normal une barrière infranchissable. Ces parties sont tantôt une couche cartilagineuse, *le cartilage articulaire*, tantôt une membrane de tissu conjonctif, *le périoste*.

Des cartilages articulaires. — Le cartilage articulaire ou cartilage d'encroûtement, qui n'appartient pas, à proprement parler, au système osseux, est une couche cartilagineuse mince, plus épaisse à la partie moyenne que vers les bords, dont une des faces est complètement libre (sauf dans une petite portion de la périphérie), et dont l'autre est immédiatement contiguë au tissu osseux, sans qu'on puisse distinguer aucun tissu d'union intermédiaire.

Le cartilage d'encroûtement possède des cavités et cellules de cartilage, et une substance fondamentale en partie homogène, en partie finement granulée. Les cavités et cellules, disposées en séries linéaires au voisinage du tissu osseux, rappellent exactement les séries linéaires du cartilage en voie d'ossification. Vers la surface libre, au contraire, leur direction change graduellement; elles finissent par former plusieurs couches aplaties parallèlement à la surface. La couche osseuse, immédiatement contiguë au cartilage articulaire, semble en quelque sorte arrêtée dans son développement; cette couche offre une épaisseur de 0^{mm},26 en moyenne: elle consiste en une substance fondamentale jaunâtre,

R.

4

principalement fibreuse, offrant la dureté de l'os, et réellement ossifiée; cependant elle ne renferme ni canalicules, ni espaces médullaires, ni cavités osseuses distinctes. A la place de ces dernières, on trouve des corpuscules de $0^{\text{mm}},03$ à $0^{\text{mm}},5$, qui ne sont que des cellules de cartilage avec un contenu nucléaire, et des vestiges de canalicules poreux. La couche qui contient ces cellules est limitée du côté du cartilage par une ligne régulière et obscure, çà et là marquée par des concrétions calcaires, et du côté de l'os véritable par un contour arrondi sur lequel on distingue souvent la limite des cellules osseuses proprement dites (Kölliker).

Du périoste. — A la limite du tissu osseux, là où ne se trouve pas de cartilage d'encroûtement, on rencontre du tissu conjonctif fibreux. Dans certains points, ce tissu est si intimement uni à la substance osseuse, qu'il semble se continuer avec elle, ce que rendent très probable du reste la présence de cellules de cartilages et le dépôt de granulations calcaires, dans certains cas, au milieu des éléments de ce tissu fibreux. Cette disposition se rencontre au niveau de l'insertion de tendons et ligaments, et la plupart des apophyses ou éminences d'insertion de l'os ne paraissent pas avoir d'autre origine que l'envahissement par la substance osseuse du tissu conjonctif fibreux de ces organes, dans le point où ils viennent se souder, en quelque sorte, au tissu osseux.

Mais ce n'est qu'exceptionnellement que le tissu fibreux contracte des rapports aussi intimes avec le tissu osseux; partout ailleurs une lame de tissu fibreux (périoste) enveloppe le tissu osseux et le sépare des tissus voisins. L'adhérence de cette lame fibreuse avec le tissu osseux est variable suivant les régions et les appareils. D'une manière générale, on peut dire que l'adhérence du tissu fibreux avec le tissu osseux est plus intime là où le tissu osseux s'est lui-même développé directement dans un tissu conjonctif préexistant.

Dans certains cas, le périoste n'est pas constitué par une lame fibreuse distincte, mais par le tissu conjonctif fibreux de certains

organes ou appareils, peau, muqueuses, etc. C'est ce que l'on a coutume d'exprimer en disant que le revêtement périostique de l'os se trouve entièrement confondu avec le tissu conjonctif de la muqueuse, etc. Enfin, divers organes fibreux, tendons, ligaments, aponévroses, dure-mère, etc., viennent également se fondre dans le périoste, en augmentent l'épaisseur, et en constituent même en quelque sorte la base.

Des nerfs et des vaisseaux nombreux se ramifient dans la lame fibreuse périostale, surtout dans la couche externe, composée de tissu conjonctif renfermant quelques cellules adipeuses. Dans la couche profonde des faisceaux de fibres élastiques très nombreux parcourent le tissu conjonctif. Les vaisseaux et les nerfs de cette couche ne font que la traverser, pour gagner le tissu osseux, auquel le périoste n'adhère le plus souvent que par leur intermédiaire.

ACCROISSEMENT DU TISSU OSSEUX.

Le tissu osseux s'accroît en repoussant en quelque sorte en tous sens les tissus qui lui servent de limite.

Là où existait un cartilage préformé, un développement incessant de nouvelles générations de cellules cartilagineuses et de substance intercellulaire a lieu dans la direction du cartilage d'encroûtement, entre le cartilage primitif ossifié et un noyau cartilagineux spécial dont dépend le cartilage diarthrodial, le cartilage épiphysaire. A mesure que l'ossification envahit ces nouvelles couches, il s'en forme d'autres qui les remplacent.

Les phénomènes que l'on observe ici sont ceux que nous avons décrits comme caractéristiques de la formation de substance osseuse dans les tissus de cartilage.

On a cru longtemps, et quelques anatomistes pensent encore, que l'accroissement du tissu osseux au contact des membranes fibreuses périostales a lieu par le même procédé, par une espèce de végétation incessante du cartilage (Bruch). Mais les recherches

de Sharpey et de Kölliker ont démontré que c'est au périoste, ou plutôt à ses vaisseaux, qu'est dû le développement d'un blastème qui se reproduit continuellement, et aux dépens duquel s'accroît le tissu osseux. A la vérité on est loin d'être d'accord sur la nature de ce blastème, que Kölliker et Virchow regardent comme une substance conjonctive, Robin et Bruch comme une trame de nature cartilagineuse.

Mais ce qui est aujourd'hui hors de toute contestation, c'est qu'ici les faits sont les mêmes que ceux que nous avons déjà rencontrés à propos du développement de la substance osseuse dans le tissu conjonctif, et nous les interprétons de la même façon. Le blastème fibroïde parsemé de cellules à noyaux et de noyaux libres est graduellement envahi par le dépôt calcaire homogène qui s'avance sous forme de réseaux interceptant des îlots de blastème. Bientôt les réseaux se fermant partiellement par le dépôt de nouvelles substances osseuses, un système de canaux s'établit et parcourt en tous sens la substance osseuse de nouvelle formation. Aux dépens du blastème contenu dans ces canaux se développent la substance médullaire et surtout des vaisseaux qui se mettent d'abord en communication avec ceux du tissu osseux ancien, et ensuite avec ceux du périoste.

En résumé, le tissu osseux résultant de l'ossification d'un cartilage s'accroît ici d'après un mode identique avec celui de sa formation même, là, au contraire, d'après un mode tout différent, celui de la formation de substance osseuse dans le tissu conjonctif, tandis que les phénomènes de la formation et ceux de l'accroissement sont absolument semblables dans les tissus osseux provenant de la transformation du tissu conjonctif.

FORMES SECONDAIRES DU TISSU OSSEUX.

Le tissu osseux, tel que nous venons de le voir se former, puis se parachever en quelque sorte par l'accroissement, se montre à nous, dans son type le plus simple et le plus général, comme une

masse de substance fondamentale osseuse, constellée d'innombrables corpuscules ou cellules ramifiées et creusée dans toute son épaisseur de cavités, de canaux communiquant tous ensemble et remplis par de la substance médullaire et par des vaisseaux. Mais ce type simple et primordial se modifie presque toujours par les progrès du développement en deux sens opposés : d'un côté, par résorption partielle de la substance osseuse et agrandissement des cavités ; de l'autre, au contraire, par accroissement de la substance osseuse et diminution du calibre des cavités ou canaux ; modifications de forme du tissu qui s'accompagnent de certaines modifications secondaires du contenu des cavités et de la substance fondamentale qui en forme les parois. L'agrandissement des cavités et leurs communications plus larges et plus fréquentes constituent le tissu *aréolaire* ou *spongieux* ; puis la résorption s'exagérant en quelque sorte, quelques rares et frêles trabécules isolées dans de vastes cavités anfractueuses constituent le tissu *réticulaire* qui bientôt lui-même disparaît et fait place à une cavité unique, occupant le centre de la masse osseuse, la cavité ou canal médullaire. A la formation de celui-ci se rattachent les modifications de la substance médullaire.

L'accroissement d'épaisseur des parois des canaux vasculaires et la diminution notable de leur calibre donnant à la masse du tissu un aspect plus homogène, constituent le tissu compacte ; celui-ci forme le plus souvent les couches périphériques des masses osseuses, et sert en quelque sorte d'enveloppe au tissu spongieux et à ses dérivés.

A la formation du tissu compacte se rapporte une disposition particulière de la substance fondamentale.

Tissu compacte. — Formé aux dépens des couches d'accroissement et du périoste, le tissu compacte est parcouru dans toute son épaisseur par des canalicules vasculaires (canaux vasculaires de Havers) qui forment un réseau à larges mailles, analogue à celui des vaisseaux capillaires. Le trajet des vaisseaux est, en général, parallèle à l'axe longitudinal ou au rayon de la masse

osseuse. Leur diamètre porte de $0^{\text{mm}},009$ à $0^{\text{mm}},4$; leur écartement de $0^{\text{mm}},1$ à $0^{\text{mm}},3$. Ils communiquent entre eux par de petites branches perpendiculaires ou obliques à leur direction. Les vaisseaux pénètrent dans les canalicules par des orifices quelquefois visibles à l'œil nu, qui s'ouvrent les uns dans les espaces ou cavités médullaires, les autres à la surface de l'os. Là où la substance compacte et la substance spongieuse se touchent, les canalicules vasculaires se continuent avec les espaces médullaires plus ou moins larges, tantôt sans transition, tantôt en s'élargissant en forme d'entonnoir.

Contenu des canaux de Havers. — Ces canaux renferment généralement un ou deux vaisseaux de distribution, veines ou artères, rarement reconnaissables à la structure musculaire de leurs parois, qui le plus souvent consistent en tissu conjonctif, membrane fondamentale et épithélium : ce n'est guère que dans les grands canaux de Havers que l'on trouve de véritables capillaires à côté des vaisseaux précédents. Une petite quantité de substance médullaire, matière amorphe et cellules, achève de remplir la cavité des canaux.

Formés primitivement, comme nous l'avons dit, par la persistance des cavités qui apparaissent dans les dépôts du périoste, les canaux de Havers ont d'abord un calibre relativement plus considérable, et la substance fondamentale qui forme leurs parois est homogène ou vaguement striée. Mais peu à peu, aux dépens du blastème conjonctif emprisonné dans les canaux, de nouvelles couches osseuses se forment, et de leur dépôt successif naît un système de lamelles emboîtées qui rétrécit de plus en plus le calibre du canal de Havers. Plus tard, dans certains cas, une partie de ces couches de formation secondaire sont résorbées et les canaux s'élargissent de nouveau, mais la paroi reste toujours formée par un certain nombre de lames emboîtées. Chacune de ces lames semble formée de deux couches, une pâle et homogène, l'autre plus foncée, striée ou granulée. De là résultent ces zones concentriques si élégantes, alternativement claires et obscures,

que l'on observe sur une coupe du tissu compacte autour de la lumière des canaux de Havers. Les corpuscules osseux, disposés en séries assez régulières, ont dans ces lamelles leur grand axe parallèle à celui des canaux eux-mêmes ; leurs ramifications ou canalicules dirigés, au contraire, perpendiculairement aux faces des lamelles, s'abouchent par des orifices imperceptibles dans la cavité vasculaire (Köl liker). Les systèmes concentriques appartenant à deux canalicules voisins sont séparés l'un de l'autre par une portion de substance osseuse dont les corpuscules sont distribués sans ordre ni régularité, et qui probablement n'est autre chose que la cloison primitive qui séparait deux cavités voisines.

Outre ces systèmes de lamelles concentriques aux canaux de Havers, on observe encore dans le tissu compacte d'autres lamelles dont la direction est parallèle au plan des surfaces de la masse osseuse. Celles-ci se déposent par un procédé analogue à celui des lamelles de Havers, à la surface de l'os dont le développement est achevé, et elles ont pour origine le blastème conjonctif sous-périostal. Les corpuscules osseux de ces couches superficielles ont aussi leurs faces parallèles à celles des lames, et leurs canalicules, dans la lamelle la plus externe, s'ouvrent à la surface de l'os.

Lorsque le tissu compacte forme la limite immédiate d'une cavité centrale médullaire, un système de lamelles communes se développe également aux dépens du blastème médullaire ; leur disposition générale est la même que celle des couches précédemment décrites. Quant aux lamelles communes interstitielles admises par Köl liker dans l'épaisseur même de la substance compacte, leur existence comme formations distinctes ne me paraît pas démontrée.

Il résulte de la structure du tissu compacte telle que nous venons de l'exposer, que l'aspect lamellaire spécial de la substance osseuse de ce tissu ne résulte pas d'une structure particulière de cette substance, mais d'un mode spécial d'accroissement.

Du tissu spongieux. — Quand les aréoles du tissu spongieux

se forment par élargissement des cavités médullaires primitives, tantôt ces aréoles se disposent surtout au voisinage du tissu compacte, en séries régulières parallèles au grand axe de l'os : tissu canaliculaire (Gerdy) ; tantôt les séries se coupent à angle droit : tissu canaliculaire entrecoupé, formé d'aréoles quadrilatères ; tantôt enfin les aréoles sont arrondies ou tubuleuses, mais d'une manière générale elles se dirigent perpendiculairement aux surfaces revêtues d'un cartilage diarthrodial (Gerdy) et parallèlement au grand axe de la masse osseuse. Quant au tissu réticulaire, j'ai déjà dit qu'on devait le considérer comme une raréfaction du tissu aréolaire, formant le passage à la cavité centrale médullaire. Les lamelles ou trabécules à bords irréguliers, dentelés, mousses, sont généralement minces et constituées par une lame de substance fondamentale compacte, avec corpuscules osseux irrégulièrement distribués ; quelques cloisons des plus volumineuses possèdent seules, par exception, des canaux vasculaires qui s'ouvrent dans les espaces aréolaires. Les cavités du tissu spongieux et la grande cavité centrale (canal médullaire), lorsqu'elle existe, sont remplies par des vaisseaux, des nerfs et la substance médullaire. Les vaisseaux communiquent entre eux et avec ceux du tissu compacte auxquels ils ressemblent pour la structure et la disposition générale ; de sorte que le système vasculaire forme dans l'os un tout continu, et que le sang peut se diriger vers toutes les parties dans des directions variées, fait confirmé par l'observation de Bichat, qui put injecter en totalité, par les vaisseaux secondaires, un os (tibia) dont le vaisseau principal (artère nourricière) était oblitéré.

La substance médullaire contenue dans toutes les cavités ou canaux vasculaires du tissu osseux présente d'abord dans tout le tissu un aspect rouge opaque, et partout aussi elle consiste uniquement en blastème amorphe demi-liquide, en innombrables cellules pâles, un peu granuleuses, et avec un noyau également granuleux, avec ou sans nucléole distinct ; en plaques à noyaux multiples, à deux ou trois nucléoles punctiformes, et en noyaux libres. Mais par les progrès du développement des éléments nou-

veaux viennent, dans certaines formations osseuses, modifier l'aspect de la moelle qui devient d'abord rosée, gélatineuse, par l'accroissement proportionnel de la substance amorphe; puis jaunâtre, par le développement de cellules adipeuses et de gouttes de graisse libres au milieu du blastème amorphe.

VAISSEAUX ET NERFS DU TISSU OSSEUX.

Les artères du tissu spongieux pénètrent dans son intérieur sous forme de rameaux d'un petit volume et se ramifient dans les espaces médullaires; les veines ont tantôt le même trajet et des dimensions analogues à celles des artères, tantôt, au contraire, dans certains os elles forment des sinus volumineux (sinus des vertèbres, sinus du diploé des os du crâne).

Les vaisseaux du tissu compacte sont une dépendance du périoste adjacent; ils perdent, comme nous l'avons vu, leur tunique musculaire très promptement, et forment un réseau de vaisseaux, dont le diamètre est plus considérable que celui des capillaires; ils s'en rapprochent cependant beaucoup par leur structure. La cavité médullaire reçoit des vaisseaux habituellement d'un ou deux troncs volumineux seulement (vaisseaux nourriciers); ces vaisseaux ne fournissent que quelques rares rameaux à la substance compacte, au moment où ils la traversent dans un canal particulier. Ils se ramifient en conservant leurs diverses tuniques dans la moelle, et s'y terminent par un réseau de véritables capillaires.

Vaisseaux lymphatiques. — Les observations très incertaines et très incomplètes fournies par différents observateurs (Cruikshank, injection des lymphatiques des côtes; — Bonamy, injection des lymphatiques des condyles du fémur), ne permettent pas de considérer l'existence de lymphatiques dans le tissu osseux comme un fait démontré.

Nerfs du tissu osseux. — Nous avons déjà constaté la présence de ramuscules nerveux dans les espaces, et canalicules médullaires des os. Il nous reste à indiquer leurs sources, leur distri-

bution, leur mode de terminaison. Les nerfs qui pénètrent dans la substance compacte, en accompagnant les fines ramifications vasculaires, proviennent des plexus du périoste.

Aux extrémités des os, et généralement dans le tissu spongieux, beaucoup de nerfs très fins accompagnent les vaisseaux ; quelques-uns cependant ont un trajet indépendant. Enfin, un rameau visible à l'œil nu s'engage avec les vaisseaux nourriciers dans un canal particulier de l'os, et se divise dans la substance médullaire. Ces filets nerveux proviennent tantôt des nerfs rachidiens, tantôt des nerfs de la vie organique ; mais, lors même qu'ils se détachent des nerfs rachidiens, la finesse des tubes qui les constitue rend très probable qu'ils appartiennent constamment au système de la vie organique : ces nerfs paraissent se terminer par des extrémités libres dans la substance médullaire ; on rencontre quelquefois sur leur trajet des corpuscules de Pacini (Kölliker).

FORME PARTICULIÈRE DU TISSU OSSEUX : LES DENTS.

Une des modifications les plus intéressantes du tissu osseux est celle qui constitue l'*ivoire* des dents ; elle appartient à cette classe de formations osseuses qui se développent aux dépens du tissu conjonctif ; l'ivoire des dents, en effet, n'est autre chose que le germe dentaire dont les couches extérieures s'ossifient. Ce germe, au début, se compose : 1° d'une portion centrale, très vasculaire, surtout à l'époque de l'ossification de la dent, et formée d'une substance conjonctive renfermant de nombreux noyaux de cellules ; 2° d'une couche superficielle, limitée extérieurement par une pellicule amorphe très mince (membrane préformative), et constituée par des cellules de 0^{mm},036 à 0^{mm},05 de longueur sur 0^{mm},005 à 0^{mm},0094 de largeur, avec un beau noyau vésiculaire. Grandes et serrées les unes contre les autres immédiatement au-dessous de la membrane préformative, ces cellules, appelées *cellules de l'ivoire*, deviennent de plus en plus petites à mesure qu'on pénètre plus profondément dans la substance du germe, et paraissent

se continuer insensiblement avec la partie centrale de l'organe. Il est évident qu'elles se forment de la profondeur vers la superficie et que les nombreux vaisseaux de la pulpe dentaire n'ont d'autre usage que celui de fournir les matériaux nécessaires à leur développement et à leur transformation. Vers le cinquième mois de la vie intra-utérine, on voit en effet, comme l'a constaté Lent, les cellules les plus superficielles donner naissance à des prolongements, simples ou ramifiés, dont l'étendue devient de plus en plus considérable, et qui finissent par leur réunion, par constituer les *canalicules dentaires de l'ivoire*.

Les cellules de l'ivoire sont très serrées les unes contre les autres, et il n'y a point de place entre elles pour une *substance intermédiaire*. Celle-ci n'apparaît qu'au moment où les cellules s'allongent pour former les canalicules dentaires, et l'on peut admettre qu'elle constitue une sécrétion soit de ces cellules soit du germe dentaire lui-même.

Quoi qu'il en soit, c'est cette substance intermédiaire qui paraît la première, peut-être la seule, envahie par le dépôt de sels calcaires. La manière dont se fait ce dépôt présente quelquefois dans les dents quelque chose de spécial : au lieu de s'opérer régulièrement, comme dans les os proprement dits, il a bien souvent lieu chez l'homme, par places séparées par des espaces non ossifiés, de manière qu'à une certaine époque du développement l'ivoire paraît constitué par des sphères osseuses distinctes. Cet aspect disparaît dans la suite.

L'ivoire complètement développé nous présente à considérer une *substance fondamentale* et de nombreux *canalicules dentaires* qui la traversent. La première est parfaitement homogène, elle ne montre ni cellules, ni fibres, ni granulations. Les *canalicules dentaires* sont des canaux microscopiques de 0^{mm},0015 à 0^{mm},002 de largeur, étendus à travers toute la substance de l'ivoire, depuis la cavité dentaire, dans laquelle ils s'ouvrent par un orifice distinct, jusqu'à l'émail et au ciment. Les canalicules dentaires ne sont point droits ; ils ont un trajet onduleux, et émettent sur

les côtés de nombreuses branches ramifiées par lesquelles ils s'anastomosent les uns avec les autres. Ceux de la racine communiquent avec les canalicules osseux du ciment.

L'ivoire n'est donc autre chose qu'une formation osseuse dans laquelle les cellules osseuses ont subi une modification spéciale par suite de laquelle elles constituent des canalicules cylindriques, très allongés, qui portent le nom de canalicules dentaires.

Le *ciment*, qui ne recouvre que la racine, est l'analogue des productions osseuses fournies par le périoste ; il résulte des matériaux plastiques versés à la face interne du périoste alvéolo-dentaire, et ne diffère en rien quant à ses propriétés physiques, histologiques et chimiques, de la substance osseuse proprement dite. En raison de son peu d'épaisseur, il contient rarement des canalicules vasculaires ; mais on y trouve toujours des cellules osseuses dont les ramifications communiquent avec les canalicules de l'ivoire, preuve évidente de l'analogie qu'il y a entre ces deux espèces de cavités.

VARIÉTÉS DU TISSU OSSEUX.

La substance osseuse présente une grande uniformité de structure dans toutes les classes de vertébrés. Les seules différences tout à fait secondaires sont relatives : 1° à la constitution chimique, aux proportions différentes des sels calcaires et de la substance chondrogène ; 2° au nombre, aux dimensions et à la forme des corpuscules osseux. Dans les poissons les corpuscules sont généralement plus rares que dans les autres classes. Ces éléments manqueraient même complètement, d'après Kölliker, dans les os de certains poissons (*Helmichtys* et *Leptocephalus*). Il est certain, au moins, qu'ils sont quelquefois tellement espacés, qu'on n'en rencontre pas un seul dans tout le champ du microscope. Mandl prétend établir, comme un fait général, l'existence de corpuscules osseux dans les écailles de poissons. Le fait n'a pas été confirmé ; on ne trouve que par exception une véritable structure osseuse

avec corpuscules, dans les écailles épaissies des genres *Polyp-
terus*, *Lepisosteus* et *Thynnus*.

Kölliker considère également comme véritablement osseuses les écailles dures de certains poissons, bien qu'on n'y observe pas de corpuscules.

Quant aux plaques cutanées des Ostracés, Diodons, Esturgeons, Chimères, etc., elles présentent d'une manière indubitable la structure osseuse; on y trouve des corpuscules osseux, rangés en séries rayonnantes à partir du centre de la plaque, disposition qui est en rapport avec celle des faisceaux du derme, régulièrement entrecroisés. Ces corpuscules ne présentent pas de prolongements ramifiés, on les voit provenir directement des cellules plasmatiques du derme. Un fait important, c'est que les écailles et les plaques osseuses sont immédiatement recouvertes par l'épiderme sans aucune membrane fibreuse interposée. Il n'y a pas généralement de cavité médullaire dans les os des poissons; lorsqu'elle existe elle est très peu développée. Leydig divise en deux ordres les os du *Polypterus bichir* (*Zeits. für wissens. Zool.*, V), d'après leur mode de formation et leur structure :

1° Os provenant du tissu conjonctif (cellulaire); leur substance fondamentale est blanchâtre, compacte, lamelleuse; les corpuscules osseux et les canalicules vasculaires d'une extrême ténuité.

2° Os provenant d'un cartilage hyalin, jaunâtres, spongieux, les canalicules médullaires larges, cellules remplies d'une graisse huileuse. La substance fondamentale stratifiée est réduite à une couche transparente.

Le système osseux de certains poissons (*Esox Bellone*, *Sturio magnus*) est remarquable pour sa coloration verte due à une matière grasse spéciale très abondante. Les os des reptiles sont généralement dépourvus de cavités médullaires; il arrive fréquemment que chez eux l'ossification qui s'empare du cartilage procède du dehors au dedans, de manière que d'abord il se forme une enveloppe osseuse, dont le cartilage non encore ossifié occupe l'intérieur et les extrémités. Dans cette classe on trouve également

des formations osseuses du tissu conjonctif cutané, qui sont immédiatement recouvertes par l'épiderme.

Chez les Scincoïdes et Pseudopus, les écailles du derme ossifiées se composent d'une foule de petites pièces osseuses microscopiques réunies par de minces *fibres cellulaires*.

Le tissu osseux des oiseaux est très compacte, la structure lamelleuse très prononcée, les canalicules vasculaires très petits, ainsi que les corpuscules osseux (Bibra); mais ce que ce tissu présente de plus remarquable, c'est qu'il est dans beaucoup de points creusé de cavités spacieuses, qui, au lieu de contenir de la substance médullaire, sont en communication plus ou moins directe avec l'air extérieur. Cette disposition n'existe pas chez l'embryon, où les os renferment tous de la substance médullaire; mais plus tard la substance médullaire se résorbe en totalité, ou seulement en partie, d'où résulte que l'on trouve des os dont la cavité renferme à la fois de la substance médullaire et des canaux aériens (Stark, H. Meckel); dans certaines espèces, presque tous les os sont pneumatisés.

Chez d'autres, au contraire (Mérulides), le tissu osseux contient partout de la moelle.

Les os des cétacés ont un tissu spongieux très lâche, très mince; les cellules y sont plus grandes, mais il n'y a pas de canal médullaire. Le tissu osseux développé dans le derme de certaines espèces de mammifères (Pangolins, Tatous, etc.), est immédiatement recouvert par des productions appartenant au système épidermique.

DES TISSUS CALCARIFIÉS.

Le tissu osseux se présente avec la constitution que nous venons d'exposer chez les animaux supérieurs; mais à tous les degrés de l'échelle animale on trouve tantôt à l'intérieur du corps, tantôt au milieu des autres tissus, des parties dures caractérisées par la présence de sels calcaires unis à une matière organique. Toutes ces parties dures sans exception doivent-elles être regardées

également comme une modification du tissu osseux? C'est ce que l'étude de leur texture et de leur mode de développement peut seule nous démontrer.

De l'émail. — A la surface de certaines formations osseuses du splanchnosquelette (dents chez tous les vertébrés) ou du dermosquelette (plaques osseuses de certains plagiostomes), on trouve une couche d'une substance extrêmement dure et transparente, l'émail. Composé de sels alcalins, phosphate et carbonate de chaux et de magnésie, unis à une petite quantité de matière animale analogue à celle des épithéliums, l'émail est constitué par une innombrable quantité de fibres prismatiques, qui probablement ne sont autre chose qu'une transformation de cellules d'épithélium cylindrique très allongées.

Du test des crustacés. — L'enveloppe externe de la plupart des crustacés est composée de pièces dures dans lesquelles on constate la présence de sels calcaires et d'une substance organique, la *chitine*, qui ressemble à la cellulose des plantes par son insolubilité dans la potasse caustique, mais qui en diffère essentiellement parce qu'elle contient de l'azote (1).

Toute l'étendue du squelette cutané n'est pas envahie par les sels calcaires, dans les parties libres; on distingue tantôt des couches minces composées de fibrilles très fines et parcourues par des canaux si grêles, qu'ils n'apparaissent que comme des points ou des lignes; mais chez certaines espèces on distingue une structure celluleuse manifeste. Un réseau composé de mailles arrondies ou polyédriques résulte de la fusion des parois d'un grand nombre de cellules agglomérées. C'est dans cette couche que se déposent les carbonates et phosphates calcaires. Au-dessous d'elle on rencontre une membrane mince, fibreuse, qui dans la mue, à laquelle les crustacés sont sujets, joue un rôle important et tout à fait analogue à celui du périoste dans l'accroissement du tissu osseux.

(1) Odier, *Mém. Soc. hist. nat. Paris.* — C. Smidt, *Physiol. der Wirbellos*, 1845.

Formations calcaires chez les mollusques.

Chez beaucoup de mollusques la tendance au dépôt des sels calcaires dans les tissus est tellement prononcée, qu'on rencontre ces sels même dans l'intérieur du corps aux parties les plus différentes. Exemple : les aiguilles de carbonate de chaux, chez beaucoup de céphalopodes, dans les *Phyllidia* (où elles forment une sorte de treillage d'après Gray) (1), *Limax*, *Doris*, *Helix*. Chez les *Paludina vivipara* on rencontre dans tout le corps, là où chez les animaux supérieurs abonde le tissu cellulaire, de grandes cellules transparentes avec un noyau pariétal qui sont tellement imprégnées de substance calcaire, qu'on ne peut les démontrer qu'après macération préalable dans les acides. Ce dépôt de matière inorganique a déjà lieu dans l'embryon de ces mollusques si curieux à tant d'égards.

Telles sont encore les aiguilles calcaires qui farcissent la masse musculaire du pied de beaucoup de mollusques térébrants (c'est à l'aide de ces aiguilles, dont une extrémité sert à térébrer, que l'animal use en frottant les corps sur lesquels il se dépose; les plaques dures, osseuses de l'estomac du *Bulla aperta*).

La coquille des Mollusques est une calcarification d'un appendice de la peau sur un point spécial du corps, le *manteau*. Celui-ci est formé par une duplication des téguments extérieurs et renferme, en outre d'une substance conjonctive, granuleuse ou amorphe, rarement filamenteuse, des nerfs, vaisseaux, un épithélium, souvent aussi des fibres musculaires, quelquefois une portion des intestins (*Céphalophores*), ou les organes génitaux (beaucoup d'*Acéphales*). Ce manteau sécrète tantôt par les bords, tantôt par toute sa surface, les éléments constitutifs de la coquille. On peut voir chez beaucoup de mollusques, dans le bord du manteau (*Helix*), d'innombrables petites ouvertures glandulaires qui

(1) *Annals of Nat. History*, XVII, p. 70.

laissent suinter par le contact un mucus que l'on croyait rempli de petites granulations calcaires et destiné à former la coquille.

G.-Semper, dans ses recherches sur les mollusques pulmonés (*Zeits. für wiss. Zool.*, nov. 1856), établit même que les glandes du manteau de ces mollusques ne prennent aucune part à la formation de la coquille et servent uniquement à sécréter le mucus. Il a constaté directement que c'étaient les cellules elles-mêmes de la surface du manteau (cellules épithéliales) qui, s'incrustant de matière calcaire, constituaient la coquille.

Carpenter a également constaté que la calcarification commence par un dépôt de carbonate calcaire dans les cellules du manteau. La trame organique de la coquille préexiste toujours dans l'embryon. La calcarification de la couche la plus extérieure des cellules commence chez plusieurs espèces déjà dans l'œuf, chez d'autres seulement après l'éclosion.

Bowerbank et Carpenter se prononcent décidément pour l'origine cellulaire de la coquille et de toutes les couches coquillières. Pour celles de ces couches qui paraissent entièrement homogènes, sans structure appréciable, ils invoquent leur analogie avec ceux des tissus animaux, dans lesquels, par suite des degrés du développement, l'origine cellulaire n'est plus reconnaissable. Selon Leydy, de Philadelphie (1), la coquille de l'embryon est toute composée de cellules. De plus, dans certaines coquilles, on trouve un passage insensible entre la structure celluleuse et la structure homogène, ce qui permet d'affirmer un développement identique : par exemple, chez le *Thya arenaria*, où, d'après Carpenter, on reconnaît dans un point très distinctement des cellules avec noyau central, tandis que, sur un autre point, les parois de la cellule ont complètement disparu. Même dans la nacre dont la substance paraît si dépourvue de structure,

(1) *Cyclopædia of Anat.*, vol. IV, p. 550.

on rencontre çà et là quelques indices d'une trame organique préexistante (*Haliotis*).

Bowerbank (1) croit avoir vu, dans la coquille des bivalves et même de l'*Haliotide*, de véritables vaisseaux, dont la direction tortueuse et les anastomoses fréquentes rappellent celle des canalicules osseux. Il en conclut théoriquement qu'il existe une communication vasculaire entre la coquille et l'animal qu'elle renferme, par l'intermédiaire du muscle qui s'attache à cette dernière. Carpenter, qui a vu également des tubes très fins former une sorte de réseau dans l'intérieur de beaucoup de coquilles, surtout dans les couches homogènes, ne partage pas cette manière de voir; il en ignore la construction.

Vers intestinaux. — On rencontre fréquemment, immédiatement au-dessous de la peau, des corpuscules elliptiques ou discoïdes, incolores, brillants, qui paraissent composés en grande partie de CaO CO_2 en couches concentriques. On peut les considérer comme constituant une sorte de squelette cutané, mais d'autres fois, ils sont plongés plus profondément dans la substance même du corps; connus jusqu'ici chez les seuls vers rubanés, Leydig (2) les a découverts aussi chez un Trématode du *Cobitis fossilis*.

Il résulte de tous ces faits que nulle part dans les animaux inférieurs les parties dures et calcaires ne présentent la structure du tissu osseux.

Au point de vue chimique, pour les éléments minéraux, le carbonate calcaire prédomine, et non le phosphate, et, d'autre part, pour les éléments organiques, une substance cornée, ou une substance spéciale, la chitine, remplacent partout la gélatine.

Au point de vue de la texture anatomique, les corpuscules caractéristiques du tissu osseux manquent complètement. En effet, chez les animaux supérieurs, l'existence de ces corpuscules est

(1) *Transact. of the Microsc. Society*, Lond., 1844, vol. I, p. 128.

(2) *Zeitsch. für wiss. Zool.*, vol. IV, p. 382.

la conséquence de ce fait fondamental que le dépôt calcaire ne se fait que dans la substance intercellulaire, et respecte partout les cellules : tandis que chez les animaux inférieurs, c'est spécialement dans l'intérieur des cellules elles-mêmes que se déposent les éléments minéraux. Le seul caractère général commun aux tissus osseux et aux tissus calcaires des animaux inférieurs, c'est qu'ils n'apparaissent jamais comme formation primitive et indépendante, que toujours ils résultent d'une modification spéciale, d'un dépôt d'éléments minéraux dans un tissu préexistant.

COMPOSITION CHIMIQUE DES OS.

Quand on traite un os par l'acide chlorhydrique, on dissout toutes les parties terreuses qu'il contient, et il ne reste que la matière organique fondamentale à laquelle M. Robin a donné le nom d'*osséine*, et qui est connue plus généralement sous celui de *substance collagène*. D'autre part, en calcinant un os, on en détruit toute la substance organique, et l'on n'a plus alors que les principes inorganiques qu'il renfermait. Dans l'un et l'autre cas, ce qui reste conserve exactement la forme de l'os primitif, preuve que le mélange des deux substances est aussi intime que possible. Outre l'osséine et les sels terreux, les os contiennent une certaine proportion d'eau et une faible quantité de graisse.

La *substance organique fondamentale des os* est un composé quaternaire voisin des combinaisons protéiques, et dont le caractère essentiel consiste à se transformer en gélatine sous l'influence de l'ébullition. Cette substance, qui représente environ le tiers de la masse totale de l'os, provient évidemment du principe fondamental du cartilage, lequel, par l'ébullition, fournit non point de la gélatine, mais bien de la chondrine. Indépendamment du dépôt de sels terreux dans l'épaisseur du cartilage qui s'ossifie, il se fait donc dans la substance de ce dernier une modification chimique, d'une faible importance, il est vrai, car la gé-

latine et la chondrine ne diffèrent que par des caractères peu essentiels.

On admet aujourd'hui généralement que la gélatine n'existe point naturellement dans les os, non plus que dans les autres tissus qui la fournissent, et qu'elle résulte de l'action de l'eau bouillante sur la substance fondamentale des os.

Les sels terreux qui entrent dans la composition des os, y sont beaucoup plus abondants que dans tout autre tissu, car ils constituent près de $\frac{2}{3}$ de la masse totale de ces organes. Ils consistent en un mélange de phosphate de chaux et de carbonate de chaux, avec des traces de fluorure de calcium et de phosphate de magnésie.

Le phosphate de chaux, que l'on s'accorde aujourd'hui à considérer comme un phosphate tribasique, l'emporte de beaucoup, par sa quantité, sur tous les autres, non-seulement chez l'homme et les mammifères, mais partout où se rencontre du tissu osseux; c'est au point que sa présence en grande abondance est un des caractères qui distinguent le tissu osseux de toutes les incrustations calcaires qu'on pourrait confondre avec lui. Le phosphate de chaux existe en quantité notable dans le sang; son origine n'est donc point difficile à déterminer.

Le carbonate de chaux est beaucoup moins abondant que le phosphate; sa proportion varie d'ailleurs considérablement, suivant qu'on examine tel ou tel os d'un même individu, et suivant l'âge et l'espèce animale.

La magnésie ne se rencontre dans les os qu'en très faible proportion; il est probable qu'elle est combinée à l'acide phosphorique.

Le fluorure de calcium des os a donné lieu à des discussions intéressantes. Découvert par le chimiste Morichini, en 1802, dans les molaires d'un éléphant fossile, ce sel a été trouvé ensuite, par Berzélius, dans les os frais, où il n'existe cependant qu'en très petite proportion. Il en est tout autrement des os fossiles qui en contiennent quelquefois jusqu'à 16 pour 100. Quant à la

question de savoir si cette énorme proportion de fluorure de calcium s'est déposée dans les os fossiles au moment de leur formation, ou bien si elle ne s'y est accumulée qu'après la mort des animaux, nous ne chercherons point à la résoudre. Le fluorure de calcium existe en quantité notable dans l'émail des dents, qui paraît lui devoir en partie son excessive dureté. Il est probable qu'il remplit le même usage dans les os en général, où sa présence n'étonne plus depuis que l'on sait qu'il est soluble dans l'eau.

Nous devons rappeler enfin qu'on a trouvé dans quelques os des traces de fer et de manganèse.

Quel est le mode d'union entre la matière organique et la matière inorganique des os ? La plupart des physiologistes et chimistes modernes, considérant la facilité avec laquelle on enlève l'une ou l'autre, sont portés à voir là un simple *dépôt* des sels osseux dans l'épaisseur de la substance collagène plutôt qu'une combinaison chimique. Schlossberger (*Chemie der Gewebe*, 1^{er} vol., 1856), compare très ingénieusement cette union à celle qui relie les fibres de la cellulose ou de la laine avec la matière colorante dans les étoffes dites bon teint, ou bien encore cette force qui précipite certains corps dissous dans les mailles d'un morceau de charbon ou de tout autre corps poreux placé dans la dissolution.

Rapport entre les substances organiques et inorganiques des os. — Un argument en opposition avec l'opinion que les os sont de véritables combinaisons chimiques est tiré des différences qu'on rencontre dans les proportions relatives des matériaux organiques et inorganiques des os. Règle générale, la substance compacte renferme moins de principes organiques que la substance spongieuse : ce fait pourrait être attribué à l'abondance plus grande, dans cette dernière, du tissu médullaire et des vaisseaux, qu'il est difficile d'enlever.

Voici les résultats d'une analyse comparative de Frerichs :

	<i>Substance compacte.</i>	<i>Substance spongieuse.</i>
Phosphates.....	58,7 — 59,5	50,2 — 51,1
Carbonate de chaux..	10,1 — 9,4	14,7 — 10,9
Matières organiques..	31,5 — 30,5	38,2 — 37,4

Il est certain que les os deviennent plus riches en matériaux inorganiques à mesure qu'ils avancent en âge ; mais on ne sait point encore si cet accroissement se continue jusqu'au dernier terme de l'existence, comme le pensent quelques auteurs, ou bien s'il s'arrête à une certaine époque qu'on pourrait considérer dès lors comme celle du développement parfait de la substance osseuse. Les différences individuelles, d'ailleurs, sont très considérables et l'emportent même, dans un grand nombre de cas, sur celles qui dépendent de l'âge. Le fémur d'un petit garçon de neuf mois renfermait 36,43 pour 100 de sels calcaires ; celui d'une femme de 25 ans, 68,64, et celui d'une femme de soixante-douze ans, 69,82.

Quand on a comparé entre eux les os provenant de *différentes espèces animales*, on a trouvé, dans les rapports de leurs éléments constitutifs, des analogies très grandes. On a constaté cependant des différences notables, mais ici encore ces différences ont varié beaucoup avec les individus. Chez les *mammifères* et les *oiseaux*, la proportion des sels trouvés dans les os a été plus considérable que celle qu'ont présentée les *reptiles* et surtout les poissons ; parmi les reptiles, la tortue et les serpents se rapprochent le plus, sous ce rapport, des animaux supérieurs. Quant aux poissons, ils montrent, eu égard aux proportions des sels calcaires de leur système osseux, les variétés les plus nombreuses et les plus considérables, depuis ceux dont le squelette est cartilagineux jusqu'à ceux dont l'ossification est la plus parfaite.

Non-seulement la proportion des sels calcaires, pris en masse, est fort variable dans les os, mais encore le rapport entre le phosphate et le carbonate calcaire est loin d'être constant dans les diverses classes d'animaux.

Ainsi Bibra a constaté que la quantité de carbonate de chaux renfermée dans les os varie entre 6 et 10 pour 100 chez les mammifères; 0,8 et 2 — 21 et même 25 pour 100 chez les oiseaux; 2,6 — 7,9 chez les reptiles; 2 — 5 et même 9 et 14 chez les poissons.

Le même chimiste a trouvé moins de carbonate de chaux dans les os des jeunes animaux que dans ceux des animaux âgés.

Les *divers os* qui composent le squelette d'un même animal ne présentent pas exactement la même composition chimique; les os longs renferment plus de matériaux inorganiques que les os courts: les os du crâne, en particulier l'occipital et le rocher, se rapprochent beaucoup des os longs. En général, chez les mammifères, c'est le fémur qui contient dans sa substance la plus grande proportion de sels inorganiques (68 — 72 pour 100); à côté de lui se rangent les autres os longs des membres, l'occipital, etc. Les côtes, les vertèbres, les os courts, les os plats se font remarquer, au contraire, par leur pauvreté relative en sels calcaires. Chez les oiseaux, c'est l'humérus qui l'emporte sur les autres os pour sa richesse en principes minéraux, à moins cependant qu'on n'examine des oiseaux faits pour la marche et usant peu de leurs ailes; ces derniers se rapprochent des mammifères.

Il résulte de tous ces faits que les os ne sauraient en aucune façon être considérés comme résultant d'une combinaison effectuée entre des proportions définies de substance organique et de matériaux minéraux, et que leur composition est soumise à des variations sans nombre.

La composition chimique des trois substances qui forment les *dents* n'a pu être étudiée d'une manière exacte, à cause de la difficulté d'isoler nettement ces diverses substances. En général, l'ivoire renferme plus de matériaux calcaires que les os; il est cependant des animaux chez lesquels c'est le contraire qui a lieu. La chimie n'a montré aucune différence notable entre les dents des carnivores et celles des herbivores. MM. Lassaigue et Bibra ont trouvé moins de matériaux organiques dans les molaires que dans

les autres dents. L'émail se fait remarquer par sa richesse en sels calcaires (96 — 98 pour 100 d'après Berzélius, 80 pour 100 d'après Lassaigne). La difficulté qu'on éprouve à se procurer cette substance parfaitement pure, est peut-être la cause de cette diversité dans les résultats. Quant au ciment, sa composition ne paraît point différer notablement de celle des dents.

CHAPITRE III.

FORMATION ET DÉVELOPPEMENT DU SYSTÈME OSSEUX DANS LA

SÉRIE ANIMALE.

Nous avons établi qu'il n'existe de véritable tissu osseux qu'aux degrés supérieurs de la série animale.

La conséquence la plus importante que l'on ait tirée de ce fait est-elle légitime? L'existence d'un ensemble plus ou moins complet de parties constituées par du tissu osseux, l'existence ou la non-existence d'un système osseux mérite-t-elle de servir de base à la grande division de la série animale en deux embranchements nettement séparés, les vertébrés et les invertébrés? Nous ne le pensons pas. Toute classification naturelle doit être dominée par le grand principe de la subordination des caractères, et la base de cette subordination des caractères c'est leur degré de constance. Or, l'existence d'un système osseux est un des caractères les moins fixes et le moins en rapport avec le perfectionnement graduel des organismes dans la série. Cela est vrai non-seulement si l'on considère le développement du système osseux dans son ensemble, mais s'applique surtout au développement, en quelque sorte capricieux, des différentes parties qui composent ce système.

Ainsi, si nous considérons l'ensemble du système osseux, nous voyons qu'il manque complètement dans tout un ordre de poissons, les *cyclostomes*, que l'ensemble de leurs caractères rattache cependant nettement aux vertébrés. Puis, dans l'ordre de poissons

placé immédiatement au-dessus des précédents dans la série, les poissons osseux, le système osseux apparaît avec un développement considérable ; mais tout à coup il disparaît brusquement, en partie ou même en totalité, dans les ordres suivants : microstomes (Esturgeons) et plagiostomes (Squales, Raies). Nous trouvons, à ce propos, un exemple du grand inconvénient qu'il y a à baser une classification sur la présence et le plus ou moins de développement du système osseux. Les zoologistes qui ont suivi ces errements, ont divisé les poissons en ceux qui sont pourvus et ceux qui sont dépourvus de *système osseux*, en *osseux* et *cartilagineux*, et il en est résulté la réunion dans un même groupe de deux ordres, les cyclostomes et les plagiostomes, qui, dans une série naturelle basée sur le perfectionnement graduel des organismes, doivent être placés, ceux-ci à la tête, ceux-là à la fin de la série.

Si maintenant nous considérons le développement particulier de telle ou telle partie du système osseux, nous voyons les côtes, très développées chez les poissons osseux, disparaître complètement dans les reptiles nus, ou ne se montrer qu'à l'état rudimentaire. La clavicule existe chez les reptiles écailleux, elle est très développée chez les oiseaux, elle manque chez un grand nombre de mammifères ; et, parmi ceux-ci, les genres qui en sont pourvus, (certains rongeurs) sont placés beaucoup plus bas dans la série que d'autres chez lesquels elle manque. La raison de ces variations, en quelque sorte désordonnées, de l'évolution du système osseux, est tout entière dans ce fait, que nous avons cherché à établir :

Le tissu osseux n'est qu'une modification d'autres tissus préexistants.

Fait dont la conséquence immédiate est celle-ci : le système osseux n'est qu'une modification secondaire de certains systèmes primordiaux (systèmes cartilagineux et fibreux).

Cela posé, l'étude du développement du système osseux ne peut être autre chose que l'étude des modifications de certains systèmes par les formations osseuses, étude qui doit être suivie dans

les divers appareils à la formation desquels prennent part ces systèmes.

Nous allons donc passer en revue :

Les formations osseuses dans l'*appareil passif de la locomotion* (névro-squelette) ;

Dans l'appareil actif de la locomotion ;

Dans l'appareil tégumentaire (dermato-squelette) ;

Dans l'appareil intestinal, digestif et respiratoire (splanchno-squelette) ;

Dans l'appareil vasculaire ;

Dans l'appareil génito-urinaire ;

Dans les appareils des sens.

Formations osseuses dans l'appareil passif de la locomotion.

— C'est à cet ensemble des formations osseuses que l'on donne généralement le nom de *squelette* ; il vaut mieux le désigner sous le nom de *névro-squelette*. Il a pour centre, en effet, et en quelque sorte pour point de départ, l'enveloppe intérieure des portions centrales du système nerveux, à laquelle se rattachent les *organes de soutien* des parois des cavités splanchniques, et des prolongements appendiculaires du tronc (membres, nageoires, etc.). C'est déjà sous cette forme qu'il se montre lors de sa première apparition en dehors de l'embranchement des vertébrés, chez les céphalopodes, où il est formé principalement par une pièce cartilagineuse qui sert de soutien au ganglion cérébral, et aux organes des sens, le cartilage céphalique, auquel se rattachent des prolongements pour la base des tentacules ou bras. Chez le dernier des vertébrés, l'*Amphioxus lanceolatus*, le centre nerveux, ayant la forme d'un tube canaliculé qui s'étend dans l'axe du corps, au-dessous de lui, dans toute sa longueur et même au delà, on observe un cordon composé de cellules cartilagineuses spéciales, sans substance intercellulaire, la *corde dorsale*, continue avec un anneau de même structure qui entoure la bouche et sert de soutien aux tentacules ou cirrhes buccaux. Une couche

fibreuse spéciale entoure cette corde dorsale; elle-même est enfermée dans un tissu fibreux qui sert aussi d'enveloppe à l'axe cérébro-spinal et d'où partent de simples lames également fibreuses, seules parties qui représentent un squelette servant d'attache aux muscles et déterminant la forme générale du corps (Quatrefages, *Ann. des sc. nat.*, t. IV, 1845).

Puis des plaques cartilagineuses isolées par paires se forment dans la portion de gaine fibreuse qui sert d'enveloppe à l'axe cérébro-spinal, et représentent des arcs de vertèbres supérieurs (*Petromyzon*). Des arcs vertébraux inférieurs cartilagineux se développent également dans les prolongements (lames fibreuses), que la gaine dorsale envoie dans les parois du tronc; enfin, la gaine fibreuse de la corde dorsale elle-même est modifiée par un dépôt de substance cartilagineuse, soit continu sous forme de tube (*Lépidosiren*), soit divisé en anneaux distincts (*Sturioniens*, *Polyodon*). Avant même d'être complètement constitué, cet appareil est partiellement envahi par de minces anneaux ossifiés dans l'épaisseur de la gaine, maintenant cartilagineuse, de la corde dorsale (chimères). C'est la première apparition d'un rudiment de squelette osseux. Mais tout à coup cet appareil, constitué par des parties cartilagineuses et d'autres, en plus grand nombre encore, à l'état fibreux, est envahi par une ossification générale, non-seulement du support et de l'enveloppe du centre nerveux (colonne des corps de vertèbres et base du crâne, arcs vertébraux supérieurs et crâne, etc.), mais aussi des cloisons fibreuses qui servent de soutien aux muscles du tronc. Alors les côtes osseuses, les apophyses vertébrales, si nombreuses dans certaines espèces (*Clupées*), les rayons des nageoires constituent un squelette osseux formé d'innombrables pièces; mais ces pièces, distinctes maintenant, ne sont qu'une transformation de certaines parties de ce tout continu, de substance conjonctive, ici cartilagineuse, là fibreuse, que nous avons vu, bien avant l'apparition d'un système osseux, servir de soutien à la masse du corps et d'attache aux muscles.

Comme pour fournir une preuve manifeste de la fixité du type primordial et de son indépendance de la formation osseuse, le squelette (et par là nous entendons essentiellement la forme de l'appareil de soutien) le squelette rejette les matières terreuses qui l'ont envahi, et brusquement reparait sous sa forme cartilagineuse et fibreuse chez les plagiostomes.

Mais en même temps l'uniformité primitive du type se modifie, les différentes parties se caractérisent et s'isolent plus nettement les unes des autres ; la région céphalique, précédemment confondue en quelque sorte avec le squelette de l'appareil respiratoire et avec les pièces de soutien des membres antérieurs, se dégage et devient plus distincte. Les formations dépendant des arcs vertébraux inférieurs, qui constituaient les côtes chez ceux des poissons osseux qui en étaient munis, disparaissent ; à leur place se montrent à l'état rudimentaire de nouvelles côtes annexées aux corps de vertèbres (certains Squales, *Carcharias*, *Alopias*, etc.), ou aux arcs vertébraux supérieurs, les seules que l'on observera dorénavant aux degrés supérieurs de la série.

Les membres antérieurs et les postérieurs, rapprochés et comme confondus dans la région céphalique chez certains poissons osseux, se placent, les premiers, à l'extrémité antérieure, les autres, à l'extrémité postérieure de la cavité du tronc, et les ceintures plus ou moins complètes qui leur servent de soutien, se rattachent, non plus au crâne, mais au rachis par des liens fibreux. Le squelette des membres eux-mêmes prend un développement plus prononcé (grandes nageoires pectorales des Raies, nageoires ventrales des Squales, dont un rayon isolé figure un rudiment de pied).

Lorsqu'il s'est définitivement constitué sur un type plus parfait, le squelette est de nouveau envahi dans toute son étendue (à l'exception de quelques parties nouvelles, les pièces du carpe et du tarse, chez les *Proteus*, *Siren*, *Salamandra*) par les formations osseuses ; un névro-squelette osseux reparait, qui persistera désormais dans ses parties essentielles, se modifiant seulement

quant aux pièces secondaires, tantôt en acquérant de nouvelles, tantôt au contraire les perdant.

Mais notre intention n'est pas de suivre toutes ces modifications secondaires du squelette osseux ; cette étude est en dehors de notre sujet et appartient à l'histoire de *l'appareil* passif de la locomotion ; nous n'avons voulu, dans ce qui précède, que montrer le mode d'après lequel se développe dans cet appareil un système de pièces osseuses, en apparence distinctes, mais en réalité reliées toutes entre elles par des portions de l'appareil (cartilages, ligaments, membranes fibreuses) persistant à l'état primitif.

Formations osseuses dans l'appareil actif de la locomotion.

— Nous allons maintenant passer rapidement en revue les formations osseuses qui se développent dans l'appareil actif de la locomotion, et montrer par quelques exemples comment ces productions se rattachent à celles du névro-squelette, dont beaucoup de parties n'ont sans doute pas d'autre origine.

Dans les tendons et les aponévroses d'insertion se développent des formations osseuses qui restent indépendantes du névro-squelette, ou du moins n'ont de rapports avec lui que par l'intermédiaire des muscles ou de portions de tendons restées libres : tel est l'os que l'on observe dans le centre aponévrotique du diaphragme chez le Chameau, le Lama, le Hérisson ; tels sont encore les tendons ossifiés des muscles de la jambe chez les échassiers et les gallinacés ; tels sont enfin les os sésamoïdes, dont l'existence est très générale et bien connue chez l'homme même, où Bichat avait parfaitement indiqué leur signification et leur mode de développement. « Un peu plus de gélatine (notre blastème conjonctif amorphe) que n'en contiennent pour leur nutrition propre les corps fibreux, commence à s'y exhiler à l'endroit où un jour, osseux, ils offriront les sésamoïdes. Alors naissent des cartilages, des fibro-cartilages d'ossification, dont on distingue d'autant mieux la base fibreuse qu'on est plus près du temps de leur développement... Le phosphate calcaire commence à s'y déposer : alors le tissu cellulaire se forme à l'intérieur par un mécanisme

analogue à celui des autres os; une légère couche compacte se développe à l'extérieur. Mais au milieu de cet os nouveau, la base fibreuse reste toujours; les fibres du tendon supérieur au sésamoïde se continuent, pour ainsi dire, à travers sa substance, avec les inférieures; aussi les cicatrices de ces os, lorsqu'ils sont fracturés, prennent-elles un caractère particulier et distinctif: c'est leur base fibreuse qui, en s'étendant pour la réunion, établit cette différence. La vie des sésamoïdes participe presque autant à celle du système fibreux qu'à celle du système osseux. » (Bichat, *Anat. gén.*, t. IV.)

La rotule, dont le noyau formé par un cartilage vrai existe déjà vers le troisième mois de la vie embryonnaire, montre à sa périphérie des couches fibreuses qui, plus tard, s'ossifient et au milieu desquelles les cellules formatrices présentent toutes les transitions de forme de la cellule de cartilage à la cellule plasmique.

Mais nous allons maintenant exposer l'évolution d'autres formations bien plus importantes en ce que, développées d'abord manifestement aux dépens des aponévroses ou tendons musculaires, elles se rattachent graduellement au névro-squelette et se fondent avec lui.

Certaines apophyses d'insertion, toutes peut-être, doivent leur origine à ce que des tendons, au milieu des faisceaux desquels on retrouve encore au voisinage de l'os des cellules de cartilage, s'ossifient graduellement à partir du point de contact avec l'os primitif: les limites de cette ossification n'ayant rien d'absolument fixe, la saillie des apophyses est également très variable.

Mais un exemple bien plus frappant nous est fourni par la formation de portions de côtes et même d'un sternum dans les intersections aponévrotiques des muscles de l'abdomen. Chez l'homme et la plupart des mammifères, se montrent des intersections aponévrotiques d'une étendue variable à l'extrémité des côtes flottantes, et indiquent comme une tendance de la part de ces côtes à rejoindre la ligne médiane et le sternum. Dans l'épais-

seur de ce tissu fibreux, il n'est pas rare d'observer des noyaux cartilagineux libres et distincts de l'extrémité antérieure cartilagineuse de la côte. Une disposition analogue est celle que l'on rencontre chez quelques cétacés vrais, où les deux dernières côtes sont libres dans les muscles et séparées des vertèbres et de leurs apophyses par un intervalle assez considérable. Mais chez les reptiles nus, le muscle droit, qui se continue jusqu'au sterno-hyoïdien, présente des intersections tendineuses dont le nombre est le même que celui des côtes. Chez les sauriens serpentiniiformes et chez les ophiidiens, chaque intersection est envahie par le cartilage costal; chez les crocodiles, dans la ligne blanche abdominale, se forme un sternum d'où partent des côtes abdominales en connexion avec le rachis, et qui ne sont autre chose qu'une métamorphose des intersections aponévrotiques du muscle droit et des muscles de l'abdomen.

Enfin, chez les mammifères eux-mêmes, on peut voir naître et se développer en quelque sorte dans une intersection musculaire le premier des os qui s'ossifie chez le fœtus, et qui certes est en apparence une dépendance immédiate du névro-squelette. Chez beaucoup de mammifères, un seul muscle remplace le cléido-mastoïdien, le trapèze et le deltoïde (cétacés, ruminants, solipèdes, etc.). Puis une intersection aponévrotique apparaît (quelques carnassiers); elle s'ossifie partiellement, mais reste encore indépendante du squelette proprement dit (clavicule flottante); l'ossification fait des progrès, la clavicule gagne le sternum (porc-épic), puis l'omoplate. et l'intersection aponévrotique du muscle huméro-mastoïdien est enfin métamorphosée en os du squelette de l'appareil locomoteur.

Formations osseuses dans l'appareil tégumentaire. — Rien n'est plus facile maintenant que de concevoir l'apparition de pièces osseuses, tantôt isolées, tantôt soudées en plaques d'enveloppe, en carapaces plus ou moins étendues, dans l'épaisseur du tissu conjonctif fibreux du derme. Ce tissu est envahi par ces formations, ici dans une portion seulement de son épaisseur, là en

totalité, ou spécialement dans les couches superficielles ; de telle façon que, dans ce dernier cas, l'épiderme ou les productions cornées qui le remplacent, reposent immédiatement sur la surface de l'os cutané.

On observe ces différentes dispositions dans toutes les classes de vertébrés, chez les poissons à écailles osseuses (*Canoides*, *Lepisosteus*, *Thynnus*, etc.), plaques, carapaces (Esturgeons, Chimères, Diodons, Ostracions, etc.); chez les reptiles écailleux, écailles osseuses microscopiques (*Scincoïdes*), plaques osseuses dans le derme seulement (Crocodiles); enfin, carapace cartilagineuse (*Tryonix*) ou plus souvent osseuse, envahissant, non-seulement toute l'épaisseur du derme, mais même les couches musculaires sous-jacentes, et se confondant avec le névro-squelette (Chéloniens).

Cette soudure de deux formations osseuses, si distinctes dans leur origine, est tellement complète, que c'est seulement par des recherches faites sur des fœtus de tortues, que Peters (*Müller's Arch.*, 1839), Rathke (*ibid.*, 1846) et Stannius (*Anat. comp.*) ont pu montrer l'isolement primitif des deux éléments de la carapace osseuse : 1° les éléments appartenant au vertébro-squelette (sternum, côtes); 2° les os cutanés, recouvrant et entourant ceux-ci, qui, plus tard même, finiront par subir une espèce de résorption (Bojanus). Chez les oiseaux, je ne connais guère que le casque des Calaos, et peut-être certaines couches osseuses du bec, qui appartiennent aux formations osseuses de la peau.

Chez les mammifères, on rencontre de nouveau dans la peau des plaques osseuses, libres, soudées en anneaux mobiles, ou en carapaces immobiles, que recouvrent immédiatement des écailles cornées, modification de l'épiderme (Fourmiliers, Tatous, Pangolins).

Certaines cornes ne sont également que des ossifications du derme (*Müller's Arch.*, 1848); telles sont les cornes ou bois des espèces du genre *Cervus*. Ces os cutanés reposent sur l'os frontal, mais ils n'en sont pas une émanation. Dans les premiers temps de leur développement, ils sont recouverts par une couche assez épaisse

de derme garni de poils ; mais graduellement, à mesure que l'os croît, le derme tout entier est pris par l'ossification. La corne de la girafe est aussi un os dermique, mais qui, en quelque sorte, n'arrive jamais à maturité et reste couvert par les couches superficielles de la peau.

Avant de quitter ce sujet, nous devons traiter une question qui s'y rattache intimement, celle de la formation de certains os du crâne (le crâne secondaire, frontaux, pariétaux, portions écaillues de l'occipital, du temporal, du sphénoïde, etc.).

Certains os du crâne qui existent chez la plupart des poissons osseux (*nasaux, sous-orbitaires, sus-temporaux*) ne sont évidemment que des ossifications des couches profondes du derme. Ils contiennent encore dans leur intérieur l'appareil glandulaire des canaux muqueux, dépendance immédiate de la peau. En outre, chez la plupart des poissons osseux (*Salmones, Ésoques*) lorsqu'on enlève certains os de la voûte crânienne qui par leur position correspondent aux frontaux et aux pariétaux, on trouve au-dessous une seconde voûte cartilagineuse d'une seule pièce, ossifiée parfois dans certains points isolés, et présentant parfois aussi des fontanelles ; cette voûte cartilagineuse se continue avec les os de la base du crâne, et l'ensemble de ces deux parties représente parfaitement la boîte crânienne des poissons cartilagineux, le névro-squelette crânien proprement dit ; les plaques osseuses pariétales et frontales lui sont étrangères : ce ne sont que des pièces de recouvrement.

Chez les reptiles nus on retrouve encore très distincts (*Dugès*) un crâne cartilagineux primitif et un crâne secondaire osseux qui l'enveloppe (os en ceinture, etc.) ; mais il semble qu'à mesure qu'on s'élève dans la série, et que le centre nerveux encéphalique prend plus de développement, les fontanelles du crâne primitif, devenu insuffisant, s'élargissent de plus en plus ; une espèce de *spina-bifida* normal se produit, à la suite duquel la voûte cartilagineuse a disparu (*Jacobson* prétend cependant en avoir retrouvé des vestiges chez l'homme même, mais mes propres observations ne me

R.

8

permettent pas d'admettre ce fait) et les os de recouvrement, s'appliquant immédiatement aux bords des os du crâne primitif, complètent et reconstituent la boîte crânienne.

L'observation de certaines monstruosités par arrêt de développement du crâne et de son contenu semble une confirmation évidente de cette opinion. On sait que dans ces cas (Acéphaliens, Pseudencéphaliens) les os du crâne secondaire ou manquent ou sont très incomplètement développés.

Cette évolution du crâne primitif et du crâne secondaire présente une frappante analogie avec l'évolution de la carapace cutanée et des pièces du névro-squelette, s'unissant et se confondant chez les Tortues pour former les parois de la boîte osseuse du tronc.

Mais y a-t-il plus qu'une analogie, y a-t-il similitude entre ces deux faits, et les os du crâne secondaire sont-ils des formations cutanées, comme l'a prétendu Reichert? — Chez certains reptiles (Sauriens, Chéloniens, quelques Ophidiens), on ne peut nier qu'il n'en soit probablement ainsi, au moins pour les couches extérieures de ces os.

Mais il est évident que dans les classes supérieures, les os du crâne secondaire, recouverts par des couches musculaires et aponévrotiques, n'ont aucun rapport avec les couches du derme. — Ces os, à la vérité, comme nos observations nous ont permis de le constater, se développent réellement dans une couche membraneuse préexistante. A quel appareil appartient cette membrane? il nous paraît probable qu'elle est une dépendance des couches musculaires, peut-être une lame aponévrotique d'insertion du muscle temporal.

Formations osseuses de l'appareil intestinal. — Nous ne ferons qu'indiquer ici, comme se rapportant à ces formations, pour l'appareil digestif, les dents maxillaires, palatines, linguales, pharyngiennes, etc., les ossifications partielles de papilles du derme muqueux, l'os lingual des oiseaux et des poissons. Il nous paraît aussi qu'on devrait y rapporter certains os qui, développés dans une

membrane conjonctive, représentent véritablement des plis de muqueuse ossifiés, dont les connexions avec le névro-squelette sont tout à fait secondaires : tels seraient les cornets du nez, simples plis de muqueuse dans certaines de leurs parties et dans certaines espèces animales, et probablement aussi la portion horizontale (voûte palatine) du maxillaire supérieur, que le voile du palais montre encore à l'état membraneux.

La muqueuse des cavités buccale et nasale, qui primitivement communiquent largement ensemble, forme de chaque côté un pli qui marche vers la ligne médiane, et finit par joindre celui du côté opposé (sauf au niveau du conduit naso-palatin); la portion profonde, le derme de ces plis muqueux s'ossifie, et la voûte palatine est formée. La portion de l'appareil intestinal qui constitue les organes de la respiration, possède également des formations osseuses : les os de l'appareil branchial chez les poissons, les cartilages du larynx et de la trachée ossifiés dans certains cas (oiseaux, etc.).

Formations osseuses dans l'appareil génito-urinaire. — Beaucoup de mammifères ont à l'intérieur de la verge un os pénial, véritable ossification de la partie antérieure des corps caverneux ; chez certaines espèces, l'os pénial occupe la majeure partie du pénis ; chez d'autres, il est surtout très développé au niveau du gland, dont il détermine, jusqu'à un certain point, la forme. Cet os, que la portion postérieure érectile des corps caverneux rattache seule au squelette du bassin, fournit au membre génital un soutien constamment rigide, et remplit une fonction identique en somme avec celle du tube fibro-caverneux, dont la rigidité passagère est due à la tension d'une colonne liquide.

Formations osseuses de l'appareil vasculaire. — Ces formations, qui souvent restent à l'état cartilagineux, ou ne s'ossifient que dans un âge avancé, se développent aux dépens du tissu conjonctif fibreux constituant les anneaux des orifices, au point de jonction de ces anneaux, dans le plan des cloisons auriculaire et ventriculaire.

Formations osseuses des organes des sens. — Chez beaucoup d'oiseaux et de reptiles écailleux, un anneau osseux, le plus souvent composé d'une série de pièces isolées, se développe à la partie antérieure de la sclérotique ; il maintient la forme de l'œil, et donne attache aux muscles ciliaires. A l'appareil de l'audition appartiennent des formations osseuses beaucoup plus complexes. Les parois osseuses du vestibule, des canaux demi-circulaires, du limaçon, ne sont pas, comme on le pense communément, creusées dans un os du névro-squelette, le rocher. Ces formations, d'abord cartilagineuses, puis osseuses, ne sont autre chose que l'enveloppe externe des sacs et canaux membraneux de l'audition. On les voit libres d'abord dans l'intérieur de la cavité crânienne (chez les poissons cartilagineux), puis peu à peu recouverts, masqués en quelque sorte, par le développement de certains os de la base du crâne, au centre desquels on les retrouve. Chez les jeunes individus des mammifères et de l'homme, la consistance et l'aspect particulier de cette enveloppe osseuse de l'appareil auditif permettent de l'isoler encore assez facilement de la formation osseuse crânienne qui la recouvre. C'est également comme une ossification d'un appareil appartenant en propre à l'organe auditif qu'il faut considérer les pièces, si variées de forme, qui constituent les osselets de l'ouïe chez les reptiles, les oiseaux et les mammifères. Je regarde donc comme tout à fait dépourvues de base les tentatives que l'on a faites pour retrouver dans ces osselets des pièces plus ou moins métamorphosées du vertébro-squelette, avec lequel elles n'ont rien de commun que la texture osseuse.

CHAPITRE IV.

Évolution du système osseux dans la série des âges.

L'observation de l'évolution du système osseux pendant les périodes embryonnaires met tout d'abord en lumière un fait fondamental : c'est que, contrairement à ce qui a lieu pour les autres systèmes et appareils de l'organisme, cette évolution ne semble pas obéir au type d'après lequel les formations osseuses se sont développées dans la série animale. Là, elles s'étaient montrées d'abord dans les parties centrales du névro-squelette (ossification de la gaine de la corde dorsale et de ses prolongements, corps des vertèbres, lames vertébrales, etc.); ici, au contraire, elles apparaissent en premier lieu à la périphérie dans un os (la clavicule), qui n'apparaît qu'assez tard dans la série (reptiles), et que d'ailleurs nous avons montré n'être qu'une dépendance du système musculaire et se rattacher très secondairement au squelette vertébral ; les os des membres même se montrent et se complètent avant les parties centrales. La raison de ces anomalies, en apparence inexplicables, se trouve encore dans la loi générale que nous avons posée :

Le développement de formations osseuses est un fait secondaire dans l'évolution d'un système et dans l'évolution des appareils qu'il contribue à former.

Un type régulier préside à l'évolution des systèmes, des appareils ; la modification secondaire, irrégulière et capricieuse, n'obéit qu'à des conditions individuelles et locales en quelque sorte.

Ainsi, dans l'embryon d'un vertébré supérieur, nous voyons, au-dessous des rudiments primitifs du système nerveux, se former d'abord l'axe central du névro-squelette, la corde dorsale,

puis la gaine de cette corde; des paires de plaques cartilagineuses, qui bientôt se soudent en anneaux complets, se déposent dans la gaine, dans ses prolongements supérieurs (corps de vertèbres, lames vertébrales); des apophyses transverses, des côtes, un sternum enfin, apparaissent constitués aussi par les éléments du système cartilagineux; plus tard seulement, quand l'appareil du névro-squelette du tronc est achevé, apparaissent comme appendices les membres, dont les pièces de soutien sont même alors à peine esquissées. Tout ici est régulier et calqué avec une merveilleuse exactitude sur le type que nous avons vu se développer dans la série animale.

Mais voici que les formations osseuses vont envahir cet appareil si régulièrement constitué par les systèmes cartilagineux et conjonctif, et tout n'est plus que désordre, et vainement cherche-t-on à ranger sous des lois ces faits capricieux. Le plus grand nombre échappe à ces lois, et l'esprit se fatigue sans succès à vouloir les saisir et les lier en faisceau. Meckel (*Anat. gén.*, t. I, 1816) et M. Serres (*Hist. des progrès des sc. nat.*, par Cuvier, 1819) ont cherché à poser les lois de l'ostéogénie.

Mais les prétendues lois de Meckel ne sont qu'un mélange hybride de propositions qu'aucun principe général ne domine, et qui d'ailleurs, le plus souvent en contradiction flagrante avec les faits, présentent, de l'aveu même de Meckel, des exceptions nombreuses et considérables. Nous ne croyons devoir ni les exposer ni les discuter (1).

Les lois proposées par M. Serres sont pour la plupart l'expression de faits vrais, mais ne sont point susceptibles de l'extension et de la généralisation qu'on a voulu leur donner. La première de ces lois est la *loi de symétrie*, d'après laquelle, en considérant le squelette dans son ensemble, l'ossification y marche des parties

(1) Qu'on en juge par cet exemple : d'après Meckel, l'ordre suivant lequel les os se développent dans l'embryon humain paraît dépendre de celui suivant lequel on les voit paraître dans la série animale, et il s'appuie, pour le prouver, sur le développement précoce de la clavicule.

latérales vers les parties moyennes, et en considérant les pièces osseuses en particulier, chacune d'elles se développe par deux points primitivement isolés.

La première partie de la loi semble justifiée par l'ossification des clavicules, des os des membres, des côtes, qui précèdent celle des corps de vertèbres. La seconde partie, relative aux os en particulier, concorde également avec le mode d'ossification des os impairs et symétriques ; mais elle est certainement en défaut lorsqu'on l'applique aux os pairs, aux os des membres, aux pariétaux, etc.

La deuxième loi, *loi des éminences*, exprime ce fait que les éminences qui surmontent un os se développent généralement par un noyau osseux distinct de celui du corps de l'os.

Cette loi, basée sur des faits réels, concorde avec l'idée que nous avons exposée que des éminences d'insertion ont pour origine la formation de substance osseuse dans la portion d'un tendon ou d'un ligament contigu à un os, formation qui, d'abord distincte, se confondrait secondairement avec le squelette.

La *loi de conjugaison*, d'après laquelle tous les trous et canaux des os résulteraient primitivement d'interstices entre des pièces distinctes, loi vraie si on l'applique aux orifices de sortie des nerfs vertébraux, du *rachis* et même du crâne, devient pour le moins extrêmement douteuse lorsqu'on l'applique aux trous du rocher, de l'étrier, etc..., et impossible si on la met en regard de la formation réelle des cavités dentaires, des canaux médullaires des os longs, etc. Nous en dirons autant de la loi dite des cavités, qui résulteraient toutes de la réunion de plusieurs pièces osseuses.

Sans nous préoccuper de régler ce qui échappe à toute loi, établissons ici quelques propositions qui ne sont que l'expression même des faits (voy. Bischoff, *Développ. de l'Homme et des Mammifères*).

Dans les os longs, le point d'ossification occupe le milieu et l'axe ; l'ossification procède de là vers les deux extrémités et vers la surface ; les extrémités ou les épiphyses ont leurs points

spéciaux d'ossification, ordinairement au nombre de plusieurs, et la plupart du temps aussi elles s'ossifient plus tard ; elles demeurent même séparées de la pièce médiane ou diaphyse par une couche de cartilage, jusqu'à ce qu'elles aient acquis toutes leurs dimensions ; à cette époque cette couche s'ossifie à son tour, après quoi l'os ne forme plus qu'un tout. Les os plats ont généralement dans leur milieu un point d'ossification.

Certains cartilages sont divisés en plusieurs parties par l'ossification (cartilage du crâne primordial), tandis que d'autres (sacrum) sont réunis par elle en une seule pièce.

L'ossification commence à la sixième semaine (Sœmmerring) ou même seulement au second mois (Meckel) chez l'embryon humain. Bien loin d'être achevée à la naissance, elle continue pendant toute la durée de l'enfance et de la jeunesse ; c'est de la vingtième à la vingt-cinquième année que les derniers points osseux isolés se soudent au corps des os dont ils dépendent (épiphyse du fémur, tubérosité de la tête des côtes).

Certaines formations osseuses des muqueuses et de la peau (dents, bois des cerfs) présentent cette particularité qu'à des époques déterminées de la vie extra-utérine elles cessent de faire partie de l'organisme, et sont remplacées par d'autres formations semblables.

Nous avons vu par tout ce qui précède que le développement du système osseux dans l'individu ne paraît régi par aucun ordre régulier ; n'est-il pas possible, cependant, de rattacher le phénomène de l'ossification à certaines conditions organiques et physiologiques ? — A. Bérard a fait une remarque très intéressante, à laquelle on n'a pas donné d'extension, et que lui-même n'a guère appliquée qu'à un point de vue purement chirurgical. Cette remarque est celle-ci : dans un os long, l'extrémité qui se soude la première avec le corps, est celle vers laquelle se dirige l'artère nourricière.

On avait songé autrefois, pour expliquer l'ossification précoce de la clavicule, au voisinage du cœur ; on n'a pas manqué de re-

marquer que le sternum, plus rapproché du cœur que la clavicule, ne s'ossifie que fort tard. — Mais, au voisinage du cœur, fait brut en quelque sorte, substituons l'activité de la circulation d'un organe, la quantité de sang plus ou moins considérable qui le traverse en un temps donné, sous certaines conditions, celle de la distance du cœur, du calibre des artères, de leur trajet plus ou moins direct, etc., et peut-être trouverons-nous là une des causes, la principale peut-être, de la marche irrégulière de l'ossification, et de son apparition précoce dans la clavicule et la mâchoire.

Une activité circulatoire plus grande dans une région s'accompagne presque toujours de l'augmentation de volume des os voisins. (Hypertrophie du tibia au voisinage de vieux ulcères, ostéophytes costo-pleuraux à la suite de pleurésies, etc.)

Dans la série animale, une respiration et une circulation énergiques coïncident avec une ossification précoce, et en quelque sorte exagérée. Chez les oiseaux, quelques mois après la naissance, les os de la voûte du crâne sont complètement soudés, ainsi que la plupart des vertèbres, dorsales, lombaires et sacrées ; les tendons eux-mêmes, dans beaucoup d'espèces, sont devenus véritables os. — Au contraire, à mesure que l'activité de la circulation diminue (Batraciens, Salamandres, Cyclostomes), le système osseux, ou plutôt les formations osseuses du vertébro-squelette, sont de moins en moins développées. — Il est évident néanmoins qu'on ne peut aucunement tirer de ces remarques une loi générale, et que la seule conclusion légitime c'est, comme nous l'avons dit en commençant, que l'évolution des différentes parties du système osseux n'est régie par aucune règle fixe, qu'elle obéit à des conditions très diverses, au nombre desquelles il faut compter sans doute, et comme une des plus importantes, l'activité de la circulation dans les parties en voie d'ossification.

DE L'ACCROISSEMENT DES OS.

Le développement du système osseux ne se borne pas à l'envahissement progressif des parties formées de cartilage ou de tissu

R.

9

conjonctif par de la substance osseuse : en même temps que l'os se constitue il s'accroît ; c'est le phénomène assez complexe qui résulte de ce double-mouvement que nous allons exposer.

Le fait même de l'accroissement de la charpente osseuse est assez clairement démontré par le changement de dimensions des différentes parties du corps dont il détermine la forme. Ce qui nous intéresse, c'est de connaître le procédé d'après lequel l'os augmente dans ses différents diamètres.

En observant l'accroissement du tissu osseux, nous avons vu qu'il était dans certains points la conséquence d'une régénération incessante des éléments du cartilage, à mesure des progrès de l'ossification, par une couche cartilagineuse qui réunit la diaphyse à l'épiphyse : la conséquence de ce fait est l'arrêt de croissance des os en longueur, à l'époque où cette couche cartilagineuse, cessant de se reproduire, est elle-même envahie par l'ossification, et où l'épiphyse se soude avec la diaphyse.

Une expérience de Hunter démontre que c'est seulement à la limite de séparation de l'épiphyse et de la diaphyse que se fait l'accroissement en longueur de l'os. — Deux trous percés dans la diaphyse se maintiennent au même degré d'écartement, au bout de quelques mois, malgré les progrès évidents de l'accroissement. — Une autre expérience, de M. Flourens, démontre directement le même fait. Un clou est planté dans l'épiphyse de l'os, un autre dans l'extrémité de la diaphyse voisine : la distance entre ces deux clous augmente avec l'accroissement.

Mais l'os augmente aussi en volume dans le sens transversal. Nous avons observé qu'à la face interne du périoste, dans toute la périphérie de l'os, se déposait un blastème conjonctif homogène, à cellules plasmatiques, sans cesse renouvelé à mesure que le dépôt calcaire dans la substance intercellulaire le transformait en couche osseuse ; l'os s'accroît donc sous le périoste par dépôt successif de couches nouvelles à sa surface extérieure. Une expérience ancienne de Duhamel, renouvelée avec plus d'exactitude par M. Flourens, démontre également ce fait : un anneau mé-

tallique très mince, introduit sous le périoste, se trouve au bout d'un certain temps complètement recouvert par les couches osseuses de nouvelle formation. Mais si des couches nouvelles viennent sans cesse s'ajouter à l'os ancien, la masse osseuse va prendre un accroissement énorme et en quelque sorte indéfini. Il n'en est rien. Nous avons vu que dans la substance primitivement compacte de l'os, des cavités se creusent par ramollissement de la substance osseuse, à laquelle se substitue la substance médullaire; ce phénomène intervient ici pour maintenir dans certaines limites l'accroissement de l'os. En même temps que le dépôt de couches osseuses se fait à l'extérieur, une résorption de couches osseuses avec développement de substance médullaire nouvelle se fait à la surface de contact des couches internes de l'os et de la substance médullaire.

Par des expériences sur des animaux alternativement nourris avec de la garance et privés de cette substance, expériences précédemment exécutées, mais sans résultat suffisamment précis, par Duhamel et Hunter, M. Flourens a nettement démontré ce double mouvement d'accroissement à l'extérieur et de résorption à l'intérieur du tissu osseux (Flourens, *Théorie expér. de la formation des os*); mais ce résultat expérimental, énoncé en ces termes, devrait amener aussi une augmentation énorme, sinon de la masse, au moins du diamètre du cylindre osseux et une déformation de l'os; il n'en est rien cependant. C'est ce que MM. Brullé et Hugueny (*Ann. des sc. nat.*, 1845) ont expliqué, après Hunter, par un double mouvement de dépôt et de résorption de substance osseuse, tantôt à la surface interne, tantôt à la surface externe de l'os, suivant les régions; explication basée sur ce que, chez des animaux soumis à l'expérimentation par la garance, on observe, tant dans les couches internes que dans les couches externes, des portions rouges et des portions blanches, des portions nouvellement déposées et des portions qui ont échappé à la résorption dans une même couche. En somme, dans les os comme dans tous les autres tissus, l'accroissement est le résultat de la

nutrition, c'est-à-dire d'un double mouvement de résorption et d'exsudation, de désassimilation et d'assimilation, avec prédominance du mouvement d'assimilation tant que dure l'accroissement.

Quand l'accroissement est achevé, le mouvement de nutrition ne cesse pas dans les os, mais il n'est plus possible de le constater à l'aide d'expériences analogues aux précédentes, les os des adultes ne se colorant plus par la garance. Ce fait n'implique pas que rien ne change plus, que rien ne se renouvelle plus dans les os à cette époque; il paraît seulement indiquer que les sels calcaires qui fixent la garance n'éprouvent plus que des mutations insensibles ou nulles; mais la substance organique continue assurément à vivre et à se nourrir.

Les proportions de cette substance, comparées à celles de la matière calcaire, varient-elles aux différentes périodes de la vie? la matière organique diminue-t-elle chez les vieillards? Des observations de J. Davy, confirmées par d'autres plus récentes, mettent le fait hors de doute. (Voy. *Composition chimique des os*.) Des changements indubitables ont lieu dans le système osseux des vieillards. C'est ainsi que la proportion de graisse augmente dans la substance médullaire, comme dans les autres tissus de l'économie. Certaines portions d'os (bord alvéolaire des mâchoires) disparaissent, le tissu spongieux et le tissu compacte se raréfient au point que ce dernier peut devenir transparent et très fragile; mais en même temps, quelquefois, dans le tissu spongieux raréfié se déposent de nouvelles masses osseuses, et la densité de l'os est augmentée.

Ce n'est pas seulement par là que le système osseux semble regagner d'un côté ce qu'il perd de l'autre: en même temps que le tissu du squelette proprement dit se raréfie, l'ossification envahit des parties qui jusque-là y avaient échappé, des os se soudent, les interstices qui les séparaient, leurs moyens d'union, s'ossifient. Il en est de même des cartilages du larynx, de la trachée, des côtes, du sternum, etc.

CHAPITRE V.

Formations osseuses anormales.

Dans les conditions anormales, comme à l'état normal, la substance osseuse peut se former partout où existe de la substance conjonctive, et elle ne se forme que là. Ainsi un état anormal, qui n'est presque que l'extension de l'état normal, c'est l'ossification de la dure-mère; elle est normale dans certaines espèces animales; chez le Chat, les Monotrèmes, etc., où la tente du cervelet et la faux du cerveau sont osseuses; ce sont les plaques osseuses de l'arachnoïde au niveau de la queue de cheval, l'ossification des ligaments, des tendons, des muscles même par les cloisons du myolemme, au voisinage de certaines articulations malades.

L'apparition de productions cartilagineuses (enchondromes), fréquemment ossifiées, dans des organes qui n'ont absolument aucun rapport avec le squelette, la mamelle (Velpeau, Lebert), le testicule (Paget), le poumon, etc., un tel développement, que rien jusqu'ici ne pouvait expliquer, devient aujourd'hui, grâce à la démonstration de la similitude des tissus de substance conjonctive, de leur mélange fréquent, de leur transformation l'un dans l'autre, un fait aussi simple que l'était le développement anormal de tumeurs fibreuses dans toutes les régions aux dépens du tissu conjonctif (cellulaire).

De même, la transformation en une substance osseuse de productions plastiques (véritable blastème embryonnaire) est tout aussi simple que la transformation de ces fausses membranes en fibrilles de tissu conjonctif, en vaisseaux, etc., et n'est toujours qu'une conséquence de la loi que nous avons établie en commençant.

Enfin, pour ce qui concerne les os eux-mêmes, nous voyons, dans les conditions pathologiques, l'accroissement ou la production nouvelle de substance osseuse se faire exactement par

Le même mécanisme qu'à l'état normal, et éclairer même certains points douteux.

La destruction de la substance conjonctive spéciale et des vaisseaux qui remplissent le canal médullaire (exp. de Troja et Flourens), amène la mortification de l'os dans toute son épaisseur; on voit alors le blastème conjonctif avec cellules plasmatiques continuer à se déposer à la face interne du périoste, s'ossifier, et constituer un os nouveau, qui certes ne provient en aucune façon d'une exsudation du cartilage de l'os ancien, frappé de mort.

La substance médullaire, aussi, s'ossifie partiellement à l'état normal, pour former les couches concentriques des canaux vasculaires de Havers; à l'état pathologique, quand le périoste est détruit (exp. de Flourens), c'est cette même substance médullaire qui se transforme en os nouveau au centre de l'ancien os mort, au moins en partie.

Enfin, dans la réunion des os fracturés, il s'épanche au voisinage de la solution de continuité, un blastème réparateur fourni par les organes lésés, muscles, tissus fibreux, périoste, mais c'est d'abord uniquement dans la portion de ce blastème intermédiaire à l'os et au périoste, blastème auquel ce dernier imprime en quelque sorte le cachet de tissu conjonctif ossifiable, qu'apparaissent, et les cellules qui deviendront cellules osseuses, et le dépôt calcaire granuleux qui régénérera la substance osseuse fondamentale. Plus tard la substance médullaire elle-même végète, se met en communication entre les fragments avec le blastème né du périoste, et l'ossification procédant dans toute cette masse, comme dans l'accroissement du tissu osseux, par réseaux qui circonscrivent des espaces médullaires, la continuité du tissu est rétablie.

EXPLICATION DE LA PLANCHE.

- FIG. 1. *a*. Capsules ou cavités primitives du cartilage, subdivisées en deux à quatre cavités secondaires contenant chacune une cellule *b* (utricule primordial), plus ou moins déformée et rétractée, et décrite dans ce dernier état comme corpuscule du cartilage (gross. de 350 diam., obj. 5, ocul. 2, de Nachet). Cartilage épiphysaire du fémur.
- FIG. 2. Cellules osseuses étoilées, isolées par la soude caustique. Gross., 425 diam.
- FIG. 3. *a*. Plaques à noyaux multiples de la moelle des os. — *b* Cellules à noyau de la même substance. Gross., 350 diam.
- FIG. 4. Cartilage en voie d'ossification de la tête d'un métacarpien d'enfant nouveau-né. — *a* Cellules de cartilage en train de se multiplier. — *b* Cavités en séries parallèles. — *c* Limite de l'ossification; à ce niveau on ne distingue que très confusément les cavités osseuses. — *d* La substance osseuse homogène laisse apercevoir nettement les cavités ramifiées. Gross. 150 diam. environ.
- FIG. 5. Lamelle en voie d'ossification du frontal d'un fœtus humain de deux mois et demi environ. — *a* Limite de la zone membraneuse et de la zone intermédiaire. — *b* Limite de la zone intermédiaire et de la zone en voie d'ossification. — *c* Limite de la zone ossifiée. — *d* Trabécule principale du réseau en voie d'ossification. — *e* Trabécule principale du réseau homogène. Gross., 100 diam.
- FIG. 6. Portion de la préparation précédente dessinée à un grossissement de 250 diam. environ. — *a* Trabécule ossifiée avec cavités osseuses ramifiées. — *b* Cavités encore sans prolongements. — *c* Cellules plasmatiques distinctes dans la trame en voie d'ossification. — *d* Les mêmes dans la trame homogène hyaline. — *e* Région membraneuse avec réseaux fibreux et cellules plasmatiques.
- FIG. 7. Fragment de la préparation précédente vu à un grossissement de 420 diam. — *a* Substance conjonctive intercellulaire fibroïde. — *b* Cellules plasmatiques.
- FIG. 8. Portion de cartilage d'ossification avec cavités munies de prolongements et cellules osseuses étoilées dans l'intérieur. — *a* Substance fondamentale. — *b* Limite de la cavité. — *c* Cellule osseuse. Gross., 300 diam.

FIG. 9. Divers degrés de transformation des cellules plasmatiques en cellules osseuses. — *a* Cellule plasmatique avec noyau très distinct dans une cavité sans prolongements. — *b* Une cellule dont le noyau est peu distinct : la cavité commence à se ramifier, mais on ne distingue pas encore de prolongements de la cellule. — *c* Le noyau de la cellule a disparu, elle envoie des prolongements très nets dans les incisures du bord de la cavité. — *d* Cavité contenant deux cellules à noyau très nettes. — *e* Cavité qui commence à se ramifier ; on voit dans son intérieur deux cellules dont le noyau commence à disparaître (du pariétal en voie d'ossification d'un fœtus de trois mois). Gross., 420 diam.

