

Bibliothèque numérique

medic@

**Planteau, Henri. - Développement de
la colonne vertébrale**

1883.

***Paris : Librairie Cotillon, F.
Pichon, successeur,
imprimeur-éditeur, libraire du
Conseil d'État et de la Société
de législation comparée***

Cote : 90975



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

Adresse permanente : [http://www.biusante.parisdescartes
.fr/histmed/medica/cote?90975x1883x07x04](http://www.biusante.parisdescartes.fr/histmed/medica/cote?90975x1883x07x04)

TABLEAU DE L'ÉTAT DE LA
DÉVELOPPEMENT
DE LA
COLONNE VERTÉBRALE

PRÉSENTÉ
DÉVELOPPEMENT
PRÉSENTÉ AU CONCOURS POUR L'AGGREGATION
DE LA
SECTION D'ANATOMIE, PHYSIOLOGIE ET SCIENCES NATURELLES
COLONNE VERTÉBRALE

LA DR. NESTÉ FLANTHAU
MÉDECIN DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

PARIS
LIBRAIRIE CHATELAIN
F. PICHON, SUCCESSEUR, IMPRIMEUR-ÉDITEUR,
11, RUE DE LA HARPE, 11

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS.

DÉVELOPPEMENT

DE LA

COLONNE VERTÉBRALE

THÈSE

PRÉSENTÉE AU CONCOURS POUR L'AGRÉGATION

SECTION D'ANATOMIE, PHYSIOLOGIE ET SCIENCES NATURELLES

PAR

Le D^r Henri PLANTEAU

Ancien interne des hôpitaux,
Membre de la Société anatomique et de la Société d'anthropologie.

PARIS

LIBRAIRIE COTILLON

F. PICHON, SUCCESSEUR, IMPRIMEUR-ÉDITEUR,

Libraire du Conseil d'État et de la Société de législation comparée,

24, RUE SOUFFLOT, 24.

1883

10



0 1 2 3 4 5 (cm)

CONCOURS D'AGRÉGATION

Section d'anatomie, physiologie et sciences naturelles.

Président..... — BÉCLARD.
Juges..... — SAPPEY,
ROBIN,
BAILLON,
LABOULBÈNE,
ORÉ (de Bordeaux),
FELTZ (de Nancy),
TILLEX (Académie de médecine).

Secrétaire..... — CADIAT.

Secrétaire-adjoint. — PUPIN.

Compétiteurs :

Anatomie et physiologie :

DEBIERRE,
DEMON,
IMBERT,
PLANTEAU,
QUENU,
RENÉ,
REYNIER,
SADLER,
VARIOT,
WERTHEIMER.

Histoire naturelle :

BEAUVISAGE,
BLANCHARD,
GRANEL,
HENNEGUY,
LEMAIRE,
MACÉ,
MANGENOT.

DÉVELOPPEMENT DE LA COLONNE VERTÉBRALE

INTRODUCTION.

D'après la définition de Huxley, « la caractéristique universelle des vertébrés est la division de leur corps en deux cavités complètement séparées l'une de l'autre : d'une part, la cavité dorsale qui renferme le système nerveux cérébro-spinal ; d'autre part, la cavité ventrale qui contient le canal alimentaire, le système vasculaire, et une double chaîne de ganglions nerveux, le grand sympathique (1). »

Chez l'adulte, le centre de division de ces deux grandes cavités splanchniques est la colonne vertébrale ; chez l'embryon c'est la corde dorsale (2) ou notocorde dont le développement précède celui de la colonne vertébrale.

(1) Huxley, *Eléments d'anatomie des animaux vertébrés*, trad. française, 1875.

(2) Idem.

L'*apparition* à une certaine période de la corde dorsale dans le feuillet moyen du blastoderme (1), a été regardée comme le caractère de l'embryon des vertébrés. Mais depuis les travaux de Kowaleski (2), on sait que la corde dorsale existe chez les tuniciers et les rapproche de l'amphioxus que l'on a considéré pendant longtemps et que beaucoup d'auteurs considèrent encore comme le plus inférieur des vertébrés. Sur l'embryon des Ascidies, Kowalesky a constaté qu'il se forme un tube nerveux dorsal, un intestin du côté du ventre, et enfin un organe de soutien qui rappelle la corde dorsale. Un organe analogue se rencontrerait chez les insectes. Mais ce sont là des questions sur lesquelles je ne puis insister, et à ce propos je renverrai le lecteur aux travaux de Leydig (3), et à ceux plus récents de Caltia (4) et de Musbaum (5).

Je n'agiterai pas non plus la question de savoir si l'amphioxus est ou non un vertébré. De nombreux travaux ont été écrits à ce sujet, je me contenterai de citer ceux de Quatrefages (6) et dans ces der-

(1) Jé dis *apparition* et non *formation*.

(2) Mémoires Acad. de Saint-Petersbourg, X, 15 et Gegenbaur, *Anat. comp.*, trad. française, 1874, p. 153.

(3) Leydig, *Tafeln 3' vergl anat*, pl. VI, fig. 1. — Tubingue, 1864, idem. — *Zum Bau des Thiereichen corporis*, Tubingue, 1864, vol. 1, p. 211, 217, 272.

(4-5) Caltia, *Beitrage zur Kenntniss des chorda supraspinalis und des centralen peripherien und sympathischen nervensystem der Raupen*.

(6) Mém. sur l'amphioxus.

niers temps ceux de Renault et Duchamp (1), sur la structure de la corde dorsale de l'amphioxus.

Ce sont là sans doute des questions qui peuvent donner lieu aux considérations les plus intéressantes tant au point de vue zoologique qu'au point de vue de l'anatomie générale, mais que je ne puis développer ici. En effet, dans cette thèse, je ne dois m'occuper de la corde dorsale, que là où elle doit déterminer autour d'elle la formation d'une colonne vertébrale; et ce n'est le cas pour ni les tuniciers, ni pour les insectes, ni pour l'amphioxus. Je ne m'occuperai donc de la corde dorsale que chez les vrais vertébrés, et en particulier chez les mammifères et chez l'homme.

Je m'étais demandé un instant si dans l'exposition du développement de la colonne vertébrale je ne devais pas me borner à décrire la notocorde simplement au point de vue macroscopique. Mais j'ai vu bientôt, en étudiant de plus près la question, que l'étude histologique complète de la notocorde m'était nécessaire pour pouvoir exposer son mode de disparition là où elle disparaît, les organes qu'elle contribue à former là où elle persiste.

J'étudierai donc tout d'abord le développement de la corde dorsale, l'époque de son apparition, son origine, sa forme et sa structure histologique. Puis, tout en étudiant les protovertèbres ainsi que la colonne vertébrale cartilagineuse ou osseuse, je décri-

(1) *Comp.-rend. Acad. des sciences.*

rai les rapports que la notocorde affecte avec les organes nouveaux développés autour d'elle, les modifications et les transformations qu'elle subit jusqu'au moment où la colonne vertébrale est complètement développée.

CHAPITRE PREMIER.

DE LA NOTOCORDE OU CORDE DORSALE.

On peut lire dans quelques traités d'embryologie que la notocorde constitue les rudiments de la colonne vertébrale. Ce terme de *rudiments* doit être rejeté. En effet, il peut nous faire supposer que c'est par transformation de la corde que se formera le rachis. Nous savons qu'il n'en est rien. La notocorde qui peut être considérée comme le squelette axial blastodermique ne se transformera jamais en tissu cartilagineux, ni en quelque autre tissu que ce soit. Les vertèbres cartilagineuses vont se développer autour d'elle, et la corde ne contribuera à la formation du rachis que comme directrice, comme gubernaculum.

C'est là un des faits qui prouvent le mieux que « un organe en apparaissant devient la condition nécessaire pour la génération de l'autre (1). » Et comme le fait encore remarquer M. le professeur Robin dans son mémoire sur l'évolution de la notocorde (2), p. 7 : « Cet organe (la notocorde) est un exemple frappant d'un organe transitoire remplacé par un autre, sans qu'il y ait de lien généalogique direct des

(1) Ch. Robin, *Anatomie et Physiologie cellulaires*, 1873, p. 13.

— (2) *Mém. sur l'évolution de la notocorde, des disques intervertébraux et de leur contenu gélatineux*, 1868.

« éléments de celui-ci avec ceux de celui-là. » Il y a là une loi générale que, je dois le dire dès maintenant, j'aurai bien souvent à invoquer dans le courant de cette thèse.

Notocorde. — La notocorde se développe de très bonne heure; elle se montre, au début, comme une ligne étroite de substance plus dense que l'on aperçoit au fond de la gouttière primitive. Baër, en 1828 lui donna le nom de *corde dorsale ou spinale*; Cuvier (1) l'avait déjà observée, non sur des embryons, mais sur des animaux adultes chez lesquels elle persiste : la lamproie, l'esturgeon, la chimère; il la désignait sous le nom de *corde de substance molle du Rachis*. Bischoff, Valentin, l'appellent la *corde vertébrale*, enfin, avec Richard Owen, M. le professeur Robin lui donne le nom de *notocorde* dans son important mémoire lu en 1867, à l'Académie des sciences. C'est à cette source, je dois le dire, que j'ai largement puisé pour la rédaction du travail que je publie aujourd'hui. De nombreux renseignements m'ont aussi été fournis par l'article *Tissu et système fibreux* du dictionnaire encyclopédique (2).

Mais avant d'entrer dans la description de la notocorde, il me faut voir en peu de mots quelle est son origine blastodermique. C'est là un point important

(1) Cuvier, *Anatomie comparée*.

(2) Robin, *Dict. encyclop. des sciences médicales*, 4^e série, t. II, 1878, p. 51 et suivantes.

à spécifier, car nous connaissons alors d'une façon certaine ce que sont les cellules de la notocorde, quelle est la provenance de sa membrane d'enveloppe.

La notocorde apparaît chez le poulet vers la fin du premier jour de l'incubation. La corde dorsale revêt alors la forme d'un cylindre aplati (1). Elle se développe au-devant de la ligne primitive, avant l'apparition de la gouttière médullaire.

On sait, en effet, aujourd'hui, depuis les travaux d'Ém. Dursy (2), de His (3), que la ligne primitive ne doit pas être confondue avec la gouttière médullaire (4). La corde précède donc le névraxe.

Sur des coupes transversales pratiquées sur des embryons à cette période de développement ou à une période plus avancée, on voit la corde ou la section de la corde plus ou moins arrondie, située en avant du névraxe, sur la ligne médiane; de chaque côté se montrent les masses latérales. Au-dessus d'elle, du côté ventral, se montre le feuillet interne. — La corde est donc située sur la ligne médiane, dans l'épaisseur du feuillet moyen dont elle semble faire partie. En effet, la plupart des auteurs jusqu'à ces derniers temps ont considéré la corde comme se développant

(1) Sappey, *Traité d'anat. descriptive*, 1879, t. IV, p. 855.

(2) Em. Dursy, *Der primitivstreif. des Hühnchens*, Lahr, 1866.

(3) His, *Untersuchungen die Erste Anlage der Wirbelthierleibes*. Leipzig, 1868.

(4) M. Duval, *Ligne primitive de l'embryon in Annales des sciences naturelles*, 6^e série, t. VII.

dans le mésoderme. Mais depuis, les nombreuses études faites au sujet de l'origine du feuillet moyen et sur la ligne primitive, ont montré, comme nous le verrons plus loin, que la corde est d'origine hypoblastique, c'est-à-dire épithéliale.

Balfour (1) d'après ses recherches sur l'amphioxus, et sur les Elasmobranches, admet l'origine hypoblastique de la corde. Suivant cet auteur, au début, le feuillet interne du blastoderme formerait sur la ligne médiane une seule couche en contact avec l'ectoderme; cette couche va s'épaissir à partir de l'extrémité céphalique de l'embryon, en forme de tige qui représente les rudiments de la notocorde. Chez les poissons osseux, Calberla, Hoffmann (2), font dériver la corde de l'endoderme. Goëtte partage la même opinion, et les recherches de M. Henneguy sur la truite viennent confirmer cette manière de voir (3).

M. Henneguy a pratiqué des coupes successives sur des embryons de truite, à la période où ils deviennent piriformes. Si l'on procède d'arrière en avant, on voit d'abord qu'au niveau du (bourgeon caudal d'Oellacher) les éléments ne sont pas encore différenciés en feuillets distincts. Puis, plus en avant, on trouve deux couches de cellules nettement séparées, qui doivent être désignées sous le nom d'ectoderme et d'entoderme primaires. Plus loin on voit

(1) Balfour, *Embryol.*, t. II, traduct. française, 1883, p. 50.

(2) Cités par Henneguy.

(3) Henneguy, *Comptes-rendus*, Acad. des sciences, déc. 1882.

le mésoderme se différencier de l'endoderme primaire. Il en est de même de la corde dorsale qui se montre alors sur la ligne médiane. En somme, on peut dire que si, à un moment donné, la corde semble faire partie du mésoderme, elle est d'origine endodermique.

Je ne ferai que signaler la manière de voir de Kölliker à propos des oiseaux (1). Il admet que la corde provient du feuillet externe. Cette manière de voir n'est plus soutenable aujourd'hui.

L'opinion de Hensen (2) pour l'embryon des mammifères est tout à fait différente. Pour lui, la corde dorsale aurait pour origine un pli longitudinal médian de l'hypoblaste. Ce fait, comme nous l'avons vu plus haut, semblerait confirmé par les recherches de Balfour sur les Elasmobranches. Comme le fait remarquer Kölliker, il y aurait donc entre le développement de l'oiseau et celui des mammifères un « écart considérable ».

Pour résoudre la question, ce dernier auteur s'est livré à de longues et minutieuses recherches sur l'embryon du lapin; voici les résultats qu'il aurait obtenus et qu'il expose tout au long dans son traité (3). On le voit très nettement sur ses figures. — (*Rudiments de la corde sur des coupes transversales d'embryon de lapin de huit à neuf jours.* — On voit, di-

(1) Kölliker, *Embryologie*, trad. française, 1880, p. 94 et 95.

(2) Cité par Kölliker, *Embryol.*, p. 283.

(3) *Loc. cit.*, p. 285 et suiv.

sons-nous, sur la ligne médiane, un groupe cellulaire aplati qui, par deux petites incisures latérales, semble séparé de l'hypoblaste qui paraît ne plus exister à ce niveau. Mais Kolliker fait remarquer que probablement, l'hypoblaste étant en ce point excessivement mince, n'est plus visible. D'ailleurs, sur des coupes pratiquées sur des embryons plus âgés, on voit le feuillet interne se continuer au-dessous de la notocorde encore aplatie, quoique devenant très mince à ce niveau. Cet amincissement s'accroît de plus en plus à mesure qu'on se rapproche des parties antérieures. En résumé, d'après Kolliker, la notocorde chez les mammifères provient aussi du feuillet moyen.

Waldeyer admet que, chez le poulet, les deux feuillets primitifs (ectoderme et endoderme primaires) donnent lieu à la formation de la corde.
de la corde.

Mais, comme l'a démontré Van Beneden (1) les cellules de la notocorde ne sont ni d'origine ectodermique, ni d'origine mésodermique. La notocorde naît aux dépens de cellules siégeant sur l'axe de l'endoderme ou hypoblaste. Ce phénomène qui donne lieu à la formation de l'axe blastodermique, n'est pas en tous points comparable à celui qui donne lieu à la formation du névraxe. Il ne s'agit pas là

(1) Voir Robin, *In Dict. encyclop. des sciences médicales*, 4^e série, article *fibreuse*, p. 52.

d'une involution, mais d'une sorte de « gemmation cellulaire à la face adhérente de l'endoderme jusqu'à alors composé, ici comme ailleurs, d'une seule rangée de cellules. »

Comme nous l'avons vu plus haut, Kolliker a parfaitement décrit et figuré ce processus. On voit apparaître d'abord une, puis deux, puis trois rangées de cellules qui se superposent et finissent par donner lieu à la formation d'un cylindre qui d'abord adhère par son arête inférieure à l'endoderme; puis il finit par s'en séparer et semble alors faire partie du mésoderme qu'il divise en deux moitiés latérales dans toute la longueur de l'embryon, excepté à la partie antérieure.

Le cylindre épithélial qui représente la notocorde est encore dépourvu de gaine; il est en rapport par sa partie supérieure ou postérieure avec le cordon épithélial du névraxe. Mais il s'agit là de rapports de contiguité et non de continuité.

Il est encore un autre fait qui nous prouve que les cellules qui constituent la notocorde sont d'origine épithéliale; c'est que, comme nous le verrons plus loin, ce cylindre cellulaire primitif s'entourera d'une gaine homogène tenace en tout comparable à la capsule du cristallin, ou bien aux pièces squelettiques externes, chitineuses des insectes. Et l'on sait, que seuls les tissus d'origine épithéliale peuvent donner lieu à ces productions exo-cellulaires « par exsudation molécule à molécule ». — De plus, comme les organes d'origine ectodermique ou endodermique,

la notocorde ne contient pas de tissu lamineux (1).

Une fois constituée, la notocorde représente « un
« filament plein, grisâtre, composé de cellules nu-
« clés, polyédriques finement granuleuses, très
« adhérentes les unes aux autres par juxtaposition
« immédiate (2). »

Une gaine transparente, hyaline, très résistante, quoique très mince, entoure ce cordon cellulaire, mais sans lui adhérer. En effet, la gaine s'en trouve séparée par un espace rempli d'une substance demi-liquide, de sorte que le cordon cellulaire semble flotter dans l'intérieur de la gaine.

La notocorde, dont nous étudierons plus loin avec plus de détails les éléments constitutants, arrive en avant, chez les mammifères et chez l'homme, jusqu'au niveau des vésicules auditives. A ce niveau, la notocorde, sauf quelques rares exceptions (rats), présente une extrémité légèrement renflée. Cette extrémité antérieure, comme tout le reste de la corde, s'entourera bientôt d'un cartilage qui n'est autre que celui de l'apophyse basilaire.

La corde dorsale ne va pas plus loin en avant. Le lieu où se développera le cartilage du corps du sphénoïde en est dépourvu (3). C'est là un fait important sur lequel il me faudra revenir et insister dans un chapitre suivant.

(1) Ch. Robin, *Art. fibreux du Dict. encyclop.*, p. 53.

(2) Ch. Robin, *Mém. sur l'évolution de la Notocorde*, in-4, 1868.

(3) Il y a des exceptions. — Voir plus loin.

L'extrémité postérieure de la corde est amincie et s'étend jusqu'au point où se développera plus tard la dernière vertèbre coccygienne. Je n'ai pas besoin de dire que la corde s'étendra plus ou moins loin à la partie postérieure, suivant que l'embryon doit être pourvu d'une queue ou non, et suivant le nombre des vertèbres qui doivent constituer cette queue.

Sur un embryon humain long de 3 à 6 millimètres, M. le professeur Robin a pu voir que l'extrémité antérieure de la notocorde était située sur la ligne médiane au niveau des deux yeux ; l'extrémité postérieure, dans le prolongement caudal, arrivait jusqu'à un demi-millimètre de l'extrémité. L'extrémité antérieure était légèrement renflée en massue, la postérieure se terminait en pointe mousse. Sur cet embryon, le névraxe reposait directement sur la gaine de la notocorde sans interposition de cartilage ou d'autre tissu.

Sur un autre embryon long de huit millimètres et demi, la corde avait 6 millimètres de long et un diamètre de 7 centièmes de millimètres. Déjà, sur cet embryon, se montraient les protovertèbres de la région dorso-lombaire.

Suivant les espèces animales, la notocorde présente un diamètre variable dans les différentes régions, ou bien est d'un calibre uniforme sur toute sa longueur. C'est ainsi que M. Robin a pu constater que chez le cochon d'Inde, elle a un diamètre moyen de 45 μ à 50 μ ; tandis que, chez le rat, (*mus decumanus*),

elle se présente sous la forme d'un filament hyalin, très-régulièrement cylindrique dans toute sa longueur, ne présentant pas de renflement à sa partie antérieure, et se terminant en arrière par une extrémité mousse. Telle est la notocorde au point de vue de sa forme extérieure, avant qu'autour d'elle soient apparues les protovertèbres.

Mais avant d'étudier les modifications que subira la notocorde quand les premiers rudiments de la colonne vertébrale se seront montrés, voyons en peu de mots quelle est sa structure, quels sont ses caractères histologiques.

J'ai déjà parlé plus haut de la gaine, j'ai indiqué sa provenance et décrit son mode de formation ; je n'y reviendrai pas. Mais étudions de plus près le contenu de cette gaine.

Les cellules de la notocorde ont un diamètre de 25 à 40 μ chez les mammifères et les oiseaux (Robin) ; ce sont des cellules « transparentes, polyédriques, grisâtres. » Elles sont munies d'un noyau et d'un nucléole brillant. Un fait important à noter, c'est que l'eau les gonfle et les déforme très-rapidement.

Entre le cordon celluleux ainsi constitué et la gaine se trouve interposé un liquide visqueux et hyalin. Ce liquide ayant un pouvoir réfringent égal à celui de l'enveloppe de la corde, empêche, avant qu'un commencement d'altération cadavérique ne se soit produit, de pouvoir distinguer nettement l'épaisseur de

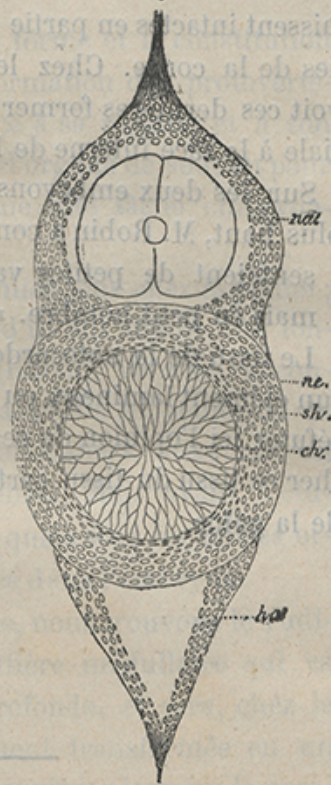
la gaine.—L'acide acétique en rendant grenule le cordon cellulaire de la notocorde rend plus apparente encore la ligne qui délimite la face interne de la cavité.

D'après Balfour(1), les cellules de la notocorde subissent des déformations à peu près analogues chez tous les vertébrés.

Des vacuoles repoussent le protoplasma cellulaire vers la périphérie autour du noyau. De sorte que, sur une coupe, le tissu de la notocorde semble constitué par un réseau fibrillaire des plus élégants. Contre les trabécules, se trouvent refoulés les noyaux des cellules entourés d'une mince couche de protoplasma. En même temps que se produit ce phénomène, on observe un épaississement de la gaine.

D'après Kölliker, cette augmentation de volume de la gaine peut s'observer chez le poulet dès la fin

Fig. 1.



Section transversale de la colonne vertébrale d'un embryon de scyllium dans la région de la queue.

na. Arc neural.—ha. Archaemal.—sh. Notochorde.—ne. Gaine interne de la notocorde.—nc. Membrane élastique interne.

(1) *Loc. cit.*, t. II.

du troisième jour. Le tissu qui constitue cet épaissement ressemblerait à celui de l'organe de l'émail, sans qu'on puisse toutefois les assimiler d'une manière absolue.

Chez les vertébrés supérieurs, ces modifications laissent intactes en partie les cellules les plus externes de la corde. Chez les vertébrés inférieurs, on voit ces dernières former comme une couche épithéliale à la face interne de la gaine.

Sur les deux embryons humains dont j'ai parlé plus haut, M. Robin a constaté que « les cellules pré-sentaient de petites vacuoles à contenu hyalin, « mais en petit nombre. »

Le tissu de la notocorde ne renferme (Robin) aucun élément lamineux ou autre, et je crois inutile de réfuter ici l'opinion de ceux qui ont voulu rapprocher ce tissu du tissu cartilagineux, du moins celui de la gaine.

CHAPITRE II.

LES PROTOVERTÈBRES. — LA COLONNE VERTÉBRALE

MEMBRANEUSE.

Nous venons d'étudier la forme et la constitution de la notocorde avant la formation des protovertèbres. A cette époque, « grâce à sa rigidité et à son « élasticité, elle joue le rôle d'organe de soutien pour « la portion du blastoderme dite tâche embryon- « naire » (Robin).

Bientôt, vers la fin du premier jour chez le poulet ; chez les mammifères, quand ils ont atteint une longueur de 5 à 6 millimètres (Robin), vont se rencontrer, sur les côtés et vers la partie moyenne de la notocorde, des organes particuliers auxquels on donne le nom de protovertèbres. Mais avant d'étudier ce phénomène, voyons quels sont les autres organes qui se sont développés dans l'embryon.

Du côté dorsal de la corde, nous trouvons le rudiment du névraxe, la gouttière médullaire qui va devenir de plus en plus profonde, et sera, chez le poulet, presque complètement transformée en un tube creux vers la fin du deuxième jour ou le commencement du troisième.

Sur les côtés de la corde, nous trouvons les lames latérales ou vertébrales ; du côté ventral, la gouttière intestinale qui se creuse de plus en plus ; puis enfin, se développeront les premiers vaisseaux, et les deux

aortes viendront se placer de chaque côté de la colonne vertébrale embryonnaire. Sans entrer dans plus de détails à propos de ces organes qui se sont développés ou vont se développer dans le voisinage de la notocorde, il était nécessaire de les signaler dès maintenant. En effet, comme nous le verrons plus tard, le développement et la morphologie de la colonne vertébrale se trouvent subordonnés au développement et aux dispositions particulières des autres organes que je viens de signaler.

Mais revenons aux protovertèbres. Quand on examine un embryon de poulet après 24 à 30 heures d'incubation, on aperçoit qu'il s'est formé une ou plusieurs lignes transversales de chaque côté de la notocorde; ces lignes limitent des espaces, ou plutôt divisent en segments les tissus situés dans la zone rachidienne. Une fois que deux lignes se sont ainsi formées, la première protovertèbre est délimitée; puis la formation d'une seconde ligne ou fente en avant de la première donnera lieu à la formation de la deuxième protovertèbre; cette dernière qui est la seconde dans l'ordre chronologique, restera la première dans l'ordre sérial. D'après Kölliker (1), toutes les autres protovertèbres se développeront, non pas en avant mais en arrière des premières.

Cette manière de voir n'est pas absolument adoptée par tous les auteurs, ni par Kölliker lui-même.

(1) *Traité d'embryol.*, p. 114.

En effet, un peu plus loin (p. 147), décrivant un embryon de poulet à la fin du troisième jour de l'incubation, Kölliker fait remarquer qu'il y a alors 16 à 17 protovertèbres, et que la plus antérieure arrive jusqu'au niveau de l'appareil auditif; à ce propos, il met en doute ce fait d'après lequel, après la formation des deux premières, les autres protovertèbres ne se développeront plus qu'à la partie postérieure de l'embryon. On peut admettre (1) que deux ou trois peuvent se développer encore au-dessus de la première; ce seraient donc la deuxième ou la troisième vertèbre cervicales qui se développeraient les premières. Mais toutes les autres se développeront régulièrement de haut en bas. La première vertèbre se montre toujours dans un point correspondant au premier point de soudure des lames médullaires (Sappey).

D'après ce qui précède, on peut voir que je n'ai parlé jusqu'ici que de la segmentation transversale, de sorte que les protovertèbres proprement dites ne sont pas encore différenciées du reste des masses latérales. Ces dernières, d'après Forster et Balfour (2) pourraient être appelées protovertèbres primitives, avant qu'un plan ne les aient divisées en protovertèbres proprement dites et en plaques musculaires. Balfour (3) fait, en effet, remarquer que la première

(1) Sappey, *Traité d'anatomie*, 1879, t. IV, p. 858.

(2) *Éléments d'embryologie*, trad. franç., 1877.

(3) *Embr. comp.*, édit. angl., p. 453.

segmentation des rudiments de l'axe vertébral ne porte pas seulement sur les protovertèbres, qu'elle n'est pas primitive, mais secondaire à la segmentation des masses latérales; la segmentation musculaire précéderait, ou du moins se montrerait en même temps que la segmentation vertébrale. Aussi, allons-nous voir chaque segment de cette première ébauche de la colonne vertébrale correspondre exactement à une lame musculaire. Le centre de l'un correspond parfaitement à la partie moyenne de l'autre.

C'est là un fait important à signaler et sur lequel j'insiste, car il nous montre déjà que le rachis ne détermine ni ne commande les formations musculaires, mais que ces dernières, au contraire, vont avoir une grande influence sur la forme que les vertèbres prendront plus tard. Mais expliquons-nous. Ce n'est pas mécaniquement que les muscles agissent, il est à peine besoin de le dire, mais leur simple forme, la disposition qu'ils affectent vont déterminer la forme et la disposition des pièces osseuses sur lesquelles ils iront s'insérer. C'est d'ailleurs un point sur lequel il me faudra revenir plus tard à propos de la forme et de la disposition des apophyses épineuses chez les carnassiers.

Nous venons donc de voir que les protovertèbres se montrent d'abord comme de petites masses quadrilatères sur les côtés de la corde dorsale. Ces masses sont constituées par des cellules qui offrent la disposition suivante : au centre, amas de petites

cellules transparentes (His); de sorte que Remak et Kölliker ont pu considérer ce point comme occupé par une substance liquide (1) Autour de ce centre, des cellules prismatiques affectant la disposition rayonnée forment la couche corticale.

Bientôt ces masses latérales vont se réunir en avant et en arrière de la corde, lui formant ainsi une gaine complète de laquelle partiront bientôt des prolongements postérieurs; ces prolongements convergeant en arrière de la moelle vont former aussi une gaine complète à cet organe; sauf dans les points où se développeront les ganglions rachidiens, et se formeront plus tard les trous de conjugaison. Ces dernières parties représentent les organes que nous appellerons *arcs neuraux* dans les périodes cartilagineuse et osseuse du développement.

Comme je viens de le décrire, les protovertèbres se montreraient sur les côtés de la corde, puis envahiraient en arrière des prolongements pour envelopper la moëlle. Dans un mémoire récemment publié, le docteur Aug. Froriep (2) de Tubingue donne de la formation de la protovertèbre chez le poulet une description un peu différente. Les recherches de cet auteur ont surtout porté sur la région cervicale. Pour lui, le développement de la protovertèbre ne

(1) Forster et Balfour, *loc. cit.*, p. 159.

(2) Aug. Froriep, *Zur Entwickelungsgechichte der Wirbelsäule Insbesondere der Atlas and Epistropheus und der occipital region in Archiv für anat et Entewick*, 1883.

débiterait pas par le corps, mais par les arcs; il n'admet pas la théorie de Remak qui fait provenir les arcs du corps de la vertèbre. Pour Froriep, les épaississements que l'on observe sur les côtés de la notocorde vers le quatrième jour de l'incubation, ne seraient pas les rudiments des corps, mais ceux des arcs vertébraux primitifs. Aucun tissu ne s'est encore formé autour de la corde. Il n'y a pas encore de corps vertébral.

Ces deux arcs latéraux vont se développer du côté ventral plus rapidement que du côté dorsal. Dans cette région, les arcs rudimentaires passent entre les nerfs et les lames musculaires. Du côté ventral de la notocorde, ils vont se réunir en un point que Froriep propose d'appeler la boucle ou l'agrafe. Ce n'est que vers la fin du cinquième et du sixième jour que se montreraient autour de la notocorde les rudiments du corps vertébral. En résumé, nous voyons que, chez le poulet, les arcs primitifs se développent avant le corps, et que ces deux formations sont absolument indépendantes l'une de l'autre.

Comme on le voit aussi, ces deux arcs par leur réunion en avant et en arrière de la notocorde donnent lieu à la formation d'une protovertèbre qui se rapproche beaucoup de la vertèbre type : arc neural en arrière, corps vertébral sur la ligne médiane, arc hœmal en avant. La partie médiane ou point de suture des deux moitiés de cet arc hœmal ou ventral porte, nous l'avons dit, le nom d'agrafe. J'insiste sur

ce point, car nous le verrons plus tard, Frieriep fait jouer à cette agrafe un rôle des plus importants dans le développement de l'axis et de l'atlas.

Disons en outre, avant de terminer ce chapitre, que nous retrouverons cette indépendance de formation des masses latérales et du corps dans les débuts de la période cartilagineuse; et cela est constaté depuis longtemps, contrairement à l'opinion des auteurs qui ont décrit les masses latérales comme des excroissances, des bourgeonnements du corps vertébral. Ces masses, distinctes de ce dernier, ne se souderont que plus tard à lui. (V. Robin, *Mém. sur la notocorde*, p. 68).

Ainsi se trouve constituée la colonne vertébrale membraneuse. Il n'y a plus que des traces de la première segmentation, et sauf dans les points que j'ai déjà signalés, le rachis membraneux forme un tout continu qui enveloppe la notocorde et le névraxe. Le tissu qui le constitue est formé des cellules du feuillet blastodermique moyen. Je n'insiste pas pour le moment sur les caractères histologiques de ce tissu; j'y reviendrai bientôt quand je traiterai de la transformation du rachis membraneux en rachis cartilagineux. Cependant, je dois faire remarquer que ce terme de *rachis membraneux* ne doit pas être pris dans le sens de rachis constitué par des membranes. Membraneux doit être pris ici comme synonyme de *mou, pas encore solide, peu résistant*. En effet, dans les tissus qui enveloppent la notocorde et la moelle,

nous ne pouvons rencontrer encore aucun élément des tissus lamineux ou fibreux qui constituent les véritables membranes.

Pendant tout ce stade du développement de la colonne vertébrale, la notocorde n'a pas changé de forme, elle s'est allongée. Son extrémité antérieure est toujours parfaitement délimitée. Quant à son extrémité postérieure, d'après Kölliker, tant que dure la formation des protovertèbres, elle reste indécise et se continue, en arrière, avec cette région où les feuillets du blastoderme ne sont pas encore différenciés (Noyau caudal d'Oellacher. — Voir plus haut p. 12).

Mais aussitôt que la formation des protovertèbres s'est accomplie, on la voit se terminer par une extrémité fine et arrondie de 60 μ d'épaisseur. Le tube médullaire se termine au même niveau (Kölliker).

CHAPITRE III.

COLONNE VERTÉBRALE CARTILAGINEUSE.

Le rachis membraneux, au moment où vont apparaître les cartilages, constitue un tout continu, entourant comme par un double tube la corde en avant, la moëlle en arrière. Les protovertèbres sont fusionnées les unes avec les autres dans le sens longitudinal ; mais, comme le fait remarquer Kölliker (1), on peut encore reconnaître leurs limites aux lames musculaires, aux artères intervertébrales qui précèdent les futures artères intercostales et lombaires. Les ganglions rachidiens sont, eux aussi, développés à cette période ; c'est là un point important sur lequel il nous faudra revenir plus loin à propos de la segmentation secondaire.

Quand la vertèbre cartilagineuse sera complètement développée elle présentera suivant les régions, la même forme, la même disposition des apophyses, etc... que la vertèbre osseuse qui doit lui succéder. Aussi, dois-je abandonner un instant l'histoire du développement de la colonne vertébrale, pour dire quelques mots sur la vertèbre en général, définitivement constituée.

Une vertèbre, chez les mammifères et chez l'homme, prise, par exemple, à la région dorsale se compose :

(1) *Loc. cit.*, p. 429.

1° Du *corps* de la vertèbre, volumineux, cylindroïde. Les corps superposés et réunis entre eux par des ligaments, constituent, au point de vue mécanique du moins, la portion principale du rachis.

2° En arrière de ce corps, on voit les *lames vertébrales*, converger en arrière. A leur point de réunion, elles sont surmontées par une apophyse, l'apophyse épineuse.

3° Sur les parties latérales, les apophyses articulaires et transverses. Les masses postérieures et les masses latérales sont réunies au corps par une portion rétrécie, le pédicule. Par leur superposition, les pédicules limiteront des orifices qui sont les *trous de conjugaison*.

Mais, pour bien comprendre le développement de la colonne vertébrale, pour pouvoir donner à chacune de ses parties la signification qu'elle peut avoir dans les différentes régions du rachis, il nous faut considérer la vertèbre à un point de vue plus spécial encore. En effet, la vertèbre telle que je viens de la décrire est une vertèbre incomplète. Elle ne possède que l'arc postérieur qui va envelopper la moëlle. Mais l'anatomie comparée, l'étude du développement du rachis dans la série des vertébrés, nous montrent que la vertèbre complète, réduite à sa plus grande simplicité se compose d'un corps surmonté en arrière d'un arc destiné à envelopper le névraxe ; c'est l'*arc neural*. Sur la partie antérieure du corps vient se souder un autre arc destiné à protéger le système

sanguin, c'est l'*arc hæmal*. Ce sont là les parties essentielles de la vertèbre complète ou type. Nous verrons cependant que d'autres parties doivent y être ajoutées (V. fig. 1).

La théorie de la vertèbre type date du commencement de ce siècle. Elle est due à E. Geoffroy Saint-Hilaire (1). (*Leçons d'anatomie comparée*, 1809). Cependant il faut dire que ce n'est qu'en 1822 qu'il définit la vertèbre comme formée d'un corps muni en avant d'un arc hæmal, en arrière d'un arc neural. De Blainville (2), tout en admettant l'arc neural et l'arc hæmal se refuse à considérer les côtes comme faisant partie de ce dernier.

C'est à R. Owen (1838) (3), que l'on doit d'avoir exposé de la façon la plus complète et la plus claire, et d'avoir démontré que les côtes destinées à protéger l'organe central de la circulation doivent être considérées comme faisant partie de l'arc hæmal et par conséquent de la vertèbre. Il me faudra donc, sans y insister beaucoup cependant, étudier le développement des côtes. Nous verrons, en effet, que la connaissance du développement de ces organes nous

(1) *Considérations générales sur la vertèbre* (Mém. du Muséum, t. IX, p. 89, 1822). — *Philosophie anatomique*, 1828. — *Des monstruosité humaines*, 1822, Ann. des sc. nat., 1824. — *Principes de philosophie zoologique*. Paris, 1830 (thèse de Camille Bertrand, Montpellier, 1862).

(2) *Ostéographie comparée*.

(3) R. Owen, *Principes d'ostéologie comparée*, trad. française, 1855.

sera indispensable pour expliquer les modifications que subissent dans leur forme les parties latérales des vertèbres dans les différentes régions de la colonne vertébrale.

Owen donne de la vertèbre la description suivante : Toute vertèbre dans son type complet se compose : d'un corps ou centre d'où vont partir deux anneaux ou arcs. Un postérieur ou neural, un antérieur hœmal ou hœmatal.

L'arc neural se compose des *neurapophyses* ou lames vertébrales ; et de la *neurépine* qui les surmonte, ou apophyse épineuse. L'arc hœmatal se compose des *pleurapophyses* ou côtes vertébrales, et des *hœmapophyses* ou parties sternales des côtes ; l'hœmépine est le sternum.

Sur les parties latérales du centre du corps se montrent les *parapophyses* ou apophyses transverses, et les *zygapophyses* ou apophyses articulaires.

Enfin, une vertèbre peut posséder encore, surtout dans la région cervicale, des *diapophyses* ou apophyses transverses supérieures. Les parapophyses et les diapophyses formeraient en se réunissant un canal contenant un vaisseau et souvent un nerf (1). Nous aurons à revenir sur cette manière de voir à propos des apophyses transverses de la région cervicale.

(1) Voir thèse de C. Bertrand, Montpellier, 1862.

Il me faut encore, avant d'aborder l'étude de la colonne vertébrale cartilagineuse m'occuper d'une autre question.

Me faut-il étudier le développement des vertèbres crâniennes? Je crois pouvoir les laisser de côté, le titre de ma thèse étant : « *Du développement de la colonne vertébrale.* » Il en eût été autrement si l'on m'eût donné comme titre : « *Du développement des vertèbres.* » On sait que c'est à Goëthe que l'on doit d'avoir le premier émis l'idée de la théorie vertébrale du crâne. Mais cette découverte fut surtout mise en lumière par les travaux de Oken en 1807. Goëthe ne publia ses travaux qu'en 1820. Cependant, d'après Virchow, dans une lettre que Goëthe écrivait en 1790 à une dame Herder, il est fait mention de la théorie vertébrale du crâne. Je m'arrêterai là dans cet historique, renvoyant le lecteur à la thèse de Bertrand où l'on trouvera l'historique de la question complètement exposé, ainsi que les diverses théories qui ont été émises depuis Dumeril (1808), E. Geoffroy Saint-Hilaire (1809), jusqu'aux travaux de Owen et de Goodsir et la thèse de Bertrand. En somme, on admet aujourd'hui trois vertèbres crâniennes. Je ne ferai que les énumérer d'après le chapitre intitulé *vertèbres crâniennes*, du traité d'anatomie de M. le professeur Sappey (1).

D'arrière en avant; une vertèbre postérieure ou

(1) Sappey, *Traité d'anatomie*, t. 1^{er}, pages 294 et suivantes.

occipitale; une vertèbre moyenne ou sphéno-temporo-pariétale; le corps de cette dernière est constitué par la moitié postérieure du sphénoïde. La vertèbre antérieure a pour corps la moitié antérieure du sphénoïde, pour apophyses transverses les apophyses d'Ingratias (Sappey), pour lames et apophyses épineuses les deux moitiés du frontal.

Mais avant d'abandonner la question des vertèbres crâniennes, il est encore un point que je dois discuter.

Sans doute, si l'on ne considère que l'être complètement développé, la distinction du crâne et de la colonne vertébrale est des plus faciles. La limite de ces deux organes est le trou occipital. Mais rappelons-nous ce que nous avons dit plus haut. La corde dorsale forme tout d'abord le squelette blastodermique. Puis, nous la voyons devenir le centre du rachis membraneux; on doit donc au point de vue embryogénique considérer comme colonne vertébrale tout ce qui se développe autour de la corde dorsale. Nous savons que la notocorde ne dépasse pas l'apophyse basilaire. Cependant M. Robin a pu, sur un rat, la suivre jusque dans le sphénoïde postérieur (1) et M. le professeur G. Pouchet a pu constater que les deux portions du sphénoïde restaient indépendantes. Voici d'ailleurs la description qu'il donne de cette disposition :

(1) Thèse de Bertrand, *loc. cit.*, p. 456.

« Pendant que l'apophyse basilaire s'unit de très-
« bonne heure avec le corps du sphénoïde postérieur,
« l'union de celui-ci avec le corps du sphénoïde anté-
« rieur est au contraire très-tardive, si même elle se
« fait jamais. Sur les sujets déjà parvenus à un âge
« avancé, on voit les deux *centrum* des deux sphé-
« noïdes, distants, séparés par un tissu spécial, où le
« microscope retrouverait, sans doute, des restes de
« la corde dorsale. Sur les sujets jeunes on peut
« encore découvrir dans cette curieuse articulation
« une sorte d'épiphyse vertébrale. Les théories sur
« la composition vertébrale du crâne reçoivent ici
« une confirmation d'autant plus éclatante qu'elle
« est en quelque sorte matérielle, tangible ; les deux
« *centrum* restent en apparence séparés par une arti-
« culation où l'esprit voit sans recherche et sans
« effort l'articulation du corps d'une vertèbre avec le
« corps de la vertèbre voisine (1). » Mais ce sont là
des faits exceptionnels, et nous pouvons admettre
que, chez la plupart des animaux, la notocorde ne
dépasse pas l'apophyse basilaire.

Si donc, nous prenons pour base de la distinction
du crâne et de la colonne vertébrale, la notocorde,
l'occipital, du moins pendant la vie embryonnaire,
doit être considéré comme faisant partie du rachis.
D'ailleurs, ayant à étudier les articulations de la
colonne vertébrale, il me faut au moins décrire les

(1) G. Pouchet, *Mémoire sur le grand fourmilier*, p. 129.

masses latérales ou condyles de l'occipital. C'est ce que je crois devoir faire dans un paragraphe suivant. Nous aurons, d'ailleurs, à ce propos, plusieurs points intéressants à signaler au point de vue embryogénique.

Développement des vertèbres cartilagineuses. — Dès le quatrième jour chez le poulet (Kölliker), on voit le rachis membraneux se transformer en rachis cartilagineux. Nous avons déjà dit plus haut que ce processus se montre sur les embryons des mammifères, quand ils ont atteint une longueur de 4 à 6 millimètres. Comme l'a très-bien montré M. le professeur Robin (1) dans un mémoire publié en 1864, les premiers cartilages qui apparaissent dans l'embryon sont ceux qui vont constituer les corps des 3 ou 4 dernières vertèbres thoraciques. Puis le passage à l'état cartilagineux se fait ensuite progressivement, en avant et en arrière de cette première région devenue cartilagineuse. Le cartilage de chaque vertèbre, comme l'ont dit certains auteurs, ne se montre point tout d'abord sous forme de masses latérales à la notocorde, mais bien simultanément tout autour de cette dernière. Il est probable que les auteurs qui ont soutenu la première manière de voir (qui n'est plus admise aujourd'hui), ont confondu les protovertèbres

(1) Robin, *Mém. sur le développement des vertèbres; de l'atlas et de l'axis en particulier. Journal de l'anat. et de la physiol.*, 1864, p. 274 et suivantes.

avec les vertèbres proprement dites (voir plus haut, p. 24). Au début de l'apparition du cartilage (Robin, Kölliker), on voit que le rachis à cette période présente des taches, des zones régulières alternativement claires et foncées. Mais il y a là deux faits très-importants à signaler. Au début, là où sera le cartilage se trouve la zone foncée; la portion claire correspond aux points où se montreront plus tard les disques intervertébraux. Nous verrons bientôt que dans une période plus avancée, c'est tout le contraire qui va avoir lieu. Les portions claires correspondront aux cartilages, les portions obscures aux disques intervertébraux.

Autre fait signalé par Kölliker (1) : c'est que l'espace clair de la première période correspond au milieu d'une protovertèbre. Cette dernière particularité nous fait voir que la segmentation du rachis cartilagineux ne sera plus la même que celle du rachis membraneux; de sorte que l'on peut dire que chaque vertèbre cartilagineuse est formée aux dépens, ou plutôt prend la place de la moitié inférieure de la protovertèbre située au-dessus, et la moitié supérieure de celle située au-dessous.

Il faut faire l'étude de cette transformation que va subir la colonne vertébrale primitive à deux points de vue principaux. Tout d'abord, étudier au point de vue histogénique comment le cartilage va se déve-

(1) *Loc. cit.*, p. 429.

lopper autour de la corde dorsale. Nous verrons ensuite, au point de vue descriptif, les différents points d'apparition du cartilage ; nous suivrons leurs modifications de forme, de situation, et nous verrons enfin comment ils arrivent à constituer la vertèbre définitive.

Chez les vertébrés supérieurs, chez ceux dont la notocorde disparaît complètement au niveau du corps des vertèbres, l'apparition du cartilage n'est précédée d'aucun phénomène particulier du côté de la notocorde. Et, disons-le de suite, ce n'est que dans une période plus avancée que nous verrons cette dernière subir des modifications importantes que nous aurons à décrire plus loin.

Sans doute, je ne puis insister ici sur le développement des cartilages en général, mais comme « les corps vertébraux sont les premiers qui apparaissent dans l'économie » (Robin). Je crois devoir m'arrêter sur les modifications histologiques qui vont se passer autour de la notocorde.

D'après les recherches qu'il a faites sur des embryons de lapin, de cochon d'Inde, de rat, de truie, de vache, etc., M. le professeur Robin donne de la génération du cartilage, la description suivante : autour de la notocorde, il y a genèse de noyaux, puis bientôt de substance fondamentale. La genèse de cette substance fondamentale ne se montre que lorsque toutes les cellules primordiales de l'embryon ont disparu. Il faudrait cependant faire une exception à pro-

pos du cartilage basilaire chez les batraciens (1).

Les noyaux qui se montrent ainsi autour de la notocorde sont tout d'abord très rapprochés les uns des autres et forment alors une couche plus sombre, qui se distingue facilement des tissus ambiants. Le carmin la colore plus fortement que les parties voisines et nous fait voir autour de la notocorde comme une petite masse à contour diffus. Sur les coupes de colonne vertébrale encore cartilagineuse, que j'ai pu examiner, et qui provenaient d'embryons de mouton ou de lapin, j'ai toujours vu, même sur les vertèbres dont la substance fondamentale était déjà très développée, j'ai toujours vu persister un léger liseré rougeâtre, plus coloré que le reste de la vertèbre autour de la notocorde.

Ainsi donc, c'est autour de la notocorde que se montre tout d'abord la genèse des noyaux, et cette genèse se propage en rayonnant jusqu'aux limites des tissus qui constitueront bientôt la vertèbre cartilagineuse. Mais peu après la substance fondamentale va se développer au centre du corps vertébral, et de là gagner progressivement la périphérie. En somme, nous voyons que, tant pour les noyaux que pour la substance fondamentale, la genèse débute autour de la notocorde.

Si l'on veut s'en rendre compte, si l'on veut s'assurer que les choses se passent bien ainsi que je les

(1) Robin, *Anat. et physiol. cellulaires*, p. 322.

ai décrites, il suffit d'étudier une coupe du corps vertébral encore cartilagineux. On voit à partir de la notocorde la substance fondamentale englober les noyaux. Chaque cavité n'en contient qu'un, quelquefois cependant on peut en trouver deux. Les noyaux ainsi inclus, ou plutôt les cavités qui les contiennent sont séparées les unes des autres par des espaces de substance fondamentale; espaces d'autant plus larges qu'on les examine plus près de la notocorde, d'autant plus minces et étroits qu'on se rapproche de la périphérie. Aussi, le contour de la vertèbre se distingue-t-il des parties centrales par une zone plus sombre où les éléments sont plus serrés, et que le carmin, l'hémaltoxyline etc., colorent très fortement.

Cette zone, si on l'examine à un faible grossissement, se continue ou plutôt semble se continuer avec les tissus entourant la vertèbre. Mais il est possible de voir à un fort grossissement qu'il n'y a pas là de continuité et transformation de tissu l'un dans l'autre. Le tissu périphérique, qui deviendra plus tard le périoste de la vertèbre, est constitué par des éléments fibro-plastiques, tandis que la zone qui appartient au cartilage c'est-à-dire à la vertèbre, est constituée par des noyaux arrondis encore en contact les uns avec les autres, ou bien séparés par une mince couche de substance fondamentale.

Comme on le voit, — et c'est un fait sur lequel insiste M. le professeur Robin, — le cartilage ne débute pas par la production d'une substance fondamentale qui

viendrait englober des cellules embryonnaires. Ces dernières ont en effet disparu, comme nous l'avons dit plus haut, quand se montrent les premiers points cartilagineux. Ce n'est donc pas le tissu de la protovertèbre qui va directement se transformer en cartilage. C'est grâce à la genèse d'éléments nouveaux, noyaux et substance fondamentale, que les premiers cartilages de l'embryon apparaissent autour de la notocorde.

Puis bientôt, on verra les cavités de la substance fondamentale devenir plus grandes en même temps que les noyaux s'entoureront d'un corps cellulaire. Le cartilage fœtal est alors définitivement constitué.

Tels sont les phénomènes histologiques qui président à la transformation du rachis membraneux en colonne vertébrale cartilagineuse. Voyons maintenant comment ce cartilage va se disposer et s'accroître autour de la notocorde et du névraxe pour donner lieu à la formation de la vertèbre définitive. Prenons, par exemple, une vertèbre dorsale.

Le premier point cartilagineux apparaît comme nous venons de le voir autour de la notocorde. Par son accroissement, il va donner lieu à la formation du corps de la vertèbre. Sur les parties latérales du corps, on voit apparaître en dehors de lui, deux autres points cartilagineux qui formeront plus tard les masses latérales (apophyses transverses et articulaires) et les lames vertébrales. Enfin, à une période plus avancée du développement, on verra appa-

raître le point cartilagineux de l'apophyse épineuse.

Comme on le voit, les différentes parties de la vertèbre apparaissent séparément chez l'embryon, et les arcs vertébraux cartilagineux ne sont pas des excroissances, des prolongements du corps de la vertèbre, — ainsi qu'on peut le lire encore dans des traités classiques récents (1), — mais bien des organes qui se développent séparément et ne se souderont que plus tard au corps de la vertèbre.

Ce fait est pourtant connu depuis longtemps; dans son mémoire sur le développement des vertèbres, en 1864, M. Robin insiste sur l'indépendance primitive des masses latérales et de l'apophyse épineuse. Il fait remarquer, à ce propos, « que la vertèbre n'est pas « essentiellement un anneau, ainsi qu'on le dit quelquefois; son passage à l'état d'anneau marque une « des dernières phases de son évolution. Les lames « ne naissent point de l'apophyse épineuse, c'est le « contraire qui a lieu » (2).

Cette disposition des diverses parties qui constituent la vertèbre se voit très bien sur la fig. 3 de la planche qui accompagne cette thèse. Elle a été dessinée d'après une coupe pratiquée par M. Pillet sur une vertèbre cervicale d'un fœtus de mouton de 10 centimètres de longueur. On voit très bien que les masses latérales (m) sont absolument séparées

(1) Kölliker, *loc. cit.*, p. 429 et 430.

(2) *Journal de l'anat. et de la physiol.*, 1864, t. I^{er}, p. 279.

du corps de la vertèbre (c). Les lames (l) sont déjà assez développées, mais ne se rejoignent pas encore en arrière.

De plus, on peut voir sur cette trainée de tissus qui pénètre dans l'anneau vertébral à travers l'intervalle laissé par les deux extrémités postérieures des lames non encore réunies, on peut voir un point arrondi plus sombre qui nous indique que là apparaîtra bientôt le cartilage de l'apophyse épineuse.

En résumé, chez les mammifères et chez l'homme, la vertèbre cartilagineuse débute par quatre points : un pour le corps, un pour chacune des masses latérales, enfin un dernier pour l'apophyse épineuse. C'est donc sur les masses latérales que vont se développer les arcs.

Cette indépendance du développement du corps et des masses latérales devient bien plus manifeste encore, si l'on étudie le développement du rachis chez les vertébrés inférieurs et en particulier sur les poissons cartilagineux. Je citerai, à ce propos, les recherches de Balfour et de Goëtte sur les Elasmobranches. Chez la plupart de ces poissons, on voit le corps de la vertèbre et les arcs se développer séparément. Dans le mode de développement du corps se montre une particularité que l'on ne retrouve plus chez les vertébrés supérieurs. Chez les poissons cartilagineux, d'après Balfour, le cartilage autour de la notocorde, c'est-à-dire la portion qui va constituer le corps de la vertèbre, est entouré par une

membrane qu'il appelle : membrane élastique externe de Kölliker. Cette membrane sépare le corps vertébral des tissus adjacents qui vont servir à la formation des arcs. Sur une coupe transversale, on peut voir que le corps de chaque vertèbre peut être divisé en trois zones : une zone externe de cartilage hyalin revêtue de la membrane élastique externe, une zone moyenne en voie de calcification, enfin un troisième anneau fibro-cartilagineux qui entoure directement la notocorde.

Sur la fig. 1 (voir p. 19) reproduite d'après la figure 11 de la planche XV du mémoire de Balfour, et qui représente la section transversale des vertèbres de la queue d'un embryon de scyllium, on peut voir que l'ac neural (na), l'arc hæmal (ha), sont séparés très nettement du corps vertébral par la membrane élastique externe (ne).

Cette membrane élastique que l'on retrouve chez les Ganoïdes cartilagineux et chez la plupart des poissons osseux, disparaît chez les reptiles et ne reparait plus chez aucun des vertébrés supérieurs.

Nous avons vu plus haut, que Froriep (1) a constaté chez le poulet que même pendant la période membraneuse, le tissu qui doit constituer les arcs est distinct de celui qui doit former le corps de la vertèbre. Cette disposition persiste pendant le cinquième et le sixième jours de l'incubation, époque à laquelle se dé-

(1) Froriep, *loc. cit.*

veloppe autour de la corde le cartilage de la vertèbre. Chaque arc latéral cartilagineux présente alors la forme d'un fer à cheval. Comme nous l'avons vu, les deux arcs cartilagineux se réunissent en avant de la corde en ce point appelé boucle. Cette boucle, excepté pour l'atlas, se fusionne du septième au huitième jour avec le corps de la vertèbre, tandis que les parties latérales des arcs vont fournir des prolongements qui ne seront autres que les apophyses articulaires et transverses,

D'après Schwarck (1), chez les oiseaux, le cartilage du corps de chaque vertèbre peut se diviser en deux couches concentriques : une couche externe qui serait une dépendance des tissus ayant servi à la formation de l'arc, et une couche interne formée directement autour de la notocorde.

Si maintenant nous rapprochons ce mode de développement de la vertèbre de la description que nous avons donnée plus haut de la vertèbre type d'après Owen, nous voyons que les trois pièces médianes de la vertèbre complète se développent par trois points cartilagineux qui sont d'arrière en avant :

1° Le point cartilagineux de l'apophyse épineuse ou *neurépine*.

2° Celui de l'hœmépine, le plus antérieur.

3° Celui du corps ou *centrum*.

Quant aux apophyses latérales, elles sont toutes

(1) Cité par Balfour, *Embryologie*, t. II.

fournies pour chaque côté de la vertèbre par un seul point cartilagineux latéral.

Il me faudrait, maintenant que nous avons vu le développement de la vertèbre en général, aborder l'étude de quelques vertèbres en particulier dans les différentes régions de la colonne vertébrale. Mais les modifications morphologiques que subissent quelques-unes de ces pièces cartilagineuses ne peuvent s'expliquer et bien se comprendre que lorsque l'on connaît déjà les changements qui se sont montrés sur la notocorde pendant la période que nous venons d'étudier. Il faut donc décrire tout d'abord les modifications que subit la notocorde pendant la période cartilagineuse.

La notocorde pendant la période cartilagineuse.

— Nous avons vu que pendant que se formaient les protovertèbres, la notocorde conservait toujours un calibre égal dans toutes les régions du rachis. Au moment où va s'opérer la transformation cartilagineuse, la notocorde va rester en quelque sorte indifférente pendant quelque temps encore. Le seul changement que l'on puisse observer c'est que, vers l'extrémité caudale, sa limite postérieure devient beaucoup plus nette et se distingue plus facilement des tissus ambiants avec lesquels elle semblait se continuer dans les premières périodes de développement du rachis membraneux. Nous avons vu aussi comment se faisait la genèse du cartilage autour d'elle, nous n'y reviendrons pas.

Tant que le cartilage est encore mou, la gaine est encore adhérente aux tissus environnants, et lorsqu'on écrase une vertèbre, on voit que la gaine entraîne quelques éléments avec elle. Mais aussitôt que le cartilage est devenu plus dense, si les renflements intervertébraux ne sont pas encore formés, on peut retirer tout entière la notocorde des corps vertébraux et des disques qui l'enveloppent. La gaine n'entraîne plus d'éléments avec elle, et les corps vertébraux présentent pour la recevoir un canal parfaitement lisse. C'est là un fait qui prouve d'une manière absolue que la gaine ne prend aucune part ni à la formation des vertèbres, ni à la formation des disques intervertébraux.

La corde qui, au début de la période cartilagineuse est restée cylindrique, va présenter de distance en distance, à intervalles réguliers, des renflements arrondis ou ovoïdes, séparés les uns des autres par l'épaisseur d'un corps vertébral. Mais elle persiste toujours au centre des corps vertébraux, et y conserve sa forme cylindrique. Si l'on suit la corde de son extrémité supérieure à son extrémité inférieure, on voit qu'elle présente toujours le renflement qui la termine dans l'extrémité antérieure de l'apophyse basilaire. On observe un deuxième renflement entre l'apophyse basilaire et le sommet de l'apophyse odontoïde; elle traverse cette dernière et le corps de l'axis. Vers le milieu de l'apophyse odontoïde, elle présente un petit renflement de un dixième de millimètre de diamètre.

Nous verrons plus loin quelle est l'importance de cette dernière particularité.

Plus bas, entre chaque vertèbre, la notocorde va présenter des renflements de forme en général ovoïde ou globuleuse. Leur forme, cependant, se modifie légèrement suivant les régions; c'est ainsi qu'au cou le renflement intervertébral est ovoïde à grand diamètre dirigé parallèlement à l'axe du rachis. Dans les régions dorsale inférieure et lombaire, ce renflement prend la forme lenticulaire, c'est-à-dire que son diamètre transversal l'emporte sur son diamètre vertical. Il en est de même entre les premières vertèbres sacrées; mais à partir du coccyx, dans la queue des animaux, le renflement redevient ovoïde à grand diamètre longitudinal.

Au centre des vertèbres, la corde conserve toujours la même structure, jusqu'au moment de l'ossification. Mais au niveau du disque, il s'est produit quelques changements. Sur les dessins qu'accompagnent le mémoire de M. Robin, on voit (Pl. IV), que toute la surface du disque n'est plus blanche et brillante, mais qu'une zone équatoriale grisâtre, d'aspect granuleux, divise le disque en deux pôles: l'un supérieur, l'autre inférieur. Ces deux pôles ont conservé la coloration primitive de la corde. C'est Lüsckha qui le premier, en 1856, émit l'opinion que le noyau pulpeux contenu dans le disque intervertébral était un reste de la corde dor-

sale (1). Mais c'est surtout depuis les travaux beaucoup plus complets de Ch. Robin (2) que tous les anatomistes admettent que le centre des disques intervertébraux est constitué par les restes de la corde dorsale.

Pendant la période cartilagineuse, le contenu des renflements est absolument le même que celui de la corde dorsale. Si on les comprime, on en fait sortir des grumeaux composés de cellules absolument semblables à celles de la notocorde. Un fait important à noter, c'est qu'en comprimant la notocorde entre les deux lames de verre, c'est toujours au niveau des renflements que le contenu s'échappe, et jamais au niveau des parties encore cylindriques de la corde. Il semblerait donc qu'à ce niveau la gaine s'est au moins amincie. On peut même dire que la gaine disparaîtra complètement à un moment donné, et que, dans les disques intervertébraux, les éléments de la notocorde sont directement en contact avec le tissu fibreux des disques et le cartilage des corps vertébraux.

Ce défaut de membrane autour des disques intervertébraux, nous explique pourquoi, chez les ruminants et autres animaux à colonne vertébrale rigide, déjà pendant la vie intra-utérine, le tissu des renflements intervertébraux se laisse en quelque sorte dissocier

(1) Lüscha, *Die altersverand der Zurischenwerbknochen* (Virchow's Archiv., IX, p. 311, 1856).

(2) Robin, *Mém. sur la notocorde*, p. 136.

par les faisceaux fibreux du disque, et s'éparpille pour ainsi dire dans leurs intervalles.

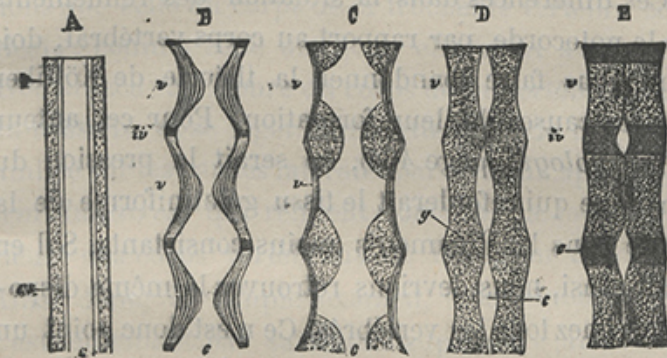
Ainsi donc, chez les mammifères et chez l'homme, la corde dorsale, pendant la période cartilagineuse, présente des étranglements intra-vertébraux et des renflements intervertébraux. La notocorde semble donc avoir ici une grande influence sur la segmentation de la colonne vertébrale. Il faut dire cependant que Dursy, sur des embryons de vache de 1 à 2 centimètres, a trouvé des renflements dans le corps même de la vertèbre (1). Mais cette disposition disparaît bientôt, et chez les ruminants, les renflements et les étranglements de la corde affectent avec les corps vertébraux les mêmes rapports que chez les autres mammifères.

Malgré tout, le fait signalé par Dursy est important, car il rappelle une disposition qui est normale et persiste longtemps chez d'autres vertébrés moins élevés que les mammifères dans l'échelle animale. C'est ainsi que chez les oiseaux, le poulet en particulier, dès le quatrième jour de l'incubation, on ne trouve plus de renflement au niveau de ce qui sera plus tard le disque intervertébral, mais au contraire un étranglement. Puis immédiatement en avant et en arrière de chacun d'eux la corde présente un renflement (Kölliker, *Embryol.*, page 430), de sorte qu'elle

(1) E. Dursy, *Zur Entwicklungsgesch. des Köpfer* Tübingen, 1869.

présente deux renflements dans le corps vertébral lui-même. D'après Gegenbaur, se montrerait, vers le cinquième jour, un troisième renflement dans la partie moyenne du corps, ce qui porte à trois le nombre définitif de ces renflements. Le renflement moyen disparaît dès que débute l'ossification. En résumé, chez les oiseaux, la corde est étranglée au lieu d'être dilatée au niveau du disque intervertébral; il en est de même chez les reptiles.

Fig. 2.



Diagrammes représentant le développement des vertèbres dans les différents types.

A. Type idéal dans lequel il n'y a pas encore de vertèbres distincts. — B. Type des poissons avec constriction vertébrale de la notocorde. — C. Amphibiens : Constriction intervertébrale de la notocorde. — D. Reptiles et oiseaux : Constriction intervertébrale. — E. Mammifères : Constriction vertébrale. — Ligaments intervertébraux.

Chez les amphibiens, le corps vertébral se compose de trois parties. Une partie médiane qui va s'ossifier, mais conservera à son centre une cavité remplie par une dilatation de la corde. Les deux extrémités antérieure et postérieure de la vertèbre, sont consti-

tuées par deux cartilages qui vont comprimer la corde dans le disque intervertébral. En somme, chez les amphibiens, nous retrouvons un étranglement intervertébral, comme chez les oiseaux et les reptiles.

Chez les poissons, au contraire, nous retrouvons la même disposition que chez les mammifères, c'est-à-dire un renflement intervertébral très-développé qui donne lieu à la formation de la cavité bicône, et fait que les vertèbres présentent une forme biconcave.

Ces différences dans la situation des renflements de la notocorde, par rapport au corps vertébral, doivent nous faire abandonner la théorie de Kölliker sur les causes de leur formation. Pour cet auteur (*Embryologie*, page 434), ce serait la pression du cartilage qui refoulerait le tissu gélatiniforme de la corde dans les ligaments moins consistants. S'il en était ainsi, nous devrions retrouver la même disposition chez tous les vertébrés. Ce n'est donc point un phénomène mécanique, mais un phénomène d'atrophie graduelle du centre de la vertèbre vers les cavités des disques intervertébraux voisins.

Développement de quelques vertèbres en particulier. — L'étude que nous avons faite du développement de la vertèbre en général, et les notions que nous avons acquises sur la notocorde, pendant la période cartilagineuse, vont nous permettre d'exposer facilement comment se développent l'axis et l'atlas,

si différents au premier abord, même de la troisième vertèbre cervicale. Nous verrons, en effet, que ces deux vertèbres diffèrent fort peu, du moins au point de vue embryologique, de celles qui leur succèdent dans les autres régions de la colonne vertébrale.

Le corps de l'axis, une fois le développement du rachis terminé, ne diffère des autres vertèbres cervicales que par sa face supérieure, surmontée d'une apophyse cylindrique que l'on appelle apophyse odontôïde. Sa face inférieure présente les mêmes dispositions que celle du corps de la troisième vertèbre cervicale ; comme cette dernière, elle vient s'articuler avec la face supérieure du corps de la vertèbre située au-dessous, et se loger dans cette sorte de mortaise, limitée sur les parties latérales par les deux apophyses *semi-lunaires*, qui rendent concaves la face supérieure des corps vertébraux de la région cervicale. Ainsi donc, le simple examen, nous montre que c'est seulement par sa moitié supérieure (antérieure chez les animaux) que l'axis diffère des autres vertèbres cervicales.

Ces différences portent et sur le corps, et sur les apophyses articulaires supérieures. Ces dernières, au lieu de présenter des surfaces regardant en arrière et situées dans un plan à peu près vertical, comme celles de la troisième cervicale, sont surmontées de surfaces articulaires regardant en haut, et situées dans un plan à peu près horizontal ou du moins légèrement oblique en bas et en dehors. Ces

différences dans la forme et la direction des surfaces articulaires n'ont pas une bien grande importance au point de vue embryogénique; mais il n'en est plus de même pour ce qui a trait à l'apophyse odontoïde.

Cette apophyse s'articule en avant avec l'arc antérieur de l'atlas, et sur les côtés avec les faces internes de ses masses latérales; l'anneau se trouve complété en arrière par une portion fibreuse appelée le ligament transverse. Cette articulation est une trochoïde ou ginglyme latéral (1). Dans sa situation normale, l'apophyse odontoïde semble remplacer le corps de l'atlas. L'étude du développement de l'atlas et de l'axis va venir confirmer ce qu'un simple examen du rachis nous avait déjà fait supposer.

Depuis les travaux de Ratke (2) 1833, et surtout depuis les recherches de Bergmann (3) 1845, on sait que l'apophyse odontoïde représente le corps de l'atlas, Ratke a de plus démontré que, chez la tortue, la corde se retrouve dans l'apophyse odontoïde et dans son ligament suspenseur. En 1864, M. le professeur Robin a donné du développement de ces deux vertèbres une description complète à laquelle d'autres

(1) Sappey, *Traité d'anat. descriptive*, t. I^{er}, p. 538.

(2) Rathke, *Mém. sur le développement de l'homme*. Leipsig, 1883.

(3) Bergmann, *Einige Beobachtungen und Reflexionen ueber die Skelettsysteme der Wirbelthiere, deren Begrenzung und Plan*. Gottiger, Studien, 1845. — Göttingen, 1846, gr. in-8, p. 54.

publications plus récentes n'ont rien ajouté, du moins en ce qui touche les points essentiels du développement.

Sur des embryons de cochon d'Inde de 10 à 11 millimètres, on peut voir que le corps de l'axis naît par deux petites masses cartilagineuses. L'une représente le corps proprement dit de la deuxième vertèbre cervicale; l'autre, l'apophyse odontoïde.

Ces deux pièces s'uniront ensemble à une époque variable suivant les espèces, mais qui coïncide toujours avec la soudure des masses latérales avec le corps, dans les autres vertèbres.

Chez l'embryon humain, ce phénomène se produit quand il a atteint une longueur de 14 à 15 millimètres (Robin).

Ces deux pièces cartilagineuses sont traversées par la corde dorsale qui, là comme dans les autres corps vertébraux se trouve plus rapprochée de la face antérieure que de la face postérieure. Quand les renflements intervertébraux de la notocorde se montrent dans les autres régions de la colonne vertébrale, il en est un plus petit, il est vrai, que les autres, qui apparaît entre le corps de l'axis et ce qui sera plus tard l'apophyse odontoïde; cette dernière n'est donc pas, comme on l'avait cru jusqu'à Ratke et Bergmann, une hypertrophie de l'épiphyse supérieure de l'axis. Au moment de la soudure des deux pièces, ce renflement de la notocorde, qui là n'est que transitoire, va disparaître. Ce seul fait suffit pour nous

montrer que l'apophyse odontoïde doit être regardée comme un corps vertébral, un *centrum* développé comme les autres autour de la corde. Mais cette apophyse représente-t-elle la totalité ou simplement une partie du corps de l'atlas?

Bergmann, et Hasse bien après lui, ont émis l'opinion que l'arc de l'atlas, l'apophyse odontoïde et le ligament transverse dérivent du corps de l'atlas, et que la disposition qu'ils présentent une fois développés serait secondaire. Les recherches de Robin, et celles plus récentes de Froriep, ne permettent plus d'adopter une pareille théorie.

Comme nous allons le voir, l'apophyse odontoïde représente le corps *tout entier* de l'atlas. L'arc antérieur ne fait point partie du corps, mais des masses latérales.

D'après Robin, c'est la pièce odontoïdienne qui se montre la première et qui « existe seule au niveau du siège qui sera bientôt occupé par l'atlas. » Puis, comme pour les autres vertèbres, on voit apparaître les masses cartilagineuses latérales destinées à la formation de l'arc postérieur, des apophyses transverses et articulaires. Mais, de la partie antérieure et interne de cette masse cartilagineuse part un prolongement qui se porte en dedans au-devant de l'apophyse odontoïde, pour se souder avec son congénère qui vient du côté opposé. Ainsi se trouve constitué l'arc antérieur de l'atlas. Il est donc inexact de dire que ce dernier, avec l'apophyse odontoïde constitue le corps de l'atlas.

Dans un récent mémoire que j'ai déjà cité, Froriep donne sur la formation des deux premières vertèbres cervicales une théorie qui diffère bien peu de celle déjà donnée depuis 1864 par Ch. Robin.

Nous avons vu plus haut que Froriep admet que le corps de la vertèbre se développe isolément autour de la notocorde, mais qu'à un moment donné la partie antérieure des arcs vient former en avant du corps une sorte de boucle, qui bientôt se soudera et se confondra définitivement avec lui. La réunion de cette boucle ou agrafe au corps de la vertèbre se fait plus tardivement sur les deux premières vertèbres cervicales. Cependant, pour l'axis, la boucle antérieure finit par se souder. Quant à celle de l'atlas, elle reste complètement indépendante et va persister, tandis que, chez le poulet, du 7^e au 8^e jour, l'agrafe aura disparu sur les autres vertèbres et se sera complètement soudée au corps. Comme on le voit, Froriep n'a fait que confirmer ce que M. Robin a décrit et figuré depuis près de vingt ans; les noms seuls sont changés. L'arc antérieur de l'atlas n'en provient pas moins des masses latérales.

Cependant, il faut dire que les recherches de Froriep nous ont fait connaître un fait intéressant : c'est qu'au début de la formation des corps vertébraux à la région cervicale, le processus est le même pour toutes les vertèbres :

1^o Formation des arcs et de la boucle hypochordale. 2^o Formation du corps autour de la notocorde.

3° La forme de l'atlas résulte de ce que la boucle ne se soude pas avec le corps. C'est donc la persistance d'un état, primitif pour les autres vertèbres, qui donne lieu à la formation de l'arc de l'atlas.

La face antérieure de l'apophyse odontoïde, légèrement concave, reste donc séparée de l'arc et des masses latérales ; le tissu qui les sépare est alors semblable à celui qui entoure la colonne vertébrale, et qui se trouve interposé aux diverses pièces qui la composent. Sous le microscope, il paraît plus sombre que le cartilage.

Si maintenant nous comparons l'atlas à la vertèbre type, nous devons nous demander si l'arc antérieur représente l'arc hœmal ou viscéral. Froriep semble pencher vers cette opinion, avec quelques restrictions cependant. Me rapportant à la description que je viens de donner, et même aux particularités signalées par Froriep lui-même, je crois que, malgré les analogies qui existent entre l'arc postérieur et l'arc antérieur de l'atlas, ce dernier ne doit être regardé que comme une simple extension de la base des masses latérales sur le corps de la vertèbre, et non comme formé par de véritables apophyses. Nous verrons d'ailleurs plus loin ce qui, pour nous, représente les rudiments de l'arc viscéral à la région cervicale.

En résumé, l'axis surmonté de l'apophyse odontoïde résulte de la soudure du corps des deux pre-

mières vertèbres cervicales ; et l'arc antérieur de l'atlas n'est qu'un élargissement ou plutôt un prolongement interne de la base des masses latérales.

Développement de l'occipital. — J'ai dit plus haut, que laissant de côté les vertèbres crâniennes, je ne m'occuperais que de l'occipital, que sa situation et ses rapports avec la notocorde peuvent faire considérer comme faisant partie du rachis, du moins pendant la période embryonnaire.

L'occipital ou vertèbre occipitale, est des trois vertèbres crâniennes celle qui se rapproche le plus par sa forme d'une vertèbre rachidienne. Nous pouvons, avec M. le professeur Sappey, dire que « cette vertèbre a pour corps l'apophyse basilaire, pour trou rachidien le trou occipital, pour lames la portion écailleuse, pour apophyse épineuse la crête occipitale externe, pour apophyses articulaires les condyles, pour apophyses transverses les apophyses jugulaires. »

Cette manière de comprendre l'occipital est légitime, non-seulement pour la période à laquelle l'os est complètement développé, mais encore pour la fin de la période cartilagineuse. Mais l'étude des périodes précédentes nous fait voir que les rudiments de l'occipital semblent représenter plusieurs vertèbres ou plutôt protovertèbres.

Froriep (1) a montré que chez le poulet de quatre

(1) Froriep, *loc. cit.*

jours d'incubation, on trouve dans la région occipitale quatre muscles ou plutôt quatre lames musculaires ; et, d'après ce que nous avons dit plus haut à propos de la première segmentation, on peut supposer qu'à un moment donné il y avait quatre protovertèbres autour de la notocorde. D'autre part, on peut, au début de la période cartilagineuse, voir que dans l'apophyse basilaire, la notocorde présente 3 ou 4 renflements analogues à celui que l'on trouve dans l'apophyse odontoïde. On voit très bien cette particularité sur la fig. 275 de l'embryologie de Kölliker, p. 458. Mais, comme le fait remarquer Balfour, la corde dans l'apophyse basilaire s'atrophie très vite, même dans les animaux chez lesquels elle persiste toute la vie dans la portion rachidienne de la colonne vertébrale.

Balfour donne le nom de parachordes aux pièces embryonnaires qui vont avec la notocorde, former le plancher du crâne postérieur ; tandis qu'il appelle trabécules les portions destinées à former le plancher du crâne antérieur. La notocorde et les parachordes doivent seules nous occuper ici.

Chez les Élasmobranches, l'apophyse basilaire est formée par la notocorde entourée d'un manchon cartilagineux, et sur les côtés par les parachordes. Nous le voyons déjà, le manchon cartilagineux qui entoure la notocorde représente le corps de la vertèbre, et les parachordes, les masses latérales. C'est, en effet, aux dépens de la partie postérieure de ces masses

cartilagineuses que se formeront les deux condyles et l'arc cartilagineux qui va entourer en arrière la moëlle allongée. Nous le voyons donc, la partie cartilagineuse de l'occipital se développe exactement comme une vertèbre rachidienne.

Les vertèbres qui constituent le sacrum et le coccyx ne présentent rien de particulier dans leur développement pendant la période cartilagineuse. Sur le rachis complètement développé, ces vertèbres sont soudées ensemble ; c'est donc un point qu'il me faudra étudier quand je traiterai des articulations de la colonne vertébrale osseuse.

Mais si chez l'homme, les pièces du coccyx ne présentent rien de particulier, il n'en est plus de même des vertèbres caudales chez les animaux. Je crois devoir en dire quelques mots ici.

On peut, avec Broca (1), définir la queue : « *L'en-semble des vertèbres qui continuent l'axe vertébral, en arrière de l'insertion que les membres postérieurs prennent sur cet axe.* »

Suivant les espèces, la queue est constituée par un nombre plus ou moins considérable de vertèbres, mais il faut les distinguer en vertèbres vraies et en fausses vertèbres. Les vertèbres vraies de la queue présentent, chez les poissons et même chez un grand nombre de mammifères, le type de la vertèbre com-

(1) Paul Broca, *Etude sur la constitution des vertèbres caudales chez les primates sans queue.* (Revue d'anthropologie).

plète. Il y a donc un arc neural et un arc hœmal inférieur constitué par l'os en V et destiné à protéger l'aorte caudale. Pour Broca, ce qui caractérise la vertèbre caudale vraie, vu la supériorité du système nerveux sur tous les autres, c'est l'arc neural. Quelquefois l'arc inférieur persiste plus longtemps que l'arc supérieur, c'est ainsi que chez les singes à queue prenante, comme les Attèles, les apophyses qui constituent l'os en V disparaissent bien plus loin que l'arc neural formant le canal rachidien. Il serait intéressant de faire quelques recherches sur le développement de ces vertèbres caudales, car on voit qu'il y a là un fait qui a une grande portée au point de vue embryogénique. Quand l'axe nerveux s'éparpille et disparaît, l'axe neural n'existe plus. Quand il n'y a plus de vaisseaux à protéger, l'arc hœmal s'atrophie, et il ne reste plus pour les dernières vertèbres caudales que cette portion qui s'est développée autour de la notocorde, c'est-à-dire le corps.

L'étude du développement de la vertèbre a montré, en effet, que toutes ces parties se développent par des points cartilagineux distincts; et, tenant compte des modifications qu'amène sur la vertèbre caudale la disparition de l'axe nerveux et des vaisseaux, ce serait ici le cas de répéter avec le professeur Robin : « *Chaque organe devient, en apparaissant, la condition nécessaire pour la génération de l'autre.* »

Nous venons d'étudier des vertèbres en quelque sorte spéciales. Mais les autres vertèbres présentent

aussi des variations suivant les différentes régions du rachis. Ce sont ces dernières qu'il nous faut maintenant étudier, et voir si l'embryogénie peut nous donner l'explication de ces caractères différentiels.

Les apophyses transverses dans les différentes régions. — Comme le fait remarquer M. le professeur Sappey (1) « les apophyses transverses diffèrent considérablement dans les trois régions, et constituent pour chaque groupe de vertèbres un de leurs attributs les plus caractéristiques. »

Je me suis demandé si, dès la période cartilagineuse, on ne pouvait trouver sur la vertèbre en voie de développement, les rudiments de ces différences si marquées chez l'adulte. Parmi tous les ouvrages que j'ai pu consulter pour la rédaction de cette thèse, je n'en ai rencontré aucun dans lequel cette question fût traitée au point de vue embryogénique, du moins pendant la période cartilagineuse. Nous verrons, en effet, plus loin, que pendant la période d'ossification, l'étude des points osseux complémentaires nous expliquera facilement ces différences dans la forme des apophyses transverses des diverses régions de la colonne vertébrale.

Si nous nous rappelons ce que nous avons dit plus haut à propos de la vertèbre type d'après Owen, nous voyons que, chez l'homme et chez les mammi-

(1) Sappey, *Anat. descrip.*, in-8, 1867, p. 258.

fères, ce n'est qu'à la région thoracique que nous pouvons trouver une vertèbre complète, c'est-à-dire pourvue de ses deux arcs : le postérieur ou arc neural, l'antérieur ou arc viscéral ou hœmal. Ce dernier se trouve constitué à la région dorsale par les apophyses transverses auxquelles font suite les côtes. L'arc est terminé en avant par les cartilages costaux qui représentent les hœmapophyses (Owen), et le sternum qui constitue l'hœmépine. Voyons tout d'abord comment se développent les côtes.

Les côtes, d'après Kölliker, sont des prolongements des protovertèbres, qui s'allongent pendant la période membraneuse dans les parois latérales de l'embryon, en même temps que les lames musculaires et les nerfs. Sur des coupes pratiquées à la partie inférieure de la région thoracique d'embryons de mouton très jeunes (le corps de Wolff n'avait encore subi aucune modification) j'ai pu constater que l'apophyse transverse se continuait par une bande claire, curviligne, se distinguant de la manière la plus nette des couches musculaires adjacentes. Chez l'homme, c'est vers le deuxième mois, comme pour les vertèbres, que va s'accomplir pour les côtes la transformation cartilagineuse (Kölliker). D'après Robin, ce serait au contraire assez tard après les corps vertébraux correspondants qu'apparaîtraient ces cartilages des côtes. Ils apparaissent comme pièces distinctes des corps vertébraux. Sur les côtes, on peut observer comme pour les ver-

tèbres, que le cartilage jeune (c'est-à-dire encore constitué par des noyaux) est opaque, et que ce n'est que plus tard, quand la substance fondamentale est suffisamment développée, qu'il devient transparent.

Les côtes commencent à se former par leur partie postérieure, et s'avancent graduellement vers la ligne médiane. Les sept premières côtes d'un côté se réunissant avec les sept autres du côté opposé donneront naissance à une bande cartilagineuse verticale, qui sera plus tard le sternum. Chaque côte, d'après M. le professeur Sappey, ne présentera qu'un seul point d'ossification primitif; mais ce point envahira très rapidement toute la longueur de la côte. Les points complémentaires sont au nombre de trois, et apparaissent beaucoup plus tard : un pour la partie saillante de la tubérosité, un deuxième pour la facette articulaire de celle-ci, enfin un troisième pour la facette articulaire de la tête. Ces trois épiphyses se soudent successivement de 17 à 22 ou 25 ans.

Toutes les côtes, chez l'homme et la plupart des mammifères, sont divisées en deux portions par la tubérosité de la côte ou plutôt par la facette articulaire qui se trouve en arrière et un peu en dedans d'elle. Cette facette s'articule avec une facette analogue regardant en avant et située sur la face antérieure du sommet de l'apophyse transverse. D'autre part, la tête de la côte s'articule avec les corps vertébraux. Pour faciliter la description, je donnerai le nom de portion *intra-tuberculeuse* à la partie située

en dedans de cette facette articulaire ou de la tubérosité, et celui de portion *extra-tuberculeuse* au reste de la côte. Cette distinction ne paraît pas bien nécessaire si l'on se borne à étudier le squelette de la plupart des mammifères. Mais si l'on examine le squelette des cétacés, on voit qu'elle acquiert une très grande importance.

En effet, chez ces animaux, on trouve des côtes qui présentent les deux articulations transversaire et vertébrale ; mais il en est d'autres qui se continuent directement avec l'apophyse transverse, chez lesquelles manquent par conséquent la portion intra-tuberculeuse. Suivant les espèces, le nombre des côtes complètes ou incomplètes est variable, et même chez le Rorqual qui possède quatorze côtes, aucune ne s'articule avec le corps vertébral (du moins sur le squelette sec). Seulement, sur les quatre premières, on trouve la portion intra-tuberculeuse de la côte, mais n'arrivant pas jusqu'au rachis, de sorte que l'extrémité rachidienne de ces côtes peut être comparée à l'extrémité supérieure d'une béquille. J'ai pu constater des dispositions analogues (quoique variables quant au nombre des côtes), sur d'autres squelettes de cétacés que j'ai examinés dans l'annexe du laboratoire d'anatomie comparée de M. le professeur G. Pouchet. Ainsi donc, du moment que la portion intra-tuberculeuse de la côte peut manquer, on voit que là où elle existe, elle ne doit pas être considérée comme faisant partie de l'arc hœmal ou viscéral ;

et que seule la partie extra-tuberculeuse de la côte contribue à former ce dernier.

Chez l'homme, le col de la côte n'est pas en contact immédiat avec la face antérieure des apophyses transverses; mais il en est très rapproché et réuni à cette face par le ligament transverso-costal interosseux. Cette disposition se rencontre tout aussi bien pour les premières que pour les dernières côtes. Mais sur le squelette des cétacés, de l'éléphant, du rhinocéros, etc., et surtout sur celui des oiseaux, on voit qu'à mesure que l'on se rapproche de la région cervicale, le col de la côte ou portion intra-tuberculeuse s'éloigne de l'apophyse transverse; et qu'ainsi se trouvent constitués une série d'orifices plus ou moins nombreux suivant les espèces, se continuant directement avec la série des trous que l'on rencontre à la base des apophyses transverses, dans la région cervicale. La circonférence antérieure de ces trous peut être considérée comme formée par la portion intra-tuberculeuse de la côte.

Ainsi donc, l'apophyse transverse à la région cervicale est toujours située, comme dans les autres régions, en arrière du pédicule, et il est inexact de dire que sa base est percée d'un trou. Au lieu de s'articuler par son sommet avec la portion intra-tuberculeuse de la côte, elle se soude avec elle pour compléter l'anneau dans lequel s'engage l'artère vertébrale. Chez les oiseaux, les crocodiles (1), l'apo-

(1) Paul Gervais, *Du squelette humain*. Montpellier, 1856.

physe transverse cervicale est surmontée d'un petit rudiment de côte, vestige de la portion extra-tuberculeuse.

On peut aussi, chez l'homme, trouver des cas d'anomalies qui reproduisent ce fait normal que nous venons de signaler chez les oiseaux et les crocodiles. Dans un important mémoire sur les anomalies des vertèbres et des côtes chez l'homme, J. Struthers (1) signale un cas où des rudiments de côtes étaient unis aux apophyses transverses des 6^e et 7^e vertèbres cervicales. Cet auteur relate en outre plusieurs cas où, à la 6^e et à la 7^e cervicale, étaient annexées de véritables côtes. La côte de la 7^e vertèbre avait, dans un cas, 67 millimètres de longueur; dans l'autre, 84.

Cette distinction qu'il faut faire entre les deux portions de l'apophyse transverse cervicale s'explique encore par ce fait que nous exposerons plus loin, c'est que, au niveau de la 7^e vertèbre cervicale chez l'homme, on constate un point d'ossification complémentaire pour la portion antérieure du trou.

Il faut donc se demander si, pendant la période cartilagineuse, cette portion intra-tuberculeuse de la côte provient du corps ou des masses latérales de la vertèbre; ou bien, si elle se développe grâce à la for-

(1) Struthers, *On variations on the vertebral and Rib. in man.* *J. of anat. and physiol.*, XV.

mation d'un point cartilagineux indépendant. Dans le Mémoire de Ch. Robin, sur le développement des vertèbres (1864), on trouve une indication des plus importantes à propos du développement des vertèbres lombaires (1) : « Il m'a paru même, dit cet auteur (chez un embryon de chien), que les apophyses transverses (ou costiformes) lombaires qui, chez l'adulte, sont soudées aux côtés du corps, à la base du pédicule de l'arc vertébral, il m'a paru, dis-je, que ces apophyses naissent comme les côtes par un cartilage distinct qui se soude bientôt au corps de la vertèbre. »

Si l'on examine avec soin l'apophyse transverse d'une vertèbre lombaire chez l'homme, on voit que sa base triangulaire se continue en arrière avec les masses latérales, en avant avec le corps de la vertèbre, tandis qu'à la région dorsale, la base des apophyses transverses n'est en relation qu'avec les masses latérales. Il y aurait donc là deux portions soudées ensemble; l'une postérieure, qui est la vraie apophyse transverse, l'autre antérieure, qui représente la portion intra-tuberculeuse de la côte, ce que semble venir confirmer ce point cartilagineux supplémentaire signalé par M. Robin sur les apophyses transverses des vertèbres lombaires de l'embryon du chien.

Je n'ai pu sur les vertèbres cervicales des fœtus

(1) Ch. Robin, *Mém.* déjà cité., p. 279.

que j'ai examinés (cheval, mouton), retrouver ce point cartilagineux supplémentaire que M. Robin a signalé sur l'apophyse transverse des vertèbres lombaires du chien.

Mais j'ai pratiqué sur un embryon de mouton de 10 centimètres, des coupes passant par l'articulation costo-vertébrale. Sur mes préparations l'ossification avait déjà envahi en partie le corps et les masses latérales. La côte adjacente était ossifiée sauf la tête.

Nous avons vu plus haut que l'ossification débute dans les côtes par un point d'ossification postérieur et de là s'étend vers la partie antérieure. Cela n'est vrai que pour la portion extra-tuberculeuse de la côte. Mais à partir de la tubérosité l'ossification marche d'avant en arrière c'est-à-dire se dirigeant vers la tête. Ce qui le prouve, c'est que, à l'extrémité de la tête, le cartilage a conservé ses caractères normaux. Mais quand on arrive sur la ligne d'ossification on observe tous les phénomènes précurseurs (rivalation, etc.), qui se montrent dans tout cartilage en voie d'ossification.

Cette différence dans la marche de l'ossification me semble légitimer la distinction que j'ai faite entre les deux portions de la côte et me permet de dire que la pièce osseuse surajoutée qui vient modifier l'apophyse transverse dans les régions cervicales et lombaire, n'est autre que la portion intra-tuberculeuse de la côte. Les apophyses transverses ne présentent pas chez l'homme de grandes différences

quant à leur direction. Sauf à la région cervicale où elles ont une direction légèrement oblique en bas. Dans les autres régions, elles sont à peu près horizontales. Il n'en est plus de même pour les apophyses épineuses.

Apophyses épineuses. — A la région cervicale, où elles sont bifides, ce qui les distingue de celles des autres régions, elles ont une direction à peu près horizontale à la partie supérieure et deviennent d'autant plus obliques en bas qu'on se rapproche de la région dorsale où leur obliquité et leur longueur devient caractéristique. — A la région lombaire, elles se rapprochent de nouveau de la direction horizontale, tout en restant cependant légèrement inclinées vers le bassin.

Broca, dans son *Mémoire sur les Primates* (1) attribue ces différences de direction aux courbures alternativement concaves et convexes de la colonne vertébrale. Il fait remarquer que les muscles postérieurs pour maintenir l'attitude bipède, sont obligés de déployer moins de force quand ils agissent sur les apophyses épineuses d'une région concave en arrière comme au cou et aux lombes. — Dans ces régions, les apophyses vont donc avoir moins d'efforts à supporter, d'où leur direction presque horizontale.

A la région dorsale, au contraire, les muscles agissant sur une convexité, vont exercer beaucoup

(1) Paul Broca, *L'Ordre des Primates*. Paris, 1870.

plus d'efforts sur les apophyses épineuses, d'où leur direction fortement oblique en bas. — Broca décrit ensuite la colonne vertébrale des carnassiers. On sait que chez les animaux à colonne vertébrale souple le corps peut en quelque sorte être divisé en avant-train et arrière-train.

Le centre du mouvement serait placé entre la dernière vertèbre dorsale qui porte de vraies côtes et la première qui porte des fausses côtes. Les muscles qui agissent sur l'avant-train prennent leur point d'insertion fixe sur l'arrière-train et réciproquement. Donc les apophyses épineuses qui sont en avant de l'articulation que je viens de signaler seront en rétroversion, celles qui sont en arrière seront au contraire en antéversion. C'est ce qui a lieu en effet. Mais il fallait se demander si ces changements de direction étaient dûs à une action purement mécanique ou bien le résultat de conditions qui se rencontrent déjà sur le fœtus. Je crois qu'il faut adopter cette dernière manière de voir.

Je n'ai pu me procurer des fœtus de carnassiers, mais ayant disséqué des chats nouveaux-nés, j'ai pu constater que les apophyses transverses de la région lombaire et les apophyses épineuses présentaient déjà les différences que je viens d'indiquer (V. fig. IV et V). On ne peut guère admettre que pendant la vie intra-utérine, les muscles aient agi assez puissamment pour modifier ainsi la direction de ces apophyses cartilagineuses. Je crois qu'il faut abandon-

ner la théorie purement mécanique et dire que si les muscles peuvent influencer la forme et la direction des apophyses du rachis, ce n'est point par leur contraction, mais comme nous l'avons vu plus haut, par la forme et la situation qu'ils ont déjà, quand les pièces osseuses sur lesquelles ils doivent s'insérer commencent à se développer.

CHAPITRE IV.

OSSIFICATION DE LA COLONNE VERTÉBRALE.

L'ossification chez l'homme débute, dans la colonne vertébrale, vers la fin du deuxième mois ou le commencement du troisième. Les points d'ossification se montrent tout d'abord dans les dernières vertèbres dorsales, et de là se propagent de haut en bas vers le sacrum, et de bas en haut vers la tête. Suivant les espèces animales, l'ossification arrive plus ou moins rapidement aux deux extrémités du rachis.

D'après M. Ch. Robin, l'ossification se montrerait tout d'abord dans les masses latérales, et consécutive dans le corps. D'où, trois points primitifs d'ossification : un médian et deux latéraux.

D'après M. le professeur Sappey, l'ordre d'apparition du point médian et des points latéraux n'est point le même pour les diverses régions. Pour les vertèbres cervicales, ce sont les points latéraux qui se montreraient les premiers du 55^e au 60^e jour de la vie intra-utérine ; tandis que le point osseux du corps n'apparaît que vers la fin du 4^e mois. Dans les autres régions, au contraire, ce serait le point médian qui apparaîtrait le premier.

Quoi qu'il en soit, nous voyons pour la colonne vertébrale osseuse, se répéter le même fait que pour

les vertèbres cartilagineuses; c'est que les masses latérales et le corps s'ossifient d'une façon indépendante.

L'ossification des vertèbres est relativement rapide; vers le cinquième mois, tout le cartilage est ossifié à l'exception d'une lamelle cartilagineuse qui sépare les masses du corps, et de l'apophyse épineuse qui n'est pas encore ossifiée à la naissance (1). Ce n'est que dans le courant de la première année que les arcs neuraux (lames et apophyse épineuse) s'ossifieront complètement; quant aux masses latérales, elles se réunissent au corps à des époques variables suivant les régions de la 3^e à la 8^e année.

Le point osseux primitif du corps, que beaucoup d'auteurs, depuis les travaux de Serres (2) sur la colonne vertébrale, avaient considéré comme double est simple en réalité. Il apparaît en arrière de la corde, puis de là se propage sur les côtés et en avant de cet organe. C'est quand il n'a pas dépassé les côtés de la corde, si l'on ne prend pas le plus grand soin pour monter les préparations, qu'on peut le voir (Robin) se scinder en deux portions qui simulent deux points d'ossification primitifs.

L'ossification gagne ensuite la partie antérieure

(1) Beaunis et Bouchard, *Eléments d'anatomie descriptive et d'embryologie*. Paris, 1880.

(2) Serres, *loc. cit.*

de la corde. Comme celle-ci n'a pas encore complètement disparu, le nouvel os constitue, suivant les espèces et son développement, des figures cylindriques mais le plus souvent cordiformes au centre du corps vertébral ; il forme alors un anneau dont le centre est occupé par les restes de la notocorde. Depuis ce moment, jusqu'à ce que presque tout le cartilage du corps soit ossifié, le diamètre transversal du point d'ossification l'emporte sur le diamètre vertical.

Je n'ai pas à insister ici sur les phénomènes histologiques de l'ossification. Le processus est le même pour les vertèbres que pour la plupart des os courts. Je ne ferai que transcrire ici certaines particularités signalées par M. Robin (1) : quand le cartilage a atteint un millimètre et demi de diamètre, on voit se produire à son centre, à la place que traversait la notocorde, une portion osseuse très dure et lenticulaire. On y trouve des ostéoplastes. Mais, plus tard, ce noyau dur et résistant finit par se résorber pour faire place aux espaces médullaires du tissu spongieux.

De ce point osseux comme centre, partent des prolongements en voie d'ossification qui, ramifiés et anastomosés entr'eux, affectent une disposition des plus élégantes sur les coupes transversales.

(1) Ch. Robin, *Sur les conditions de l'ostéogénie avec ou sans cartilage préexistant.* — *Journal de l'anat. et de la physiol.*, 1864.

Nous avons vu que c'est de la 3^e à la 8^e année que les masses latérales se réunissent au corps de la vertèbre. Les premières complètement ossifiées sont les vertèbres sacrées, puis viennent successivement les autres de bas en haut.

Tels sont les points osseux primitifs; mais la vertèbre osseuse ne sera complètement constituée que lorsque les points complémentaires auront définitivement envahi tout le cartilage, et se seront soudés au reste de l'os.

Ces points complémentaires sont, pour le corps, deux lames minces qui s'ajoutent au corps de la vertèbre sur sa face supérieure et sur sa face inférieure. Elles se montrent, chez l'homme, vers l'âge de 14 ou 15 ans, et finissent par se souder au corps de la vertèbre, de 20 à 25 ans. Comme elles sont plus épaisses à leur circonférence que vers leur centre, les faces supérieure et inférieure de chaque vertèbre deviennent ainsi légèrement concaves. Chez certains animaux, les cétacés en particulier, ces disques épiphysaires restent toute la vie indépendants du corps de la vertèbre. De sorte que, sur le squelette sec, ils se détachent du corps; mais leur adhérence avec les tissus qui constituent le disque intervertébral est considérable, de sorte que, sur le squelette, l'épiphyse inférieure de chaque vertèbre reste reliée à l'épiphyse supérieure de la vertèbre suivante par le disque intervertébral desséché.

Ces épiphyses du corps se rencontrent sur

les vertèbres dans toutes les régions (Sappey).

A la région dorsale on trouve trois épiphyses de plus. Une pour l'apophyse épineuse, une pour chaque apophyse transverse. D'où cinq épiphyses pour les vertèbres dorsales.

Enfin, sur les vertèbres lombaires on trouve deux points d'ossification complémentaires de plus; un pour chaque tubercule mamillaire (Sappey) ce qui fait sept en tout.

La soudure des points épiphysaires pour les apophyses transverses et articulaires se fait vers l'âge de 18 ans. Celles des apophyses épineuses de 18 à 20.

Comme nous avons vu, certaines vertèbres présenter un développement différent pendant la période cartilagineuse, nous allons les voir présenter aussi pendant la période d'ossification des particularités qu'il me faut maintenant signaler.

L'occipital s'ossifie au début du troisième mois par quatre points osseux : un pour l'apophyse basilaire qui représente le corps de la vertèbre; un pour chaque condyle; enfin un quatrième situé dans la partie écailleuse (Beaunis et Bouchard). Elle représente le point osseux de l'apophyse épineuse. Plus tard, viendrait s'ajouter un cinquième point d'ossification pour la partie supérieure de l'écaille. — En somme, l'occipital à la période d'ossification comme à la période cartilagineuse, présente le même mode de développement qu'une vertèbre.

Atlas. — L'atlas n'étant constitué à la période cartilagineuse que par les masses latérales, ne présente au début de l'ossification que deux points primitifs qui correspondent aux points latéraux des autres vertèbres.

Aussi le point osseux quelquefois double, qui se montrera plus tard sur la partie moyenne de l'arc antérieur doit-il être considéré comme point complémentaire. — L'arc postérieur de l'atlas s'ossifie dans le courant de la troisième année; la soudure des masses latérales avec l'arc antérieur a lieu de cinq à six ans.

Axis. — Comme nous l'avons vu plus haut, l'apophyse odontoïde n'étant autre que le corps de l'atlas soudé à celui de la deuxième vertèbre cervicale, l'axis doit présenter quatre points d'ossification principaux, c'est ce qui a lieu en effet. Le point osseux de l'apophyse odontoïde étant ou paraissant double quelquefois, on peut décrire à l'axis cinq points d'ossification principaux (Sappey), qui se montrent vers le cinquième mois de la vie intra-utérine.

Les points latéraux, et l'arc postérieur se soudent dans le courant de la deuxième année.

Le corps se soude aux points latéraux de 3 à 4 ans. — Quant aux points épiphysaires, sauf celui du sommet de l'apophyse odontoïde, ils sont les mêmes que ceux des autres vertèbres cervicales.

La sixième vertèbre cervicale présente un point

complémentaire au sommet de l'apophyse épineuse.

La septième présente un point complémentaire pour la partie antérieure de son apophyse transverse. Je l'ai signalé plus haut et j'ai fait voir quelle était son importance :

« 1° La douzième dorsale présente une épiphyse
« constante qui occupe le sommet de son tubercule
« supérieur. 2° Une épiphyse qui occupe le sommet
« de son tubercule inférieur et antérieur » (Sappey).
Cette dernière peut manquer.

Sacrum. — Le sacrum se compose de cinq vertèbres. Chaque vertèbre présente les trois points d'ossification principaux. Les points médians, c'est-à-dire ceux des corps apparaissent vers le quatrième mois. — Les points latéraux dans le cinquième.

En outre, chaque vertèbre sacrée présente des points épiphysaires qui se développent de 10 à 13 ans pour les corps de 15 à 16 pour les apophyses épineuses.

Nous reviendrons plus loin sur la soudure des corps vertébraux du sacrum. Elle débute en même temps que celle des arcs vers la deuxième année, puis se fait successivement en remontant jusqu'à la première qui se soude à la deuxième vers l'âge de 5 à 6 ans. Nous verrons plus loin ce qui se passe pour les disques intervertébraux. En résumé, l'union des diverses pièces du sacrum débute par les lames et les apophyses transverses, et finit par les corps.

Coccyx. — Ce n'est qu'à la naissance que se montre le premier point osseux de la première pièce du coccyx. Celui de la deuxième de 5 à 10 ans. — De la troisième à 15. — De la quatrième à 20 ans. — (Beau-nis et Bouchard). — Comme pour le sacrum, la sou-dure des diverses pièces se fait de bas en haut et dé-bute vers la treizième année et se termine de 25 à 30 ans.

CHAPITRE V.

LA NOTOCORDE PENDANT LA PÉRIODE D'OSSIFICATION.

Développement des articulations de la colonne vertébrale.

Nous savons déjà qu'au moment où se montrera le premier point d'ossification, la notocorde va subir des modifications qui la feront bientôt disparaître du corps vertébral. D'autre part, nous avons dit que les dilatations intervertébrales vont persister longtemps encore tout en se modifiant, et former en définitive le centre gélatineux des disques intervertébraux.

Étudions tout d'abord comment se fait la disparition de la notocorde. La plupart des auteurs avec Gegenbaur (1), Robin (2), Schmidt (3), signalent sa disparition comme coïncidant avec l'apparition du premier point osseux ou même la précédant. — Cependant, comme H. Müller (4) l'a fait remarquer, elle peut persister encore quelque temps dans l'apophyse basilaire, l'apophyse odontoïde, le coccyx. — Dursy l'aurait même vue persister sous forme d'un cordon

(1) Gegenbaur, *Untersuch zur vergl Anatom. der Wirbelsäule*. Leipzig, 1862, p. 67.

(2) Robin, *Mém. sur la Notocorde*.

(3) O. Schmidt, *Handbuch der vergl Anatom. 6^e Aufl.* Iéna, 1872.

(4) H. Müller, *Über das Vorkommen von Resten der chorda dors beim Menschen* (*Zeitschr f. rat. méd.* 3 R. B. II, 1858).

cellulaire, peu distinct il est vrai, dans le corps de la plupart des vertèbres. M. Robin a vu la même disposition et fait même remarquer que la notocorde traversant le noyau d'ossification, celui-ci paraît plus transparent à son centre qu'à sa périphérie, et par conséquent plus mince. — Sur la portion encore cartilagineuse de l'apophyse odontoïde jusqu'à la deuxième année, on peut retrouver des traces de la notocorde qui se montrent à la loupe, sous forme d'une petite tache bleuâtre (Robin).

Dans un mémoire publié en 1880 sur la disparition de la corde dorsale, M. H. Leboucq (1) divise ce processus en trois périodes. Dans une première période, qui correspond au moment où les renflements intervertébraux ont terminé leur croissance et ne présentent plus de gaine, les cellules qui forment le cordon vertébral présentent à ce moment des modifications analogues à celles que l'on observe dans les cellules du renflement. Ces cellules se creusent de vacuoles, fait déjà constaté depuis longtemps par Robin. La gaine persiste encore dans le corps vertébral.

Dans une deuxième période, sur une coupe sagittale, on trouve au centre de la vertèbre, comme une sorte de fuseau encore limité par une gaine et contenant des éléments déformés et flétris. Plus tard,

(1) H. Leboucq, *Recherches sur le mode de disparition de la corde dorsale chez les vertébrés supérieurs*. — *Archiv. de Biologie de Van Bauden*, Nov. 1880.

dans la troisième période, on verra le fuseau disparaître et faire place temporairement à cette colonnette de tissu compacte que nous avons signalée plus haut. Il est inutile de réfuter ici l'opinion de Heiberg (1), qui considère ce noyau osseux compacte comme une transformation des restes de la notocorde.

Nous avons vu plus haut que le noyau osseux finissait par disparaître et d'après Leboucq (2) ferait place à une cavité médullaire beaucoup plus grande que les autres, en communication à la partie postérieure avec le tissu sous-périchondral. Nous retrouvons une disposition analogue au niveau du disque intervertébral, ce qui semblerait prouver qu'au centre de la vertèbre, ainsi que l'a montré Dursy, un renflement de la notocorde a persisté pendant un certain temps. Cette particularité, nous l'avons vu plus haut, est normale chez les oiseaux et les reptiles (Voir fig. 3 a et c").

En résumé, chez les mammifères et chez l'homme, la notocorde finit par disparaître dans le corps vertébral, à des époques variables suivant les régions, et peut, dans certaines vertèbres (axis), persister encore après la naissance.

L'étude des renflements intervertébraux de la notocorde, nous amène à exposer le développement des articulations de la colonne vertébrale.

(1) Heiberg, *Ueber die Zwischenwirbelgelenke und knochenkerne der Wibelsäule* (Schenk's Mittheilungen, II, Heft, 1878, p. 119.

(2) H. Leboucq, *loc. cit.*

Les vertèbres s'articulent entre elles par leur corps, par leurs apophyses articulaires, leurs lames et leurs apophyses épineuses.

Les articulations des apophyses articulaires étant des arthrodies et faisant par conséquent partie de la grande classe des Diorthroses, je ne crois pas devoir m'en occuper ici, ce sujet devant être traité dans une autre thèse échue à l'un de mes concurrents. Je ne m'occuperai donc ici que de l'étude du développement des articulations du corps, auquel la présence des restes de la notocorde imprime une marche toute spéciale. — Il me faudra aussi traiter des articulations des lames entre elles; en effet, il y a là, constitué par les ligaments jaunes, un système élastique spécial que l'on ne retrouve dans aucune autre région, et que, vu son importance physiologique, je ne puis me permettre de négliger ici.

Articulations des corps vertébraux. — Ces articulations sont le type le plus parfait des amphiarthroses (Sappey). Chez l'adulte, ces articulations présentent à étudier des ligaments périphériques et un fibro-cartilage ou disque intervertébral. Je n'insisterai pas sur le développement des ligaments périphériques constitués par le ligament commun antérieur et le ligament commun postérieur. Ce ne sont en quelque sorte, que des épaissements, en avant et en arrière des corps vertébraux, de cette gaine qui joue, par rapport à la colonne vertébrale, le rôle de

périoste, ou plutôt vient l'épaissir et le renforcer. Le développement de ces ligaments n'offre rien qui soit particulier à la colonne vertébrale, je les laisserai donc de côté. Il me faut au contraire insister sur le développement des disques intervertébraux, la présence des restes de la notocorde à leur centre, donnant à ces fibro-cartilages des caractères qui sont propres au rachis et que l'on ne retrouve nulle part ailleurs.

Si l'on fait une coupe sagittale ou frontale comprenant deux ou plusieurs vertèbres pendant la période cartilagineuse, et qu'on observe à un grossissement de 400 diamètres les limites du cartilage et des tissus périphériques, on voit que l'un et l'autre tissu à ce niveau sont constitués par de nombreux éléments anatomiques à peine séparés les uns des autres par une petite quantité de substance fondamentale. Cette zone se colore très fortement par le carmin, et se montre tout aussi bien sur les parties latérales des vertèbres, qu'entre les corps vertébraux eux-mêmes. En ce point, nous l'avons déjà vu, le centre de l'espace intervertébral est occupé par le renflement de la notocorde qui bientôt sera dépourvu de sa gaine.

Il est fort difficile, dans cette zone périphérique des vertèbres, de distinguer les éléments qui appartiennent au cartilage de ceux qui deviendront plus tard du tissu fibreux; de sorte que certains auteurs ont vu là un exemple de transition entre les deux tissus. Ce que j'ai dit plus haut à propos de la genèse du

cartilage, nous dispense de revenir ici sur cette question.

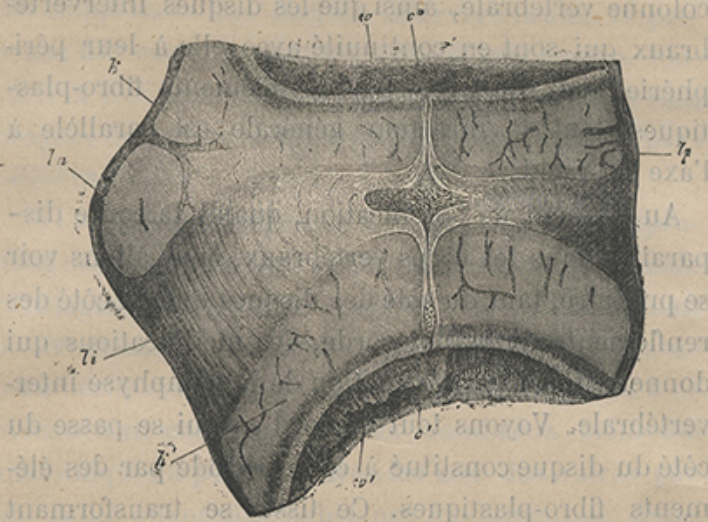
Quoi qu'il en soit, à une certaine distance du cartilage, il est facile de voir que la gaine externe de la colonne vertébrale, ainsi que les disques intervertébraux qui sont en continuité avec elle à leur périphérie, sont constitués par des éléments fibro-plastiques dont la direction générale est parallèle à l'axe du rachis.

Au moment de l'ossification, quand la corde disparaîtra dans les corps vertébraux, nous allons voir se produire, tant du côté des disques que du côté des renflements de la notocorde, des modifications qui donneront lieu à la formation de la symphyse intervertébrale. Voyons tout d'abord ce qui se passe du côté du disque constitué à cette période par des éléments fibro-plastiques. Ce tissu se transformant bientôt en fibres lamineuses va constituer un disque ou plutôt un anneau fibreux, adhérent par ses deux faces supérieures et inférieures aux cartilages voisins. La cavité qui se trouve ainsi limitée, contient le renflement de la notocorde.

Ce dernier présente encore une forme bicône, et l'on voit ses deux extrémités supérieures et inférieures, ses deux pôles, en un mot, s'effiler et sembler se continuer avec une bande de substance fondamentale qui arrive jusqu'au centre des deux vertèbres adjacentes (Leboucq). Le même auteur fait remarquer que le développement du disque se faisant beaucoup

plus rapidement à la partie postérieure qu'à la partie antérieure, le renflement cordal se trouve repoussé en avant. Mais ce n'est pas tout, dans la partie postérieure

Fig. 3.



Section longitudinale du ligament intervertébral et des deux parties adjacentes de deux vertèbres de la région thoracique chez un ambryon de mouton.

la. Ligament longitudinal antérieur. — lp. Ligament long postérieur. — u. Ligament intervertébral. — k k'. Epiphyse de la vertèbre. — w w' Vertèbre antérieur et postérieure. — c. Dilatation intervertébrale de la notocorde. — a et c' Dilatation intravertébrale de la notocorde.

du disque, par suite de modifications subies par la substance fondamentale du tissu fibreux, se formerait une seconde cavité, de sorte que sur une coupe sagittale (antéro-postérieure), le centre du disque paraît formé de deux cavités (1) remplies, la postérieure par une substance molle et transparente, l'antérieure par le ren-

(1) Leboncq, *loc. cit.*, p. 729 (voir la fig. 4 de la planche qui accompagne son Mémoire).

flement cordal. En somme, cette cavité ou plutôt cette portion molle postérieure, peut être considérée comme l'analogue de celle que l'on rencontre au centre de toute amphiarthrose et qui se trouve constituée « par de minces lamelles et des filaments très grêles qui se continuent sur quelques points avec les lamelles et les filaments de la surface opposée (1). »

Cette cavité postérieure décrite par Leboucq, progressant vers la partie antérieure, finira par se fusionner avec la première pour constituer la cavité centrale du disque qui contient le *nucleus pulposus*. Ce noyau pulpeux, comme on le voit, serait constitué à la périphérie et en arrière par les éléments du tissu fibreux modifiés, au centre et en avant par les restes de la notocorde. Il nous faut donc étudier chacune de ces parties séparément, voir quels rapports elles affectent entre elles, quelles modifications elles vont subir, non seulement à la naissance, mais encore celles qu'elles vont présenter dans le cours de la vie jusqu'à la vieillesse.

Nous avons vu que la gaine disparaît ainsi que Luschka l'a fait voir un des premiers (2). En même temps le tissu de la notocorde et le liquide visqueux interposé à ses éléments subissent une augmentation de volume ; de sorte que la cavité du disque se

(1) Sappey, *Anat. descript.*, t. 1^{er}, p. 493.

(2) Voir l'analyse du travail de Luschka, cité plus haut, in *Bull. de l'Acad. de méd.*, 1859, t. XXIV, p. 599.

trouve complètement remplie. — Mais les parois de cette cavité sont elles-mêmes molles et pulpeuses, constituées par une substance amorphe très abondante, parcourue par des tractus fibreux ou fibro-cartilagineux qui forment un réseau qui tend à pénétrer et à dissocier les éléments du renflement cordal.

Chez l'homme, ce processus semble s'arrêter ou du moins se produire avec beaucoup de lenteur, dans la région lombaire surtout, où l'on peut encore jusqu'à l'âge de 60 à 65 ans retrouver les restes de la notocorde.

Chez les ruminants, animaux à colonne vertébrale rigide, même avant la naissance, on voit les tractus fibreux pénétrer et dissocier la notocorde dont les éléments disséminés entre des faisceaux qui constituent le disque, ou agglomérés en grumeaux plus ou moins volumineux, peuvent simuler des myéloplaxes. Chez l'homme, jusqu'à la fin du deuxième mois de la vie intra-utérine la cavité reste lisse, mais à partir de cette époque on voit se produire « les prolongements villos, fibreux ou fibro-cartilagineux » dont je viens de parler. Mais au lieu de détruire en quelque sorte le noyau pulpeux comme chez les grands mammifères à colonne vertébrale rigide, ces prolongements vont le pénétrer et lui fournir par leurs tractus déliés et leurs anastomoses un réseau de soutien des plus délicats qui sous le microscope offre les dispositions les plus élégantes (Tood-Bowmann).

Ces aréoles, à mesure que l'on avance en âge, deviendront plus nombreuses, leurs trabécules plus épais et plus denses, jusqu'à la vieillesse où le disque ne contient plus de noyau central et devient fibreux au centre comme à la périphérie.

Pendant que se produisent ces modifications du côté de l'anneau fibreux, les cellules du renflement subissent des modifications importantes. Le noyau notocordal s'est fragmenté ou plutôt a été fragmenté, plus ou moins suivant les espèces, par les prolongements centraux du disque.

Ces amas de cellules flottent dans un liquide visqueux. Puis on voit les cellules qui composent ces amas augmenter de volume, se creuser de cavités remplies de gouttelettes rosées ou jaunâtres. — Les gouttelettes disparaissent quand on fait séjourner ces cellules dans l'eau pendant un certain temps, et la cellule reprend son volume primitif. On trouve des gouttelettes semblables dans le liquide visqueux interposé aux cellules. — Ces modifications seraient beaucoup plus prononcées chez l'homme que chez les autres mammifères, les carnassiers en particulier (Robin).

En résumé, anneau fibreux périphérique, dont la cavité centrale remplie d'une matière molle et pulpeuse dont nous venons d'exposer la double origine, est parcourue par des tractus fibreux et fibro-cartilagineux plus ou moins volumineux, suivant les âges telle est la constitution du disque intervertébral.

Dans certaines régions, le sacrum et le coccyx,

cette structure va se modifier dès les premières années de la vie chez l'homme, et même dès le troisième ou le quatrième mois de la vie intra-utérine, chez les ruminants, chez le cheval. Cet état amène l'oblitération des cavités intervertébrales. — Cependant il faut dire que chez l'homme, si la soudure du corps des vertèbres sacrées ne se fait pas avant la naissance, on peut observer que déjà, sur des embryons de deux ou trois mois, les cavités intervertébrales du sacrum n'ont plus que $\frac{1}{4}$ de millimètre de diamètre, tandis que celles de la région lombaire ont encore $\frac{2}{3}$ de millimètre. C'est de 6 à 12 ans que s'oblitérent les cavités intervertébrales du sacrum et du coccyx. Le noyau qui remplit cette cavité devient grisâtre à la coupe, ce qui est dû aux nombreux tractus fibreux, et même fibro-cartilagineux qui se sont développés autour de lui et l'ont traversé et dissocié en tout sens. On peut trouver encore au milieu de tous ces faisceaux des cellules de la notocorde ratatinées et flétries, et quelques gouttelettes sarcodiques encore éparses au milieu des fibres lamineuses d'autant plus abondantes que l'enfant est plus âgé.

C'est grâce aux mêmes modifications, que chez le vieillard toutes les cavités intervertébrales s'oblitérent. Quand le centre est devenu complètement solide, les disques diminuent d'épaisseur à moins cependant que les cartilages qui entrent dans sa constitution ne s'ossifient. Dans ce cas, il y aurait au contraire augmentation d'épaisseur. (Robin, *Dict. encyclop.*).

Ainsi donc, à mesure que l'homme avance en âge, ses articulations vont perdre de plus en plus leur souplesse pour arriver à l'ankylose fibreuse et même à l'ankylose osseuse.

C'est dans la région lombaire et dans la région cervicale que les articulations du corps conserveront le plus longtemps leur mobilité.

Il ne me reste plus à parler que de l'articulation de la tête avec la colonne vertébrale. Je laisserai de côté les articulations latérales ou des condyles de l'occipital avec l'atlas. Je ne parlerai pas non plus de l'articulation de l'apophyse odontoïde avec l'arc antérieur. Il s'agit là d'une trochoïde. La partie postérieure de l'anneau dans lequel pivote l'apophyse odontoïde est constituée par un ligament transverse; d'autre part, le sommet de l'apophyse odontoïde est réuni à l'occipital par trois ligaments, un médian et deux latéraux. Ces derniers, appelés ligaments odontoïdiens vont du sommet de l'apophyse odontoïde aux bords internes des condyles de l'occipital.

Les ligaments transverses et les ligaments odontoïdiens ne présentent rien de particulier au point de vue de leur développement. Il n'en est plus de même du ligament occipito-axoïdien. Sans décrire ici les trois couches qui le constituent, je dirai qu'il s'insère d'une part à la circonférence antérieure du trou occipital, d'autre part à l'apophyse odontoïde et au ligament transverse.

Beaucoup d'auteurs ont voulu voir dans ce ligament un reste de la corde dorsale transformé. Il n'en est rien. On sait que la corde ne se transforme jamais en quelque tissu que ce soit. Mais ce ligament doit être considéré comme un véritable disque, interposé entre le corps de l'atlas qui n'est autre que l'apophyse odontoïde et le corps de l'occipital représenté par l'apophyse basilaire. Cette manière de voir est d'autant plus légitime, qu'à un moment donné la notocorde présente un léger renflement situé entre le sommet de l'apophyse odontoïde et le pourtour du trou occipital, et le ligament occipito-axoïdien doit être considéré du moins, quant à son faisceau médian, comme représentant le premier disque intervertébral.

Il me faut maintenant étudier les ligaments surépineux et interépineux, enfin les ligaments jaunes. N'ayant pu trouver dans les divers auteurs que j'ai consultés des renseignements suffisants pour traiter ce dernier chapitre de la question, j'ai cru devoir faire quelques recherches à ce sujet. La tâche m'a été facilitée par M. Hermann, chargé de cours à la Faculté de médecine de Lille, et par M. Pillet, préparateur au Laboratoire d'anthropologie zoologique. Je dois les en remercier ici.

Je commencerai cette étude par les ligaments postérieurs. — Ligament surépineux, — ligament interépineux.

Ligaments surépineux et interépineux. — Nos observations ont été faites sur des coupes pratiquées à la région cervicale d'un embryon de mouton de 18 centimètres. — Les pièces avaient été conservées dans l'acide chromique. — Nos coupes pratiquées dans deux sens différents, les unes suivant un plan vertical et transversal, les autres perpendiculairement à l'axe de la colonne vertébrale.

Sur les premières on voit déjà, à un faible grossissement, que les masses musculaires sont séparées sur la ligne médiane par une bande claire que le carmin ne colore pas, tandis que les muscles sont fortement colorés. On la suit ainsi d'arrière en avant, jusqu'au sommet des apophyses épineuses, et bientôt, sur une coupe plus antérieure, on voit cette bande claire interrompue par le sommet des apophyses épineuses. Les coupes successives, d'arrière en avant, nous montrent que le ligament cervical postérieur et le ligament interépineux, se continuent sans ligne de démarcation.

Si maintenant nous étudions la disposition de ces ligaments sur une coupe transversale, nous observons les particularités suivantes (1).

L'arc postérieur de la vertèbre n'est pas encore complètement fermé en arrière, et au niveau de l'ouverture ainsi produite on voit les tissus qui en-

(1) Ces dernières ont été pratiquées sur un embryon de 10 centimètres.

turent la vertèbre cartilagineuse se continuer avec ceux qui vont tapisser l'intérieur de l'arc vertébral et recouvrir la moelle. Au niveau de l'ouverture (voir Pl., fig. 3), il y a une sorte de pédicule qui réunit les rudiments du ligament cervical postérieur avec les tissus qui, plus tard, constitueront les méninges. Au centre de ce pédicule, au point vers lequel semblent converger les arcs cartilagineux encore incomplets, on voit comme une sorte de tache sombre plus fortement colorée par le carmin, et qui présente déjà à un faible grossissement un aspect analogue à cette tache plus sombre et plus colorée qui entoure les pièces cartilagineuses en voie de développement. C'est là que se formera bientôt l'apophyse épineuse quand les deux lames vertébrales convergeant en arrière auront fini par se réunir.

De ce qui précède, nous pouvons conclure que, à une certaine période du développement, le ligament cervical postérieur est en continuité non-seulement avec les ligaments interépineux mais encore avec les tissus aux dépens desquels vont se développer les ligaments jaunes et même le ligament contenu dans l'intérieur du canal rachidien à la face postérieure du corps de la vertèbre (surtout ligamenteux postérieur).

Etudions maintenant nos coupes à un plus fort grossissement; 400 diamètres. Nous voyons que le ligament cervical postérieur qui, nous l'avons déjà dit, se colore très peu par le carmin et se distingue

ainsi facilement des réseaux musculaires, nous voyons, dis-je, qu'il est constitué par des éléments fusiformes, allongés parallèlement à l'axe longitudinale du ligament. Beaucoup d'entre eux ne sont pas réellement fusiformes, mais sont constitués par un noyau ovoïde, granuleux, très apparent.

Des deux extrémités du noyau on voit partir comme une fibre rectiligne que l'on perd bientôt, si l'on examine le centre du ligament, au milieu des fibres et des noyaux voisins. Si maintenant nous étudions les bords du ligament, dans les points où les manœuvres de préparation ont légèrement dissocié les tissus, on peut mieux étudier les éléments anatomiques dont je viens de parler. Quelques-uns sont isolés, et l'on voit partir des deux extrémités du noyau une fibre d'aspect rubané à bords très nets, restant rectiligne, ou se contournant plus ou moins à ses extrémités. Le carmin ne colore pas ces fibres, et sous le microscope, elles paraissent fortement réfringentes. En un mot, leur aspect rappelle absolument des fibres élastiques en voie de développement. Comme sur les coupes que nous avons examinées la peau avait été conservée, on pouvait observer des éléments analogues à la face profonde du derme.

Si maintenant nous nous rapprochons des pièces cartilagineuses, on voit que les ligaments à ce niveau sont surtout constitués par des noyaux fusiformes et des corps fibro-plastiques qui seront remplacés plus tard par des fibres élastiques.

En somme, le ligament cervical postérieur et le ligament inter-épineux se développent par une genèse d'éléments élastiques qui se fait dans certaines régions déterminées de cette gaine composée de corps fibro-plastiques qui, pendant la période cartilagineuse, entoure de toute part la colonne vertébrale.

Ligaments jaunes. — Ces ligaments, dont j'ai déjà mentionné l'importance au point de vue du mécanisme du rachis, constituent un système spécial. Le processus histologique qui leur donne naissance est le même que celui qui préside à la formation des ligaments postérieurs que je viens de mentionner. Comme pour les précédents, on voit que les portions adhérentes aux cartilages sont plus sombres, plus fortement colorées par le carmin. J'ai pu constater ces particularités sur l'embryon humain grâce à l'obligeance de M. Hermann, qui a bien voulu me prêter des préparations qui font partie de la collection du laboratoire de M. le professeur Robin. La préparation que j'ai fait représenter sur la planche qui accompagne cette thèse est une coupe frontale (c'est-à-dire faite suivant un plan transversal et vertical), pratiquée à la partie postérieure du rachis, un peu en avant des apophyses épineuses ; elle est colorée à l'hématoxyline.

Examinée à un faible grossissement (pl. fig. 2), on peut voir que les ligaments élastiques qui se distinguent facilement des autres tissus par leur coloration moins intense surtout à leur partie moyenne, pré-

sentent par rapport aux lames vertébrales la même disposition que chez l'adulte. Ils s'insèrent à la face interne de la lame située au-dessus, pour venir se jeter en se bifurquant, sur le bord supérieur de la lame située au-dessous. Sur la face externe de la lame, le ligament semble se continuer avec une mince couche de tissu qui fait place bientôt à des insertions musculaires (m). Sur la face interne de la lame, au contraire, on voit le ligament se continuer avec une couche épaisse de tissu qui se relie directement avec les ligaments élastiques des vertèbres situées au-dessus et au-dessous. Il semblerait donc que les lames, pendant la période cartilagineuse, sont doublées à leur face interne par une couche élastique continue du haut en bas de la colonne vertébrale; cette couche envoyant un prolongement sur la face externe au niveau du bord supérieur de chaque lame. On peut voir même sur la partie inférieure de la figure 2, la coupe ayant passé moins en avant que pour les deux lames supérieures, que les ligaments des deux côtés se continuent l'un avec l'autre au niveau de l'angle formé par la réunion des lames. Un autre fait assez intéressant à signaler sur les lames vertébrales de cet embryon, c'est que l'ossification commence plus tôt sur le bord supérieur de l'arc que sur le bord inférieur.

Dans la portion qui relie les lames, à un fort grossissement, on constate que ces ligaments sont constitués par de nombreux noyaux ovoïdes, légèrement

granuleux, se terminant à leur deux extrémités par des fibres quelquefois bifurquées et présentant déjà les caractères des fibres élastiques très fines. Sur les portions qui sont en contact avec le cartilage, on voit une couche plus sombre dans laquelle les noyaux sont plus nombreux et plus serrés, on ne distingue plus aussi nettement les fibres qui les terminent.

Sur un fœtus de cheval de 30 centimètres, j'ai pu constater une disposition des ligaments jaunes à peu près analogue à celle que je viens de décrire chez l'embryon humain (pl. fig. 1). Comme chez l'homme, le ligament élastique s'insère sur la face interne de la lame située au-dessus, pour aller se jeter sur le bord supérieur de la lame située au-dessous. J'ai pu faire quelques dissociations de ces ligaments chez le cheval. Je dois dire que n'ayant pas de pièces fraîches j'ai dû faire ces dissociations sur des pièces ayant durci dans l'acide chromique. J'ai pu cependant constater que sur ce fœtus de 30 centimètres les ligaments jaunes étaient constitués par des fibres élastiques fines, la plupart sans noyau.

Quoique ces observations soient bien incomplètes, vu le peu de temps que j'ai pu y consacrer, je crois qu'elles peuvent nous permettre de dire que les ligaments jaunes à la période cartilagineuse, sont déjà distincts des tissus qui entourent le rachis, et que la disposition qu'ils affectent déjà par rapport aux lames vertébrales est la même que celles qu'ils présenteront plus tard chez l'adulte.

Nous venons de voir les modifications que subissent les articulations de la colonne vertébrale après la naissance; il ne nous reste plus qu'à dire quelques mots de la forme du rachis chez le nouveau-né, et des différentes courbures qu'il présentera chez l'adulte. On admet généralement que la colonne vertébrale est rectiligne chez le fœtus et le nouveau-né, et que ce n'est que lorsque l'enfant commencera à marcher, que l'on verra les courbures normales s'accroître de plus en plus.

Ce n'est que depuis Bichat, que les anatomistes se sont occupés de cette question. Ce sont les frères Weber qui ont fixé, par leurs recherches, la constitution anatomique des courbures antéro-postérieures normales chez l'adulte. Bichat (1) admettait que si la colonne vertébrale était rectiligne à la naissance, c'est que le corps des vertèbres n'a pas encore pris la forme de coin qui le caractérise plus tard. Pour Malgaigne (2), pour Bouvier (3), ces courbures seraient la conséquence de la station bipède. Elles ne seraient permanentes qu'après l'âge de 6 à 7 ans. Avant cet âge, quand l'enfant est debout, son rachis présente dans les trois régions cervicale, dorsale et lombaire, les courbures propres à ces régions, c'est-à-dire à convexité antérieure au cou, postérieure au dos, et de

(1) Bichat, *Anat. descript.*, 1801, p. 158.

(2) Malgaigne, *Leçons d'orthopédie*.

(3) Bouvier, *Leçons cliniques*.

nouveau dirigée en avant pour les lombes. Mais si on fait coucher l'enfant, les courbures disparaissent. Hirschfeld a combattu cette théorie purement mécanique (1), et fait remarquer que la courbure dorsale existe même chez les personnes qui n'ont jamais marché.

Bouland (2), qui a repris la question en 1875, après des recherches d'une grande précision, admet que le rachis, même à la naissance, présente toujours une courbure dorsale, quelquefois une courbure lombaire et que les ligaments périphériques et les ligaments jaunes ne jouent aucun rôle dans la production de ces courbures; les courbures cervicales et dorsales seraient dues à la forme des corps et des disques intervertébraux. Pour la courbure lombaire, il admet l'influence de la station bipède. En résumé, les courbures existent à peine à la naissance, ne deviennent permanentes qu'après l'âge de 7 ans. Diverses causes, forme des corps vertébraux et des disques articulaires, station bipède, marche, contribuent chacune pour leur part, au développement de ces courbures (3).

Enfin il ne me reste plus que quelques mots à dire

(1) Hirschfeld, *Nouvel aperçu sur les conditions anatomiques des courbures de la colonne vertébrale chez l'homme*. — *In Gaz. des hôp.*, 4 août 1849.

(2) P. Bouland, 1875. — Masson, broch. de 25. et J. de Robin, 1872.

(3) Je n'insiste pas ici sur la courbure latérale que l'on observe à la région dorsale et qui serait due à la présence de la crosse aortique.

sur les rapports que l'on observe entre la longueur du canal vertébral et celle de la moelle épinière. Ces rapports diffèrent suivant les âges. Jusqu'à la fin du troisième mois de la vie intra-utérine, la moelle occupe le canal dans toute son étendue; à la fin du cinquième mois son extrémité inférieure ne descend plus que jusqu'à la base du sacrum; à la naissance, cette extrémité répond au corps de la troisième ou de la quatrième vertèbre lombaire; enfin, vers 12 ou 15 ans, elle répond à la seconde vertèbre lombaire. A cette époque, le rapport entre l'étendue du canal rachidien et celle de la moëlle est définitivement établi, la moelle représente alors en longueur les trois cinquièmes du canal vertébral (Sappey) (1).

(1) Sappey, vol. 3, 1872, p. 151.

CHAPITRE V.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

La colonne vertébrale chez l'homme, se compose de trente-trois pièces ou segments. — Le nombre des vertèbres varie d'une espèce à l'autre chez les mammifères, mais il faut dire que la région cervicale présente chez tous les mammifères le même nombre de segments. Il y a chez tous sept vertèbres cervicales ; l'aï ou paresseux fait seule exception, il possède huit vertèbres au cou.

Mais si nous étudions les vertébrés inférieurs, nous voyons que le nombre des segments du rachis devient considérable, par exemple, chez les poissons et chez les reptiles. — La colonne vertébrale est donc un tout segmenté. Il fallait se demander quelles sont les causes, les conditions nécessaires de cette segmentation.

Certains auteurs ont voulu rapprocher les segments osseux de la colonne vertébrale, des métamères de certains invertébrés (les annélides, les vers, etc.). Je crois qu'il n'est pas besoin d'insister ici sur une pareille question, et qu'il faut chercher les raisons de la segmentation du rachis dans l'embryogénie et non dans les lois de l'atavisme ou d'un transformisme par trop exagéré.

Nous avons vu plus haut, que la segmentation du rachis membraneux s'explique très facilement par la présence des lames ou plaques musculaires. — Chaque protovertèbre correspond à une lame musculaire ; mais nous avons vu aussi que la segmentation du rachis cartilagineux n'est pas la même. Il y a donc une première et une seconde segmentation ; cette dernière est définitive. — La première segmentation ne se fait pas au hasard, elle est en quelque sorte dirigée par des organes préexistants (les lames musculaires). Il faut se demander s'il n'en est pas de même pour la seconde.

Rappelons-nous ce que nous avons dit à propos de la vertèbre type. Elle va, grâce au développement de ses deux arcs antérieur et postérieur, envelopper le système vasculaire en avant, le névraxe en arrière. — Si nous considérons l'homme et les mammifères supérieurs, nous voyons que l'arc postérieur, sauf vers les dernières vertèbres caudales existe sur toute la longueur du rachis. L'arc antérieur ou hœmal ne se rencontre plus complètement dans toutes les régions ; il n'existe plus qu'à la région dorsale pour envelopper l'organe central de la circulation. Il a disparu au cou, à la région lombaire, mais reparaît sur la queue de certains animaux où il constitue l'os en V. Malgré tout, si nous nous rappelons ce que nous avons dit à propos des côtes, nous voyons que dans toute les régions de la colonne vertébrale, on peut démontrer l'existence, sinon de

l'arc hœmal tout entier, du moins de ses vestiges. J'ajouterai même qu'au niveau du crâne, pendant la vie embryonnaire, chaque vertèbre crânienne présente un arc hœmal qui n'est autre que l'arc branchial; arc que l'on peut très bien considérer comme une côte temporaire. A cette période, en effet, le cœur et les gros vaisseaux occupent la région cervicale. Les arcs branchiaux ou viscéraux leur tiennent lieu d'organes de protection. Plus tard, quand le cœur et les gros vaisseaux rentreront dans la cavité thoracique, les arcs hœmaux des vertèbres crâniennes disparaîtront ou donneront lieu à la formation de divers organes dont je n'ai pas à m'occuper ici.

Ainsi donc, au moment où la colonne vertébrale cartilagineuse va se développer, nous trouvons en arrière la moelle, en avant les vaisseaux, enfin entre les deux la notocorde.

Rappelons-nous que, déjà dans la période membraneuse, les racines des nerfs et les ganglions rachidiens se sont développés de chaque côté de la moelle : à chaque paire nerveuse va correspondre un arc. Dans un récent Mémoire que j'ai cité plus haut, Aug. Froriep a très bien montré chez le poulet, l'influence que pouvait avoir la présence des ganglions rachidiens sur le développement des arcs postérieurs. Cet auteur a pratiqué à la région cervicale du poulet des coupes sagittales intéressantes aussi l'occipital. Dans les parties inférieures, là où existent les ganglions, les arcs cartilagineux sont parfaitement développés.

Mais, chez le poulet, les deux premiers nerfs cervicaux n'auraient pas de racine postérieure et par conséquent pas de ganglions; à ce niveau, les arcs sont encore rudimentaires; enfin au niveau de l'apophyse basilaire, où les nerfs n'existent plus, ou du moins ne présentent plus la même disposition qu'à la région cervicale, la segmentation n'a plus lieu malgré la présence de trois ou quatre renflements de la notocorde. D'après ces observations, les ganglions rachidiens semblent donc avoir une grande influence sur la segmentation.

Je m'étais demandé si l'étude des anomalies de nombre dans les vertèbres ne pouvait me fournir quelques renseignements utiles pour ce qui a trait à la segmentation du rachis (1). Malheureusement, la plupart des auteurs qui se sont occupés de cette question ont fait des recherches sur des squelettes et ne se sont pas préoccupés des rapports que les vertèbres supplémentaires pouvaient affecter avec les branches nerveuses qui vont constituer les différents plexus. Cependant dans un mémoire publié en 1878 par H. Jhering (2), j'ai pu trouver quelques renseignements à ce sujet. Les recherches de Jhering ont porté sur un grand nombre de vertébrés. Il démontre qu'il est toujours possible, par l'étude des

(1) Voir Topinard, *Revue d'antrop.*, 1877.

(2) *Das peripherische Nervensystem der Wirbelthiere als Grundlage für Kenntniss der Regionenbildung der Wirbelsäule*, Leipzig, Vogel, 1878. 238. 5. 4. 5, Tafeln.

plexus nerveux, dans les cas d'anomalie de nombre, de retrouver les vraies vertèbres de ces régions. C'est encore là une preuve de l'influence qu'exerce le système nerveux sur la disposition des différentes pièces du rachis. Nous allons voir, d'ailleurs, l'influence que la moelle peut exercer sur le développement de certaines anomalies.

Parmi les anomalies par augmentation du nombre des vertèbres, il en est une qui mérite de fixer tout particulièrement l'attention, c'est celle qui consiste dans l'existence d'une queue chez l'homme ou autres animaux qui n'en ont pas à l'état normal. Ce fait est d'autant plus intéressant à considérer qu'il résulte des recherches embryogéniques de Serres (1) *qu'il existe un rapport très constant entre l'évolution de la moelle épinière et celle de la queue.* « Primitivement, la moelle épinière se prolonge jusqu'à l'extrémité du canal vertébral; à cette époque, il existe chez tous les animaux une queue plus ou moins considérable..... Mais dans les espèces dont la queue est rudimentaire au point de n'être plus apparente à l'extérieur (q. q. singes et l'homme) la moelle épinière remonte peu à peu dans le canal que lui composent les vertèbres et la diminution ou même la disparition totale de la queue, coïncide avec cette ascension de la moelle. »

Si chez ces derniers la moelle épinière persiste

(1) Serres, *Anat. comp. du cerveau*, t. I^{er}, p. 99 et t. II. p. 116.

anormalement jusqu'à l'extrémité du coccyx, il y a une queue plus ou moins développée.

Enfin, nous trouvons d'autres preuves encore de ce que j'avance chez les monstres *anencéphales* qui n'ont ni cerveau, ni moelle, et dont la partie postérieure du canal rachidien est largement ouverte. Les lames vertébrales ne se sont pas développées, tandis que le corps et les apophyses latérales des vertèbres existent. — Il en est de même chez les *dérencéphales*, qui n'ont point de cerveau, et dont la moelle épinière manque dans la région cervicale. — Le crâne et la partie supérieure du canal rachidien sont largement ouverts (1). Nous voyons donc que là où il n'y a pas de système nerveux, l'arc neural ne se développe pas. Enfin l'anomalie connue sous le nom de spina bifida résulte de la non-soudure des lames à la partie inférieure de la colonne vertébrale et il faudrait se demander si les lésions que l'on peut observer sur la moelle ne sont pas primitives au lieu d'être secondaires.

En résumé nous pouvons dire que la présence du système nerveux est absolument indispensable au développement de l'arc postérieur et que probablement les nerfs rachidiens, surtout leur ganglions et leurs racines postérieures, sont une des principales causes de la segmentation du rachis.

Qu'il me suffise, pour terminer, de rappeler ce que

(1) Isid. Geoffroy Saint-Hilaire, *Téatologie*, t. 1^{er}.

j'ai dit plus haut à propos des vertèbres caudales. Nous avons vu que là où un vaisseau médian se montrait, un os en V venait l'envelopper. Nous avons vu aussi que là où finissait le système nerveux et où disparaît le vaisseau médian, la vertèbre n'est plus constituée que par son corps. Et cependant cette portion terminale du rachis est encore segmentée. Il faut donc admettre, que du moins pour les corps vertébraux, la notocorde joue aussi un rôle important dans la segmentation.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE.

- RATKE. — 1° Sur le développement de la vipère. Königsberg, 1839.
— 2° Sur le développement des tortues. Braunschweig, 1848.
— 3° Recherches sur le développement des crocodiles. *Ut supra*, 1866.
- CARL. BERGMANN. — Quelques remarques et réflexions sur le système squelettique des vertébrés. Göttinger Studien, 1843.
- M. P. ERDL. — Die Entwicklung des Menschen und des Hühnchens im Ei. (Le développement de l'homme et du poulet dans l'œuf). Leipsick, 1843.
- REICHERT. — Ueber die visceralbogen der Wirbelthiere. (Sur l'arc, viscéral des vertébrés). Muller's Arch, 1837.
- RODOLPHE WAGNER. — Génération et embryologie. Leipsick, 1839. (édition française du *Journal des connaissances médico-chirurgicale*).
- BURDACH. — Physiologie, trad. franc. Paris, 1838, t. III.
- BISCHOFF. — Traité du développement de l'homme. Paris, 1843, in 8.
- V. R. OWEN. — Ostéologie comparée. Paris, 1833.
- ROBERT REMACK. — Untersuchungen über die Entwicklung der Wirbelthiere. (Recherches sur le développ. des vertébrés). Berlin, 1833.
- LUSCHKA. — Die Altersrand der Zwischenwirbel Knorpel. (Sur les changements que subit avec l'âge, le disque intervertébral). Virchow's Arch., 1836.
- H. MULLER. — Ueber das Vorkommen von Resten der chorda dors. beim Menschen. (Sur la destinée des restes de la corde dorsale chez l'homme. Zeitschr. f. rat. med. 3^e R. Rd. II, 1838.
- JAGER. — Das Wirbelkorpergelenk der Vogel. (Articulations du corps des vertèbres des oiseaux). Wiener Akad. Sitzungsber. Bd. XXXIII, 1838, p. 527.
- SERRES. — Observations sur le développement centripète de la colonne vertébrale. Comptes-rendus, Acad. des sciences, 1861.
- ROBIN. — Sur le développ. des vertèbres, de l'axis et de l'atlas en particulier. (*Journ. de l'anat. et de la phys.*, 1864).
- RAMBAUD et RENAULT. — Origine et développement des os. Paris, 1864, in-8.

- PAUL GERVAIS. — Théorie du squelette humain, 1865.
- W. HIS. — Untersuchungen über die Entwicklung des Wirbelthierleibes. (Recherches sur le développement du corps des vertébrés). Leipsick, 1868.
- CH. ROBIN. — Mémoire sur l'évolution de la notocorde, in-4. Paris, 1868.
- E. DURSÝ. — Zur Entwicklungsgesch. des Kopfes. (Embryologie de la tête). Tübingen, 1869.
- W. MÜLLER. — Ueber den Bau der Corda dorsalis. (Sur la structure de la corde dorsale). In Zeitschrift für medicin und Natur. 1871.
- O. SCHMIDT. — Handbuch der verg Anat. (Manuel d'anat. comp., 1872).
- SCHWARK. — Beiträge zur Entwicklung der Wirbelsäule bei den Vögeln. (Etude, sur le développement de la colonne vertébrale chez les oiseaux). Anatomische Studieu. Leipsick, 1873.
- HASSE et SCHWARK. — Studien zur Vergleichenden Anatomie der Wirbelsäule, insbesondere des Menschen und der Säugethiere (Etude d'anatomie comparée de la colonne vertébrale particulièrement de l'homme et des mammifères. Leipsick, 1873.
- ALEX. GOETTE. — Die Entwicklungsgeschichte der. Unke. (Embryologie de la couleuvre). Leipsick, 1875.
- MIHALKOVICS. — Wirbelsäule und Hirnanhang. (Notocorde et annexes du cerveau). Arch. f. Mikr. Anat., 1875.
- EM. ROSENBERG. Ueber die Entwicklung der Wirbelsäule, etc. (Sur le développement de la colonne vertébrale). Morphologische, Jahrbuch, 1876., Bd. I.
- FÉLIX EHRLICH. — Ueber die peripheren Theil der Urwirbel. (Sur la partie périphérique de la vertèbre de l'embryon). Arch. f. mik anat., t. XI, p. 266. Analysé in. Revue d'Hayem, 1876.
- GEGENBAUR. — Untersuchungen zur vergleichenden Anat der Wirbelsäule bei Amphibien und Reptilien. (Recherches pour servir à l'anatomie comparée de la colonne vertébrale chez les Amphibiens et les Reptiles). Leipsick 1862.
- GEGENBAUR. — Éléments d'anatomie comparée, 1877.
- GOETTE. — Sur la morphologie du système squelettique des vertébrés. — Plusieurs mémoires analysés dans le Jahresberichte der anat. und physiol., 1879.
- JHERING. — Compréhension des segments chez les vertébrés et les invertébrés avec remarques sur la colonne vertébrale de l'homme. Analyse dans Jahresberichte, 1879.

JHERING. — Le système nerveux périphérique des vertébrés considéré comme base pour la connaissance de la formation des régions de la colonne vertébrale *ut supra*.

EUG. FICK. — Zur entwick. der Rippen und Quertfortsatze. Dies Archiv. 1879. (Embryologie des côtés et des apophyses transverses).

WELCHER. — Zur Lehre von Bau und Entwicklung der Wirbelsäule. Zool anseiger. Nr 13, S. 291-293. (Structure et développement de la colonne vertébrale).

PHILIPP STOHR. — Zur Entwicklung des Anurenschadels. (Embryologie du crâne des anoures). Zeitschrift für Wissenschaftliche Zoologie, 1881.

AUG. FRORIEP. — Ueber ein ganglion des hypoglossus und Wibrilanlagen in der occipital region. (Sur un ganglion de l'hypoglosse et la situation des vertèbres dans la région occipitale). Dies Arch., 1882.

A propos du crâne, consulter les travaux de Parker publiés dans les *Philosophical transactions*, de 1869 à 1880.

Voir aussi la bibliographie de la notocorde et de la colonne vertébrale dans *Embryol. comp.* de Balfour, édit. anglaise, p. 461.

JHERING. — Le système nerveux périphérique des vertébrés considéré comme base pour la connaissance de la formation des régions de la colonne vertébrale et autres.

FUE FICK. — Zur entwicklung der Rippen und Querfortsätze. Dies Archiv. 1879. (Embryologie der Rippen und des apophysen tragers).

WEICHEN. — Zur Lehre von den nach Entwicklung der Wirbelsäule. Anat. Anzeiger. 24-13. S. 291-302. (Struktur und Entwicklung der Wirbelsäule).

FRANZ STORR. — Zur Entwicklung der Anamnese. (Embryologie der Wirbelsäule). Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie. 1881.

ADAM THORPE. — Über die Entwicklung der Hypophyse und Wirbelsäule. In der Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie. 1881.

1882. — Über die Entwicklung der Hypophyse und Wirbelsäule. In der Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie. 1882.

1883. — Über die Entwicklung der Hypophyse und Wirbelsäule. In der Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie. 1883.

1884. — Über die Entwicklung der Hypophyse und Wirbelsäule. In der Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie. 1884.

1885. — Über die Entwicklung der Hypophyse und Wirbelsäule. In der Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie. 1885.

1886. — Über die Entwicklung der Hypophyse und Wirbelsäule. In der Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie. 1886.

1887. — Über die Entwicklung der Hypophyse und Wirbelsäule. In der Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie. 1887.

1888. — Über die Entwicklung der Hypophyse und Wirbelsäule. In der Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie. 1888.

1889. — Über die Entwicklung der Hypophyse und Wirbelsäule. In der Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie. 1889.

1890. — Über die Entwicklung der Hypophyse und Wirbelsäule. In der Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie. 1890.

TABLE DES MATIÈRES.

	pages.
Introduction.	5
CHAPITRE I ^{er} . — De la notocorde ou corde dorsale.	9
CHAPITRE II. — Les protovertèbres. — La colonne vertébrale membraneuse.	21
CHAPITRE III. — Colonne vertébrale cartilagineuse.	29
Développement des vertèbres cartilagineuses.	36
La notocorde pendant la période cartilagineuse.	46
Développement de quelques vertèbres en particulier, — axis — atlas	52
Développement de l'occipital.	59
Sacrum et coccyx.	61
Les apophyses transverses dans les différentes régions, — les côtes.	63
Apophyses épineuses.	71
CHAPITRE IV. — Ossification de la colonne vertébrale	74
CHAPITRE V. — La notocorde pendant la période d'ossification. Développement des articulations de la colonne vertébrale	82
Articulations des corps vertébraux.	85
Ligaments surépineux et interépineux.	95
Ligaments jaunes.	98
CHAPITRE VI. — Considérations générales.	104
Index bibliographique	111

EXPLICATION DE LA PLANCHE.

FIG. I. — Coupe longitudinale passant par deux lames vertébrales (foetus de cheval de 30 centim.). Grossissement 10 D.

- m. m.* Faisceaux musculaires.
- lvs* Lame supérieure.
- lvi* Lame inférieure.
- le* Ligament élastique.

FIG. II. — Coupe frontale, c'est-à-dire faite suivant un plan vertical et transversal un peu en avant des apophyses épineuses (embryon humain), préparation de M. Hermann.

- le le le* Ligament élastique.
- lvs* Lame supérieure.
- lvi* Lame inférieure.
- σ* Points en voie d'ossification de la lame inférieure.
- m* Faisceaux musculaires.

FIG. III. — Coupe transversale d'une vertèbre cervicale (préparation de M. Pillet).

- m. m* Muscles.
- l. l.* Lames de l'arc postérieur.
- c* Corps de la vertèbre.
- t* Point cartilagineux de l'apophyse épineuse.
- œ* Œsophage.

FIG. IV. — Colonne lombaire d'un chat nouveau-né montrant les apophyses transverses encore cartilagineuses en antéversion.

FIG. V. — Coupe sagittale de la colonne vertébrale à la région dorso-lombaire, montrant la direction des apophyses épineuses, lombaires et dorsales (chat nouveau-né).

Paris. — Imp. F. Pichon, 30, rue de l'Arbalète, & 24, rue Soufflot.

Fig. I.

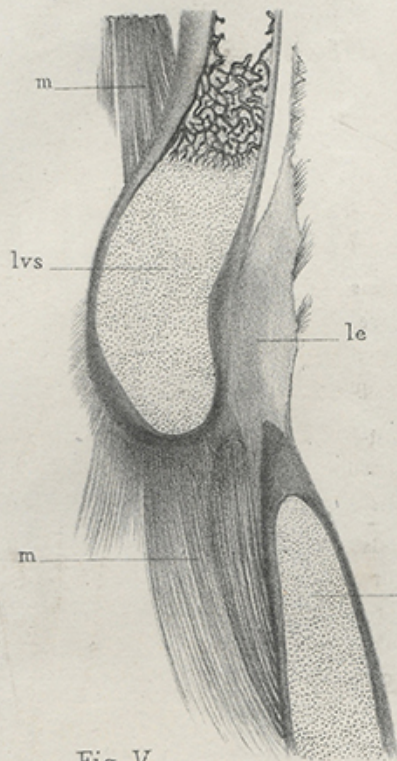


Fig. II.

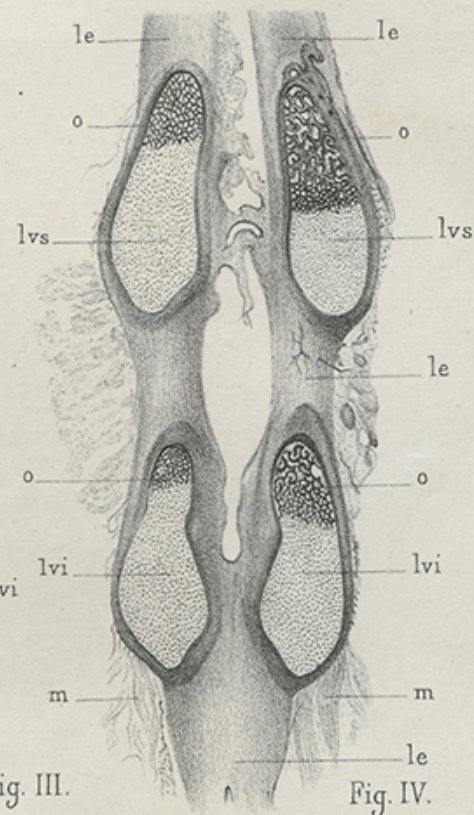


Fig. V.

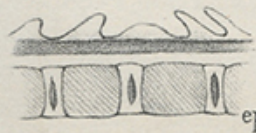


Fig. III.

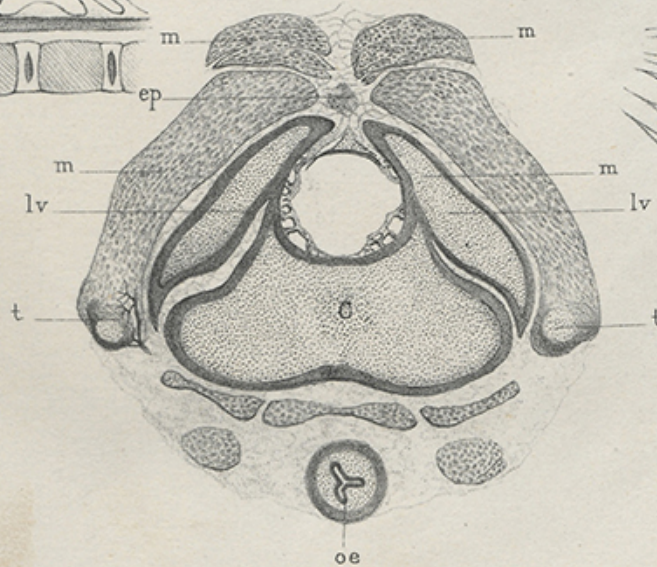
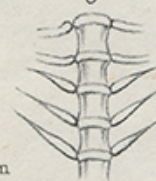


Fig. IV.



Delahaye ad nat. del. et lith.

Imp Becquet fr. Paris.