

# 02 APPAREIL LOCOMOTEUR



**APPAREIL LOCOMOTEUR**

**I – DEFINITIONS**

L'étude de l'appareil locomoteur comprend **l'ostéologie, l'arthrologie et la myologie.**

L'ensemble se résume en 5 fonctions :

- 1 – fonction de **locomotion** dévolue essentiellement aux membres pelviens ou inférieurs
- 2 – fonction de **préhension** dévolue essentiellement aux membres thoraciques ou supérieurs
- 3 – fonction de **support** du tronc, de la tête et du cou, des membres supérieurs (mais aussi orientation du tronc et de la tête et protection de la moelle spinale)
- 4 – fonction de **mastication** dévolue à l'appareil manducateur
- 5 – fonction **motrice de la respiration** (cf. appareil respiratoire).

L'ensemble de l'appareil locomoteur provient du feuillet moyen de l'embryon, le **mésoderme.**

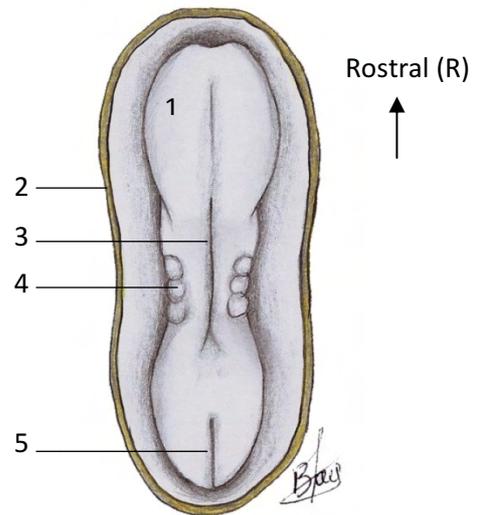
L'organogénèse commence chez l'embryon. La croissance se termine après la puberté mais la vitesse du phénomène n'est pas uniforme. Il faut individualiser le devenir du **mésoblaste** des arcs branchiaux. Le problème du crâne sera également abordé ainsi que l'origine ectodermique des dents.

L'organogénèse et la croissance de l'appareil locomoteur sont étudiées en commençant chez l'embryon pour terminer chez l'adulte puisque chez l'homme le phénomène de croissance est particulièrement lent.

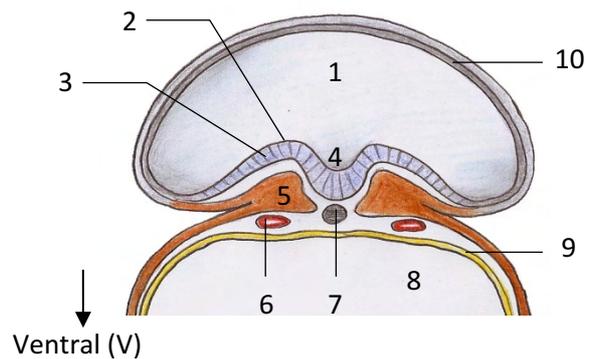
**II – OSTEOGENESE, DEVELOPPEMENT ET CROISSANCE DES OS DU TRONC ET DES MEMBRES**

**1 – Introduction (fig. 1 à 5)**

Il provient des **somites** (mésoblaste para-axial).  
Tous les éléments provenant d'une paire de somites forment un **métamère.**  
Les cellules des parois ventrale et médiale prolifèrent pour donner le **sclérotome** qui est à l'origine du système squelettique.  
Les cellules de la paroi dorsale donnent le **dermomyotome** dont la partie superficielle, sous l'ectoderme, va constituer le **dermatome**, origine du derme.



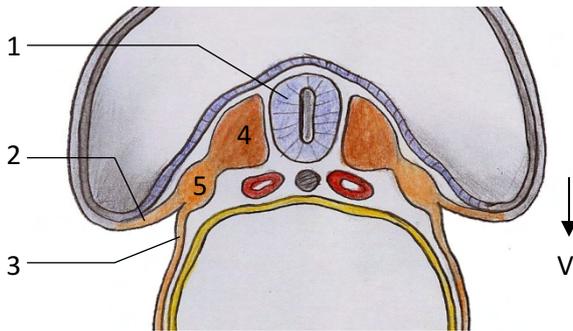
**Fig. 1 – Face dorsale d'un embryon de 20 jours**  
1. plaque neurale – 2. amnios – 3. sillon neural – 4. somites – 5. ligne primitive



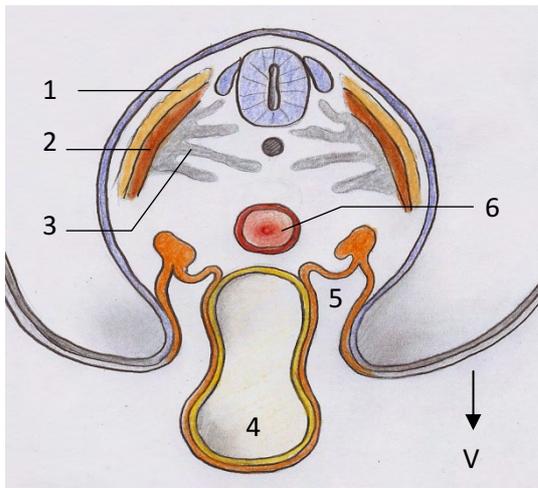
**Fig. 2 – Coupe transversale d'un embryon de 20 jours**  
1. cavité amniotique – 2. crête neurale – 3. ectoblaste – 4. sillon neural – 5. mésoblaste – 6. aorte dorsale – 7. chorde – 8. vésicule vitelline – 9. endoblaste – 10. amnios

Le **myotome** restant est à l'origine des muscles rouges squelettiques.

Le **sclérotome** forme un tissu lâche nommé **mésenchyme** qui est un tissu conjonctif pluripotentiel. Les cellules vont se différencier en chondroblastes, ostéoblastes et fibroblastes.  
Le sclérotome donne donc les **os**, les **articulations** et les **ligaments.**



**Fig. 3 – Coupe transversale d'un embryon de 21 jours**  
1. tube neural – 2. somatopleure – 3. splanchnopleure – 4. somite (mésoblaste para-axial) – 5. mésoblaste intermédiaire



**Fig. 4 – Coupe transversale d'un embryon de 25 jours**  
1. dermatome – 2. myotome – 3. sclérotome (migration des cellules) – 4. vésicule ombilicale – 5. coelome interne – 6. aorte

## 2 – La chondrogénèse

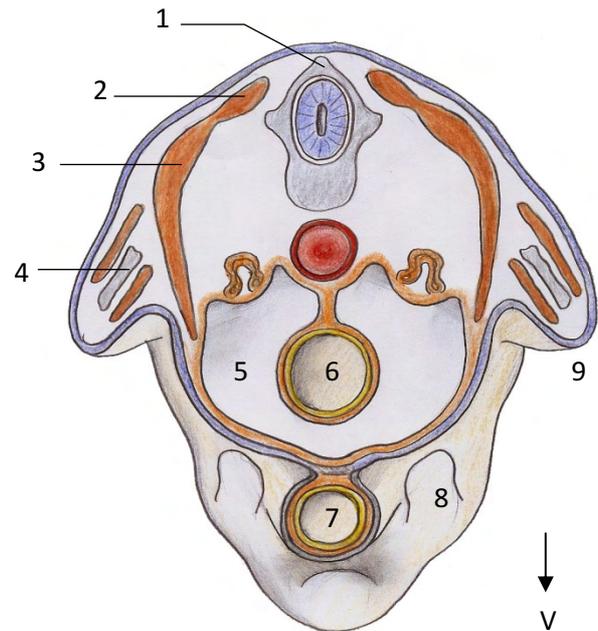
Le cartilage apparaît sous forme de condensation mésenchymateuse vers la 5<sup>e</sup> semaine, ce qui aboutit à une véritable **matrice cartilagineuse**. Selon le type de matrice on peut distinguer le **cartilage hyalin** que l'on retrouve à la surface des articulations ainsi que dans les maquettes osseuses, le **cartilage fibreux** au niveau des disques intervertébraux.

Le cartilage élastique que l'on retrouve dans le pharynx, l'oreille et la trachée n'a donc aucun rôle dans l'organogénèse de l'appareil locomoteur.

### L'ossification enchondrale (fig. 6 à 8)

Nous prendrons comme type de description les os longs des membres.

Elle débute par une **matrice cartilagineuse** entourée de **périchondre** (futur périoste). Au centre de la matrice des os longs apparaît le **point d'ossification primaire** qui grandit vers les extrémités et que l'on



**Fig. 5 – Coupe transversale d'un embryon de 5 semaines**  
1. sclérotome (condensation des cellules) – 2. épimère – 3. hypomère – 4. ébauche osseuse – 5. cavité coelomique – 6. intestin – 7. cordon ombilical – 8. ébauche du membre pelvien – 9. ébauche du membre thoracique

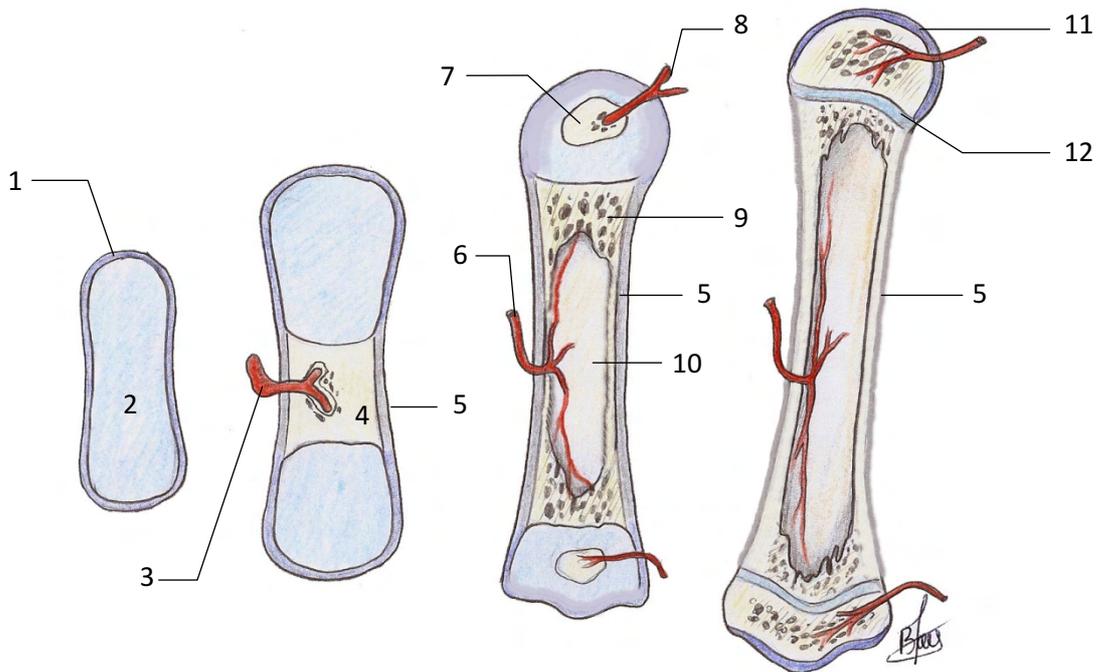
trouve dans la plupart des os long à la naissance au niveau de la diaphyse (alors que les épiphyses restent cartilagineuses).

La croissance du point d'ossification est de type **centrifuge** et va donner la diaphyse au sein de laquelle se produit rapidement un **phénomène de cavitation** qui entraîne l'apparition du **canal médullaire**.

A une date prédéterminée pour chaque os (permettant d'établir l'âge osseux) apparaissent aux 2 extrémités les **points d'ossification secondaires** ainsi que les **points d'ossification tertiaires** au niveau des tubérosités osseuses (ex. : les trochanters du fémur). L'ossification des points tertiaires et des points secondaires est centrifuge.

La croissance des points secondaires est de type centrifuge et donne les **épiphyses**. Le cartilage des extrémités épiphysaires donne le **cartilage articulaire**.

La plaque cartilagineuse située entre l'épiphyse et la diaphyse prend le nom de **cartilage épiphysaire** (ou de croissance, de conjugaison). Ce dernier est particulièrement bien visible sur une **radiographie d'enfant**. (ne pas confondre la plaque cartilagineuse du cartilage épiphysaire, responsable de la croissance en longueur, avec le cartilage du reste de l'épiphyse qui donne le point d'ossification secondaire).



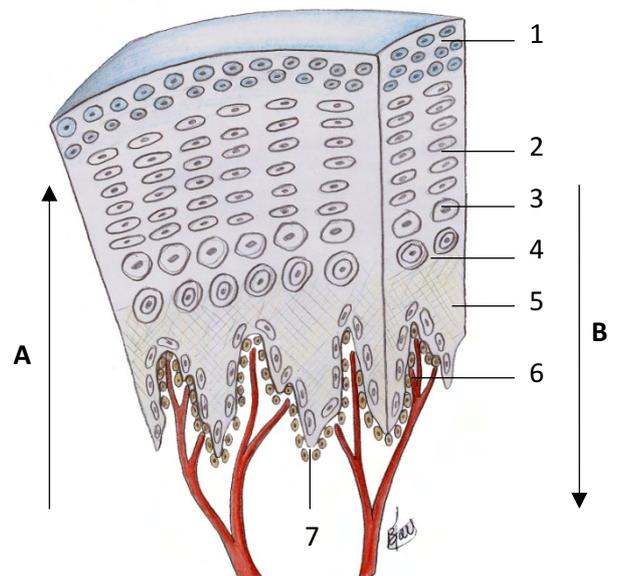
**Fig. 6 – L'ossification enchondrale**

1. *périchondre* – 2. *matrice cartilagineuse* – 3. *pénétration vasculaire* – 4. *calcification du cartilage (point d'ossification primaire)* – 5. *périoste* – 6. *artère diaphysaire* – 7. *point d'ossification secondaire* – 8. *artère épiphysaire* - 9. *trabécules osseuses* – 10. *canal médullaire* – 11. *cartilage articulaire* – 12. *cartilage épiphysaire*

Certaines conditions histologiques méritent d'être précisées ; qu'il s'agisse d'un point d'ossification primaire ou secondaire (voire même tertiaire), la succession des étapes est la suivante :

- **point de calcification** au sein des cellules cartilagineuses
- **pénétration vasculaire** du point d'ossification, dégénérescence des cellules cartilagineuses (intervention des ostéoclastes) et formation d'un os jeune (ostéoblastes). C'est **l'ossification primaire** (à ne pas confondre avec le point d'ossification primaire). Cet os est **mécaniquement imparfait** (trabéculatation grossière, texture fibrillaire et minéralisation irrégulière).
- Cette ossification primaire subit une résorption suivie d'une **ossification secondaire** (à ne pas confondre avec le point d'ossification secondaire). Un **os mécaniquement satisfaisant** est ainsi élaboré possédant une **structure composite lamellaire**.

Ceci met en exergue une grande loi de la formation osseuse : **un os mécaniquement valable nécessite la succession d'une ossification primaire et d'une ossification secondaire**. Il en est de même lors de la consolidation des fractures. A l'âge adulte il n'existe que de l'os secondaire. De même il existe des conditions histologiques précises concernant le « cartilage en croissance ». La division des cellules



**Fig. 7 – Schéma de l'ossification enchondrale**

A. *sens de la croissance* – B. *sens de la division cellulaire*  
 1. *cellules germinatives* – 2. *cellules sériées* – 3. *cellules hypertrophiques* – 4. *cellules dégénératives* – 5. *cartilage calcifié* – 6. *bourgeon vasculaire* – 7. *ostéoblastes*

cartilagineuses contribue à la formation de plusieurs couches et se fait dans le sens suivant (fig. 7) :

- couche de **cellules germinatives** ou de réserve
- couche **sériée ou proliférative** ou couche de cellules en colonnes, c'est la **couche de croissance**

- couche de **cellules hypertrophiques**  
 - couche de **cellules dégénératives** correspondant à la **nécrose chondrocytaire** : cette couche est pénétrée par des vaisseaux et la calcification de ces cellules nécrosées crée ainsi un « front de calcification » bordé par des **ostéoblastes**.

Interviennent ensuite les 2 processus d'ossification pour aboutir à un os mécaniquement stable.

L'organisation en plusieurs couches histologiques du « cartilage en croissance » est retrouvée d'une part au niveau des épiphyses et d'autre part au niveau du cartilage épiphysaire.

**Au niveau des épiphyses la couche germinative est périphérique et vascularisée par des vaisseaux épiphysaires centraux** (fig. 6).

Les cellules se divisent et progressent de la périphérie vers le centre (progression centripète), donc la croissance osseuse se fera du centre vers la périphérie (progression centrifuge).

**En regard de la cavité articulaire** la couche germinative sera responsable de la croissance du **cartilage articulaire** dont la **structure est totalement différente de celle du cartilage épiphysaire**.

Au niveau du **cartilage épiphysaire** la couche germinative est sur le versant épiphysaire en regard d'un **plexus artério-veineux épiphysaire** qui est responsable de sa nutrition. La couche de cellules dégénératives est sur le versant diaphysaire et se trouve pénétrée par les vaisseaux provenant du **plexus artério-veineux métaphysaire**.

La progression cellulaire se fait donc **de l'épiphysaire vers la diaphysaire**. En conséquence la croissance osseuse se fait **par éloignement des épiphyses du centre de la diaphysaire** (de façon centrifuge).

L'os ainsi formé subit lui aussi la succession de l'ossification primaire et secondaire. Il constitue la **métaphysaire** osseuse qui bénéficie d'un **remodelage harmonieux sous l'action du périoste**.

L'importante **vascularisation métaphysaire** (nombreux lacs veineux) est une caractéristique de **l'os en croissance**. Cette croissance s'arrête lorsque la couche de cellules germinatives s'épuise, les bourgeons vasculaires métaphysaires rentrent alors en contact avec la vascularisation épiphysaire créant ainsi la **soudure entre l'épiphysaire et la métaphysaire**. Cette soudure est très bien **visible radiologiquement** et permet d'annoncer la fin de la croissance d'un os long chez un enfant (fig. 8).

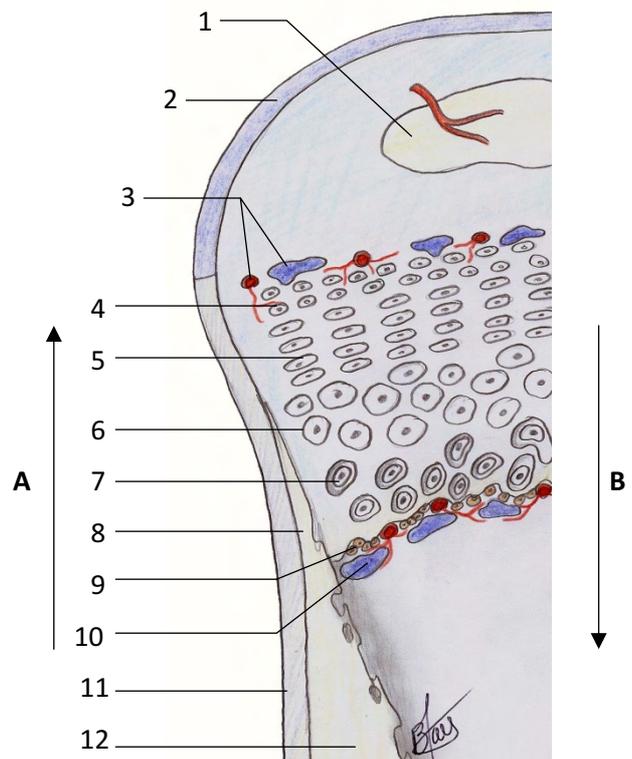
Du point de vue mécanique le cartilage épiphysaire crée une amorce de rupture par changement de structure des pièces squelettiques. Pour palier cette

imperfection il est manchonné par la **virole osseuse périchondrale** d'origine périostée et permettant la **transmission mécanique entre épiphysaire et diaphysaire**.

Plusieurs processus pathologiques concernant le cartilage épiphysaire doivent être signalés :

La lenteur de la circulation au niveau des lacs veineux métaphysaires favorise la **pullulation microbienne** d'origine hématogène et est responsable de **l'ostéomyélite aiguë** de l'enfant (staphylocoque doré et streptocoque). Cette atteinte est plus fréquente au niveau des cartilages épiphysaires de forte croissance (épiphysaires fertiles).

Une particularité anatomique doit être signalée au niveau de l'articulation de la hanche : le point d'ossification secondaire de l'épiphysaire supérieure du fémur est intra-articulaire, de ce fait les ostéomyélites aiguës de l'extrémité supérieure du fémur sont d'emblée des ostéoarthrites.



**Fig. 8 – Schéma de l'ossification enchondrale au niveau de la métaphysaire**

A. sens de la croissance – B. sens de la division cellulaire  
 1. point d'ossification épiphysaire – 2. cartilage articulaire  
 – 3. petits lacs veineux et artères épiphysaires – 4. cellules germinatives – 5. cellules sériées – 6. cellules hypertrophiques – 7. cellules dégénératives – 8. virole osseuse périchondrale – 9. ostéoblastes – 10. grands lacs veineux et artères métaphysaires – 11. périoste – 12. os cortical diaphysaire

## 14 Appareil locomoteur

Tout processus pathologique qui met en communication les circulations métaphysaire et épiphysaire comme peut le faire une fracture est responsable de la création d'une **soudure épiphysio-métaphysaire** complète ou partielle.

Si cette **soudure est totale** on parle d'**épiphysiodèse totale** avec arrêt de la croissance du cartilage épiphysaire responsable d'une inégalité de longueur. Si cette **soudure est partielle** on parle d'**épiphysiodèse partielle** qui a comme conséquence la persistance d'une croissance asymétrique avec déviation osseuse dans un ou plusieurs plans donnant des déformations en varum, valgum, flessum ou recurvatum.

La croissance normale peut être relancée en enlevant chirurgicalement l'épiphysiodèse partielle. La correction de la déviation osseuse peut être effectuée par une ostéotomie.

Au niveau du cartilage épiphysaire existe une zone de plus grande fragilité : c'est la couche de cellules hypertrophiques, dans laquelle se produit la majorité des fractures du cartilage épiphysaire.

**En conclusion, le cartilage épiphysaire est essentiellement responsable de la croissance en longueur des os**, donnant une formation diaphysaire évasée : la métaphyse.

Le **périchondre** qui entre temps est devenu le périoste est responsable d'une part de la **croissance en épaisseur** et d'autre part du **remodelage osseux métaphysaire**.

- **Notion d'épiphyse fertile :**

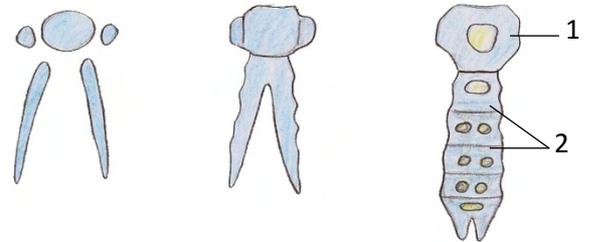
**Les os longs ont une croissance asymétrique.** Ils ont une extrémité qui grandit plus que l'autre. **On appelle épiphyse fertile celle qui possède le cartilage donnant le plus de croissance en longueur**, soit en moyenne 2/3 de la croissance. Ces épiphyses se caractérisent par une activité métabolique importante (importants lacs vasculaires). En contrepartie elles sont plus fréquemment le siège de processus pathologiques tumoraux et infectieux. **Elles sont situées près du genou et loin du coude.**

### 3 – Particularités

La croissance des os longs peut être considérée comme type de description mais il convient d'énoncer quelques particularités de l'ossification enchondrale :

Le développement du **sternum** (fig. 9) est de type enchondral et se fait d'après une maquette cartilagineuse dont les parties initiales **fusionnent en**

**regard de la ligne médiane.** Au cours de la croissance, au sein de cette maquette se trouvent les points d'ossification des **sternèbres** et du **processus xyphoïde**. Les sternèbres n'achèvent leur fusion qu'après la puberté mais le cartilage situé entre le manubrium et le corps du sternum persiste souvent toute la vie.



**Fig. 9 – Schémas de développement du sternum depuis les précartilages jusqu'aux points d'ossification**  
1. manubrium sternal – 2. corps sternal (sternèbres)

Le développement des côtes est également de type enchondral ainsi que celui des ceintures qui met en œuvre **plusieurs points d'ossification primaire**.

Les points d'ossification secondaires de la crête de l'ilium ne se soudent au reste du bassin que lorsque la maturation squelettique est terminée.

Le développement du **rachis** (fig. 10) est de loin le plus complexe. Durant la 4<sup>e</sup> semaine les cellules du **sclérotome** migrent vers la ligne médiane pour entourer la moelle spinale et la corde et former une **longue colonne mésenchymateuse**.

Le **développement du rachis** se fait en **3 étapes** :

- La partie crâniale de chaque sclérotome fusionne avec la partie caudale du sclérotome adjacent pour former le corps vertébral mésenchymateux (stade de précartilage). La partie du sclérotome qui est en regard du nerf spinal va donner le disque intervertébral mésenchymateux.

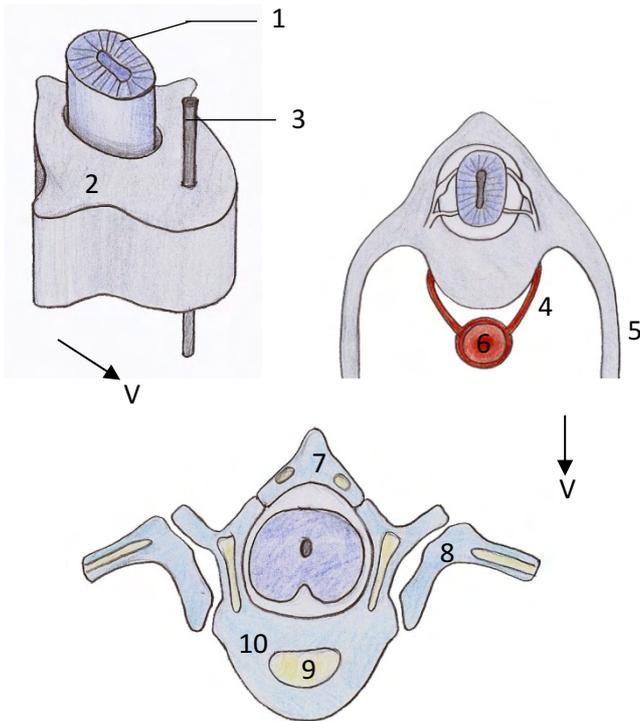
La **corde régresse** sauf au niveau du disque intervertébral où elle va donner le **noyau pulpeux**.

Le mésenchyme donne donc l'ensemble du rachis ainsi que les côtes.

- chondrification avec formation de la maquette cartilagineuse.

- ossification commençant durant la période embryonnaire pour se terminer vers l'âge de 25 ans.

Du point de vue pratique on considère que **la croissance du rachis est terminée lorsque le point d'ossification de la crête iliaque fusionne avec l'ilium.**



**Fig. 10 – Schéma de développement du rachis et des côtes**

1. tube neural – 2. concentration mésoenchymateuse – 3. chorde – 4. artère intersegmentaire – 5. ébauche costale – 6. aorte – 7. maquette cartilagineuse de l'arc neural – 8. maquette cartilagineuse de la côte – 9. point d'ossification du corps vertébral – 10. maquette cartilagineuse du corps vertébral

#### 4 – Facteurs influençant l'ossification enchondrale et la croissance

- **Rôle des hormones** (somato hormone, hormones sexuelles). L'enfant subit **2 poussées de croissance** : La 1<sup>re</sup> a lieu durant la 1<sup>re</sup> année, c'est la plus forte (50% de la taille de l'enfant à la naissance).

La 2<sup>e</sup> a lieu durant la puberté et s'achève 1 à 2 ans après celle-ci (ralentissement après 12,5 ans pour les filles et 15 ans pour les garçons).

Une imprégnation anormale d'hormones sexuelles pendant l'enfance entraîne une poussée de croissance mais la maturation cartilagineuse ne permet pas d'obtenir une taille normale.

- **Facteurs mécaniques** :

Ils sont résumés par la **loi de Delpech** : **la croissance osseuse est accrue dans les zones de faible pression et ralentie dans les zones de forte pression.**

L'hyperpression ralentit la croissance (obésité, fixateur externe).

L'hypopression favorise la croissance (enfant alité).

**Une répartition harmonieuse des pressions est nécessaire au modelage osseux.** Chez l'enfant poliomyélitique avec paralysie du moyen fessier

l'hypogénésie du noyau osseux du grand trochanter et la diminution des contraintes articulaires sont responsables d'une coxa-valga.

La même cause est responsable des scolioses neurogènes avec asymétrie du développement musculaire.

- **Rôle des traumatismes** :

Une fracture diaphysaire entraîne une poussée de croissance de l'os fracturé à cause d'un mécanisme mal connu et ce d'autant plus que le traumatisme diaphysaire a été important. Chez un enfant, une fracture particulièrement bien réduite peut entraîner un allongement du membre concerné.

- **Rôle de l'hérédité** :

Les parents de grande taille ont statistiquement des enfants de grande taille (au moins à la naissance).

#### 5 – Notion d'âge osseux et possibilité de prévision de la croissance

L'étude sur une population statistique de l'évolution de la croissance des os permet de définir un **âge osseux moyen**. Il existe un décalage de 2,5 ans entre l'âge osseux des garçons et celui des filles qui sont plus précoces. **Pour déterminer l'âge osseux on compare des radiographies à celles d'un atlas donnant des valeurs moyennes.**

La croissance d'un os long peut s'établir sur une courbe qui se situe entre 2 courbes extrêmes statistiquement connues. La connaissance de l'âge osseux permet donc d'établir une prévision de croissance.

La prévision de croissance fait partie d'un bilan d'inégalité de longueur. Le résultat est aléatoire car fonction du type de pathologie, des variations individuelles et des actions imprévues des gestes médicaux.

#### 6 – Anomalies congénitales

**de l'ossification enchondrale** (fig. 11, 12 et 13)

Ce sont des anomalies extrêmement rares.

-L'achondroplasie : agénésie du cartilage épiphysaire donnant le nanisme (transmission autosomique dominante). Elle est non harmonieuse car le rachis est pratiquement normal.

- Le syndrome de Marfan ou arachnodactylie avec atteinte des fibres élastiques mésoenchymateuses.

- Les fragilités osseuses congénitales (maladie de Lobstein (viable) et de Porak Durante (rapidement mortelle)).

- Les troubles endocriniens et en particulier

## 16 Appareil locomoteur

L'hyperpituitarisme qui donne le gigantisme chez l'enfant et l'acromégalie chez l'adulte ainsi que l'hypothyroïdie congénitale entraînant nanisme et crétinisme. L'hypopituitarisme donne un nanisme harmonieux.

- Les atteintes du squelette appendiculaire souvent associées à des atteintes viscérales et allant de la syndactylie à l'amélie.

- Les atteintes du squelette axial et des ceintures dont la plus fréquente est le spina bifida (absence de fusion des arcs postérieurs).

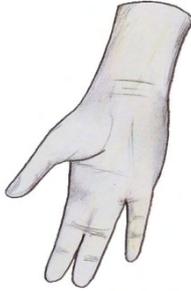


Fig. 11 – Exemple de syndactylie avec absence du 3<sup>e</sup> métacarpien et du médius



Fig. 12 – Exemple d'amélie unilatérale

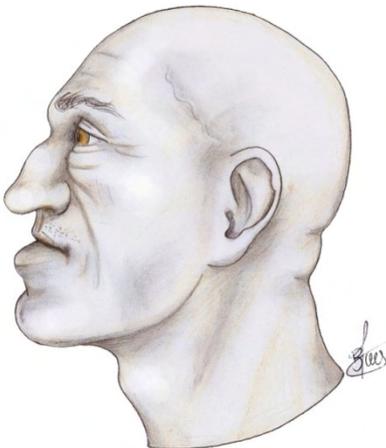


Fig. 13 – Exemple d'acromégalie avec déformation du visage

## III – ARTHROGENESE ET DEVELOPPEMENT DES ARTICULATIONS DU TRONC ET DES MEMBRES

Comparée à l'ostéogénèse, l'arthrogénèse est nettement plus simple.

### 1 – Arthrogénèse des articulations synoviales ou diarthroses (fig. 14)

Elle est **d'origine mésenchymateuse** comme l'ossification enchondrale.

Le mésenchyme situé entre les maquettes cartilagineuses des différents os forme **l'interzone** qui se creuse de petites cavités donnant par confluence la **cavité articulaire**. Le mésenchyme donne en périphérie les **ligaments** et la **capsule**.

La capsule se continue initialement par le périchondre des maquettes cartilagineuses. A l'intérieur de la capsule, le mésenchyme donne la **membrane synoviale** et les **fibro-cartilages intra-articulaires**.

Les surfaces articulaires cartilagineuses ne proviennent pas du mésenchyme de l'interzone mais font partie initialement de la maquette cartilagineuse des os formant l'articulation. Le cartilage se transforme en cartilage hyalin.

### 2 – Arthrogénèse des articulations cartilagineuses ou synarthroses (fig. 15)

Le mésenchyme de l'interzone forme le **fibro-cartilage interosseux**. La maquette cartilagineuse des os constituant l'articulation donne en regard de cette interzone le cartilage hyalin sur lequel s'insère le fibro-cartilage.

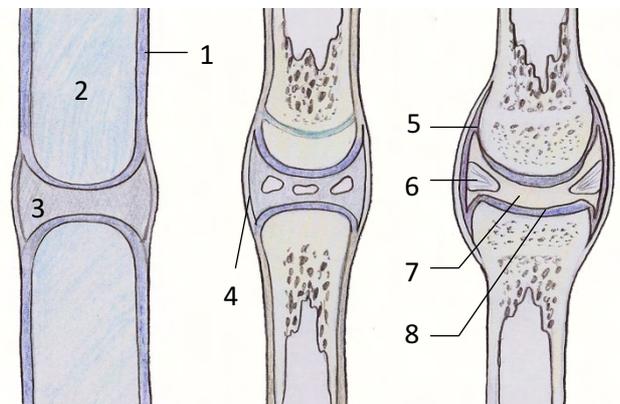


Fig. 14 – Schéma de l'arthrogénèse des articulations synoviales

1. périchondre – 2. matrice cartilagineuse – 3. interzone (mésenchyme) – 4. capsule articulaire – 5. membrane synoviale – 6. fibro-cartilage intra-articulaire – 7. cavité articulaire – 8. cartilage hyalin