

4° Fibres perforantes des os.

En 1856, un anatomiste anglais, Sharpey, a signalé l'existence, dans la substance fondamentale des os, de fibres spéciales, très variables de nombre et d'aspect, qui partent du périoste et qui s'étendent de leur superficie dans leur épaisseur, en traversant le système des lamelles périphériques, d'où le nom de *fibres perforantes* que leur a donné cet auteur; de là aussi le nom de fibres de Sharpey, sous lequel elles sont aujourd'hui généralement connues.

Ces fibres ne se voient pas seulement dans le système des lamelles périphériques; elles pénètrent très souvent aussi dans le système des lamelles intermédiaires, ce qui tend à démontrer, ainsi que le fait remarquer M. Ranvier, que ces lamelles ont été périphériques à leur apparition, c'est-à-dire sous-jacentes d'abord au périoste. On n'en rencontre jamais dans les systèmes des lamelles concentriques ou systèmes de Havers. C'est plus particulièrement sur les os plats et surtout sur ceux de la voûte du crâne qu'ils se montrent en assez grand nombre.

Les fibres perforantes conservent sur certains points leur caractère primitif; elles représentent, en d'autres termes, de simples faisceaux du tissu conjonctif, plus ou moins condensés. Mais le plus souvent, elles sont imprégnées d'une proportion variable de sels calcaires. En traitant le tissu osseux par l'acide chlorhydrique, on les met assez bien en évidence; mais elles restent toujours extrêmement pâles. Quelques-unes sont composées de fibres élastiques; d'autres contiennent les deux ordres de fibrilles qu'on observe dans le périoste.

5° Composition chimique des os.

Les os comprennent dans leur composition une substance organique et une substance minérale.

Lorsqu'on les soumet à l'action d'un acide, la matière minérale est dissoute. La substance organique restée seule conserve la forme de l'os, qui devient mou, flexible et assez semblable au cartilage. Cette substance est insoluble dans l'eau. Cependant, sous l'influence d'une ébullition prolongée, elle se transforme en gélatine sans qu'on puisse toutefois l'assimiler à celle-ci, dont elle diffère au contraire beaucoup. Afin d'exprimer cette différence, on a longtemps désigné l'élément organique des os sous les noms de *gélatine des os*, de *matière cartilagineuse des os*, de *matière collagène*. Pour faire cesser cet abus de langage, Ch. Robin et Verdeil ont proposé de l'appeler *osséine* ou *ostéine*, dénomination aujourd'hui généralement acceptée.

L'osséine et la gélatine présentent la même composition élémentaire. Comme les corps isomériques cependant, elles diffèrent par leurs pro-

priétés. Elles diffèrent très notablement surtout par leurs propriétés nutritives; Magendie a démontré que lorsqu'on donne à un chien pour unique nourriture des os bouillis, l'animal succombe rapidement, tandis qu'il continue à vivre en bon état de santé si on lui donne des os qui n'ont pas été soumis à l'ébullition.

Müller, en 1836, a constaté que lorsqu'on traite par l'ébullition dans l'eau, soit les cartilages permanents, soit les cartilages temporaires, on obtient une matière qui se prend aussi en gelée par le refroidissement; il donne à cette matière le nom de *chondrine*. Son origine semblait indiquer qu'elle était identique ou au moins très analogue à celle qu'on retire des os; mais l'observation atteste, au contraire, qu'elle en diffère. — La gelée obtenue avec l'osséine est plus consistante que celle dont la chondrine forme la base. Pour la production de la première, il suffit d'ajouter 1 partie d'osséine à 100 parties d'eau; pour la formation de la seconde, il faut ajouter au moins 5 parties de chondrine. — A l'état liquide, la chondrine est précipitée par le sulfate d'alumine, l'acide acétique, l'acétate de plomb et le sulfate de fer. L'osséine n'est précipitée par aucun de ces réactifs.

La substance minérale a été considérée d'abord comme un seul et même principe qu'on appelait matière terreuse des os. — En 1778, un chimiste suédois, Henri Gahn, démontra dans cette matière terreuse l'existence du phosphate de chaux. — En 1799, Charles Hatchett reconnut qu'elle contient un autre sel calcaire, le carbonate de chaux. — En 1803, Fourcroy et Vauquelin y découvrirent un troisième sel, le phosphate de magnésie, qui ne s'y trouve du reste qu'en très petite quantité. Plus tard, on acquit la certitude que les os renferment aussi d'une manière constante du fluorure [de calcium et des sels solubles. D'après les recherches de Berzelius, les divers éléments qui entrent dans la composition du tissu osseux seraient associés dans les proportions suivantes :

Substance organique.	{	1. Matière animale réductible par la coction.	32,17	}	33,30
		2. Matière animale insoluble.....	1,12		
Substance minérale..	{	1. Phosphate de chaux.....	51,04	}	66,70
		2. Carbonate de chaux.....	11,30		
		3. Fluorure de chaux.....	2,00		
		4. Phosphate de magnésie.....	1,16		
		5. Soude et chlorhydrate de soude.....	1,20		
			100,00		

Mais ces proportions ne seraient pas constantes, suivant la plupart des auteurs. Elles varieraient avec l'âge et selon les individus. Elles différeraient en outre pour les différentes pièces du squelette, pour le tissu compact et le tissu spongieux, et aussi selon les espèces animales, selon le régime et selon l'état de santé ou de maladie.



*Influence de l'âge.* — On admet généralement que l'osséine, déposée en quantité plus grande dans les os de l'enfant, devient moins abondante dans ceux de l'adulte, et diminue encore dans ceux du vieillard; que le principe organique, en un mot, prédomine dans le tissu osseux au début de la vie et l'élément inorganique à son déclin. Cette opinion était celle de Bichat : « En accumulant ainsi dans nos organes une substance étrangère à la vie, la nature, dit-il, semble vouloir les préparer insensiblement à la mort. » Elle a été combattue par Nélaton, qui la repousse dans les termes suivants : « J'ai pu me convaincre par une série d'expériences que les proportions de parties terreuse et organique sont les mêmes à tous les âges de la vie. Le tissu osseux n'est pas simplement un mélange de gélatine et de sels calcaires; il y a combinaison entre ces deux éléments, et cette combinaison s'opère constamment dans les mêmes proportions; en un mot, le tissu osseux est un composé défini. »

Chacune de ces deux opinions a trouvé des défenseurs. Pour élucider cette question si controversée nous avons fait, Nélaton et moi, une nouvelle série d'expériences; et afin de nous mettre à l'abri des variations individuelles, les os sur lesquels nous avons opéré ont été pris pour chaque âge sur le même sujet. Les résultats qui découlent de nos recherches sont énoncés dans le tableau suivant :

PROPORTION DES SUBSTANCES ORGANIQUE ET INORGANIQUE DES OS						
		Enfant mâle de 2 ans	Enfant mâle de 5 ans 1/2	Homme de 26 ans	Vieillard de 74 ans	Femme de 92 ans
Vertèbre lombaire	Subst. org..	38,81	38,13	37,69	39,15	40,34
	Subst. inorg.	61,19	61,87	62,31	60,85	59,66
Omoplate	Subst. org..	38,14	38,66	35,54	36,98	40,89
	Subst. inorg.	61,86	61,34	64,46	63,02	59,11
Clavicule	Subst. org..	38,22	38,00	34,85	35,77	36,97
	Subst. inorg.	61,78	62,00	65,15	64,23	63,03
Humérus	Subst. org..	37,19	36,70	32,88	34,07	35,47
	Subst. inorg.	62,81	63,30	67,12	65,93	64,53
Fémur...	Subst. org..	35,27	32,95	32,61	33,61	34,73
	Subst. inorg.	64,73	67,05	67,39	66,39	65,27
Moyennes.	Subst. org..	37,52	37,47	34,72	35,91	37,88
	Subst. inorg.	62,48	62,51	65,28	64,09	62,12

On remarquera sans doute que dans ce tableau les deux premiers âges diffèrent à peine, et l'on pensera peut-être que nous aurions pu sans inconvénient supprimer l'un des deux. Mais comme la composition

chimique des os dans l'enfance était notre point de départ et devait nous servir de principal terme de comparaison, nous avons cru devoir multiplier les faits pour arriver à une moyenne plus exacte. Il résulte de nos recherches sur ce premier point, que chez l'enfant le tissu osseux se compose de 36 à 38 parties de matière organique et de 62 à 63 parties de matière minérale. En comparant cette proportion à celle que nous ont donnée les âges suivants, on peut voir :

- 1° Que l'élément organique diminue et que l'élément minéral augmente à mesure que les os approchent du terme de leur complet développement;
- 2° Que ces deux éléments ne présentent plus alors ni diminution ni augmentation et restent longtemps unis dans la même proportion;
- 3° Que dans l'extrême vieillesse l'élément organique augmente, tandis que l'élément minérale diminue, d'où il suit qu'ils reviennent à la proportion qu'ils offraient au début de la vie.

Ces résultats diffèrent très notablement de ceux qui ont été mentionnés par d'autres observateurs. Mais il sera nous permis de faire remarquer que jusqu'à présent aucune des recherches qui ont été faites sur le même sujet ne repose sur une base aussi large et aussi comparative.

Le fait le plus inattendu de nos expériences est sans contredit celui qui concerne la proportion des deux éléments de la substance osseuse dans l'extrême vieillesse. Les altérations dont les os deviennent le siège à cet âge l'expliquent suffisamment. A quatre-vingt-dix ou quatre-vingt-douze ans, les os subissent une raréfaction considérable. Le tissu compact presque tout entier passe à l'état de tissu spongieux. De toutes parts il est envahi par les cellules adipeuses. Sur 100 parties, nous avons trouvé 9 parties de graisse pour le tissu compact de la clavicule, 11 pour la diaphyse de l'humérus, 12 pour celle du fémur, 15 pour le corps de la vertèbre lombaire et 27 pour l'omoplate. Lorsque cette graisse a été extraite par l'action de l'éther sulfurique bouillant, prolongée pendant plusieurs jours, il reste encore les vaisseaux qu'elle recevait, et dont le poids vient s'ajouter à celui de la substance organique. Si cette substance semble diminuer de quantité pendant la période d'accroissement des os, c'est parce que la trame vasculaire de ceux-ci se réduit alors de plus en plus; si elle semble augmenter dans l'extrême vieillesse, c'est parce que, le tissu osseux se raréfiant, cette trame reprend une importance relative plus grande. Les variations qu'on observe dans la proportion des éléments organique et inorganique de la substance osseuse sont inhérentes, en un mot, aux parties molles mêlées à cette substance. Telle est la conclusion qui découle de nos recherches. Voyons maintenant les résultats obtenus par d'autres observateurs.

Parmi ceux-ci, nous citerons plus particulièrement M. Alphonse Milne Edwards, qui a contribué à élucider ce point si controversé de la science, soit par ses propres recherches, soit par la saine critique à laquelle il a



soumis les travaux de ses prédécesseurs (1). Cet auteur a choisi pour ses expériences des mammifères nouveau-nés de la même portée; il résume ainsi ses observations :

	FÉMUR		TIBIA		HUMÉRUS	
	Mat. organ.	Mat. inorg.	Mat. organ.	Mat. inorg.	Mat. organ.	Mat. inorg.
Chat nouveau-né...	40,58	59,42	40,40	59,60	42,00	58,00
Chat de trois semaines	37,00	63,00	37,00	63,00	37,20	62,80
Chat de deux mois...	36,20	63,80	35,70	64,30	37,30	62,70
Chat de trois mois...	37,90	63,10	36,10	63,90	37,00	63,00
Chien nouveau-né...	44,00	56,00	44,70	55,30	45,80	54,20
Chien d'un mois....	39,80	60,20	40,20	59,80	40,90	59,10
Chien de trois mois.	36,99	63,01	38,30	61,70	30,70	60,30

Dans le court intervalle qui s'est écoulé de la naissance à la fin du troisième mois, la substance organique a diminué, chez le chat, de trois centièmes et demi pour le fémur, de quatre pour l'humérus et de cinq pour le tibia. Chez le chien, dans le même laps de temps, elle a diminué de sept centièmes pour le fémur, de six pour l'humérus, de cinq pour le tibia. Ces différences correspondent à celles que nous avons trouvées; elles sont seulement un peu plus grandes. Bibra, en analysant les os de jeunes chiens de la même portée, a observé une différence plus accusée encore :

	Chiens nouveau-nés.	Chiens de six semaines.
Substance organique.....	46,01	37,97
Substance inorganique.....	53,99	62,03

Considérons donc comme un fait bien acquis à la science que l'élément organique des os diminue pendant leur accroissement et admettons que cette diminution est équivalente en moyenne à cinq centièmes. De là peut-on conclure que la composition chimique du tissu osseux varie avec l'âge? Non, puisque dans les os soumis à la calcination ou à l'analyse il n'y a pas que du tissu osseux; il y a aussi les vaisseaux. Il y a en outre les cellules que contiennent les ostéoplastes: vaisseaux et cellules qu'on ne peut faire disparaître et dont le poids vient toujours s'ajouter à celui de la substance organique proprement dite. Or la vascularité des os est en raison inverse du développement; les cellules elles-mêmes ne paraissent plus avoir leurs dimensions primitives chez l'adulte. Il est donc très vraisemblable que dans les expériences précédentes la diminution de la substance organique reconnaît pour unique cause une simple réduction

(1) Alphonse Milne Edwards, *Études chim. et phys. sur les os* (thèse, 1860, p. 53 et 80).

dans le nombre et le calibre des capillaires sanguins et dans le volume des cellules étoilées. Pour qu'il en soit ainsi, il suffit que cette réduction abaisse de quelques centièmes seulement le poids total de la substance osseuse soumise à la calcination.

Les différences qu'on observe dans la composition du tissu osseux, lorsqu'on passe d'un individu à un autre, sont quelquefois assez considérables. Mais il serait impossible d'en donner une formule générale. Elles trouvent aussi une explication toute naturelle dans les variations individuelles que présentent les parties molles inhérentes à ce tissu.

Nous possédons des documents plus précis sur les différences qu'on remarque sous ce rapport entre les diverses pièces du squelette, chez le même individu. Le tableau suivant, emprunté à Bibra, fera connaître ces variations. Les os analysés étaient ceux d'une femme de vingt-cinq ans.

	Substance inorganique.	Substance organique.		Substance inorganique.	Substance organique.
Humérus.....	69,25	30,75	Clavicule.....	67,51	32,49
Cubitus.....	68,87	31,13	Omoplate.....	65,38	34,62
Radius.....	68,68	31,32	Côtes.....	64,57	35,43
Fémur.....	68,61	31,39	Os iliaque.....	59,97	40,03
Tibia.....	68,42	31,58	Vertèbres.....	54,26	45,75
Péroné.....	68,54	31,46	Sternum.....	51,43	48,57

Les os du tronc sont donc plus riches en matière organique, et les os longs des membres plus riches en matière minérale. Toutes ces différences se prêtent à la même interprétation que celles relatives à l'âge et aux individus: les os du tronc offrent plus de matière organique, parce qu'ils contiennent plus de vaisseaux; les os longs des membres en présentent moins, parce qu'ils sont moins vasculaires.

Les différences relatives au rang qu'occupent les divers animaux sur l'échelle zoologique n'ont rien de fixe. Les os des oiseaux renferment en général plus de matière minérale que ceux des autres vertébrés. Parmi les mammifères, les herbivores présentent aussi des os plus riches en matière terreuse que ceux qui se nourrissent de chair.

En résumé, pour expliquer les différences que nous offre la composition chimique de la substance osseuse, aux divers âges, chez les divers individus, dans les diverses pièces du squelette, etc., deux opinions se présentent. Dans l'une, on admet que le tissu osseux varie dans sa composition, qu'une partie de l'osséine disparaît et qu'elle est remplacée par des sels calcaires. Dans l'autre, ce tissu reste invariable dans ses proportions; seules les parties molles qui s'y trouvent incorporées subissent des variations. Entre ces deux opinions, la dernière nous paraît la mieux fondée; nous restons convaincu que le tissu osseux est un composé défini.

L'élasticité des os est en rapport non avec leur composition chimique, mais avec la quantité d'eau que renferme le tissu osseux. Or Stark a dé-



montré que cette quantité varie avec l'âge. Il y a plus d'eau dans les os de l'enfant que dans ceux de l'adulte, et plus dans les os de l'adulte que dans ceux du vieillard.

#### B. — Périoste.

Le périoste est une membrane fibro-élastique qui recouvre les os, et qui fournit à chacun d'eux les éléments nécessaires pour leur développement et leur nutrition.

Cette membrane sépare les os des parties voisines; mais elle a aussi pour destination de les unir à celles-ci sur certains points. Parmi ces dernières, il faut placer au premier rang les ligaments, les tendons et les aponévroses, en un mot presque tout le système fibreux, dont le périoste semble constituer le centre commun.

Le périoste, en s'appliquant à la périphérie des os, ne les entoure pas cependant d'une manière complète. Au niveau des surfaces articulaires, il est suppléé avec avantage par les lames cartilagineuses. Sur les points qui donnent attache aux tendons et aux ligaments, il fait aussi défaut; on le voit sur tous ces points se continuer avec les parties qui précèdent.

La couleur du périoste est d'un blanc mat chez l'enfant et les individus à constitution sèche, d'un blanc jaunâtre chez ceux qui sont pourvus d'un certain embonpoint ou d'un âge déjà avancé.

Son épaisseur est très inégale. Elle se montre en général proportionnelle aux dimensions de l'os. La différence est surtout saisissante lorsqu'on met en parallèle les fémurs ou les os de la jambe avec les métatarsiens et les phalanges, ou ceux du bras et de l'avant-bras avec les métacarpiens. Ce fait général comporte cependant des exceptions. Sur les os du crâne, qui sont larges, le périoste reste très mince. On remarque aussi que sur les points où il se trouve en rapport avec des muscles il s'amincit; que sur ceux où il correspond à des tendons il s'épaissit. Celui qui embrasse la diaphyse des os longs contraste à cet égard avec celui qui revêt leurs extrémités: sur les diaphyses, sa plus grande épaisseur ne dépasse pas 1 millimètre; sur les extrémités des os longs, elle varie de 1 à 3 millimètres. — C'est sur les parois des cavités dont sont creusés les os de la face qu'il se réduit à sa plus extrême minceur.

Par sa *surface externe*, l'enveloppe fibro-élastique des os répond, dans la plus grande partie de son étendue, au corps des muscles qui lui adhèrent par un tissu conjonctif lâche, et aux tendons de ceux-ci. Sur le passage de ces tendons, le périoste est souvent tapissé par une membrane synoviale, ou par une simple bourse séreuse qui favorise leur glissement. — Sur les os superficiels, comme le tibia, la clavicule, l'os de la pommette, etc., il est en rapport avec la peau qui ne lui adhère que par un

tissu conjonctif peu dense. — Sur certains os profonds, comme ceux qui contribuent à former les fosses nasales, il s'unit au contraire à la muqueuse correspondante de la manière la plus intime et constitue avec celle-ci une seule même lame appelée *membrane fibro-muqueuse*.

Par sa *surface interne* le périoste adhère aux os. Cette adhérence est d'autant plus grande que l'os appartient à un individu plus âgé, d'autant plus grande aussi que la surface osseuse est plus inégale. C'est pourquoi on ne le détache qu'avec difficulté de la base du crâne, de la surface des os courts et des extrémités des os longs. On l'enlève plus facilement sur la diaphyse de ceux-ci et sur les os plats. Celui qui tapisse les fosses nasales et les parois de l'orbite est moins adhérent encore; celui qui répond aux divers sinus de la face et aux cellules de l'ethmoïde se laisse détacher par simple décollement. Toutes ces variétés sont devenues intéressantes à connaître depuis que la physiologie expérimentale et les faits cliniques ont démontré la possibilité de reproduire la plupart des os en conservant leur enveloppe nourricière. — L'adhérence du périoste est due en partie aux vaisseaux qui passent de celui-ci dans le tissu osseux, et en partie à l'implantation directe de ses fibres sur la surface des os.

*Structure du périoste.* — Le périoste, pour le plus grand nombre des os, est formé d'une seule couche. Pour quelques-uns, il est réductible sur certains points assez limités en deux ou plusieurs lamelles. C'est particulièrement sur les os longs qu'il se laisse ainsi dédoubler. On peut réaliser ce dédoublement sur le corps du fémur et sur l'humérus, sur la face sous-cutanée du tibia. Cette division n'offre du reste rien de régulier; elle doit être considérée comme artificielle.

Le périoste est essentiellement constitué par des fibres de tissu conjonctif et des fibres de tissu élastique. Il comprend en outre dans sa composition des vaisseaux, des nerfs et des cellules adipeuses.

Bien que les deux ordres de fibres soient entremêlés dans toute son épaisseur, elles sont cependant distribuées de telle sorte que les faisceaux de tissu conjonctif occupent, pour la plupart, sa superficie, tandis que les fibres élastiques forment surtout sa couche profonde. — Les faisceaux conjonctifs suivent en général une direction verticale sur le corps des os longs, mais n'affectent aucune direction déterminée sur les os plats et les os courts. Ils sont très évidents sur le tibia, le fémur, les côtes, etc. Leur couleur d'un blanc nacré rappelle celle des aponévroses. Les fibres élastiques s'entre-croisent, s'anastomosent et forment un très riche réseau. La couche adhérente offre donc une disposition réticulaire. Les fibres élastiques qui en forment l'élément principal sont du reste très déliées pour la plupart. L'enveloppe nourricière des os, considérée jusqu'à présent comme une membrane fibreuse, pourrait être rangée aussi et mériterait même d'être classée parmi les membranes élastiques.