

RTP 1164p

M. B. S. P. G. P.
Membre de l'Institut
Somme de l'auteur
JF

TRENTE-CINQUIÈME ANNÉE

N^{os} 1-2-3

JANVIER-MARS 1925

Revue anthropologique

FONDÉE PAR ABEL HOVELACQUE

PUBLIÉE PAR LES PROFESSEURS DES ÉCOLES D'ANTHROPOLOGIE
DE PARIS ET DE LIÈGE

ORGANE DE L'INSTITUT INTERNATIONAL D'ANTHROPOLOGIE
PARAISANT TOUS LES TROIS MOIS



SUR LA DISSOLUTION
DES OS ET DES DENTS
DANS LES SÉPULTURES PRÉHISTORIQUES

par M. L. FRANCHET

Membre de l'Institut International d'Anthropologie

LIBRAIRIE ÉMILE NOURRY

62, RUE DES ÉCOLES, PARIS-V^e

130052

SUR LA DISSOLUTION DES OS ET DES DENTS DANS LES SÉPULTURES PRÉHISTORIQUES

par M. L. FRANCHET

Membre de l'Institut international d'anthropologie

Dans un précédent mémoire (1), j'ai montré comment pouvait se former dans les os, enfouis depuis longtemps, le phosphate de fer auquel est dû, dans bien des cas, la coloration bleue ou verte attribuée, souvent à tort, au contact d'un objet en cuivre ou en bronze ; j'ai expliqué que cette coloration paraissait avoir pour cause initiale une attaque, par l'acide carbonique, du phosphate tricalcique qui constitue la matière osseuse.

Poursuivant mes recherches dans cet ordre d'idées, je suis amené aujourd'hui à montrer le rôle que jouent certains agents chimiques du sol, et principalement l'acide carbonique, dans les altérations profondes, souvent suivies d'une dissolution totale, que subissent parfois les os inhumés, qui ne sont pas garantis par une enveloppe protectrice absolument étanche. On a, en effet, signalé fréquemment des sépultures dans lesquelles, bien qu'inviolées, il ne restait plus que des débris osseux et, quelquefois même, aucune trace des corps inhumés.

Ces sépultures vides, ou ne contenant plus que le mobilier funéraire, ont donné lieu à diverses hypothèses prétendant expliquer la cause de cette absence de tout débris humain. En Bourgogne, notamment, Flouest les a rapprochées des cénotaphes que les Grecs et les Romains érigeaient en mémoire des guerriers tués, dont les corps avaient été abandonnés sans sépulture.

Faute d'une explication meilleure, j'ai, naguère, admis cette hypothèse, lorsque j'ai décrit les tumuli que j'ai fouillés dans la plaine de Tripiti, sur la côte nord de la Crète, et dans lesquels je n'ai jamais trouvé le moindre fragment d'os, mais seulement une grande quantité

1. L. FRANCHET, *Sur la coloration bleue ou verte des os*. Rev. Anthropol., 34^e année, 1921, p. 60.

2. — *Mission en Crète et en Egypte*. Nouv. archives des Missions scient., fasc. 15, 1916.

de tessons de poterie, du Bronze II, et quelques débris de vases en pierre.

Or, d'après les recherches que je viens d'effectuer, je ne puis, aujourd'hui, accepter cette hypothèse, pour la nécropole de Tripiti, sans faire les plus grandes réserves, car il me paraît difficile, sinon impossible, que les corps, qui ont pu y être inhumés, aient pu s'y conserver comme dans les larnax trouvés en Crète dans des terrains analogues au point de vue de la composition chimique.

En effet, le sol de Tripiti, pauvre en terre végétale, est constitué par des matériaux calcaires arénacés, au travers desquels les eaux météoriques circulent librement, non seulement en raison de la perméabilité du sol, mais aussi parce que l'immense plaine désertique accuse une forte pente du sud au nord. Les eaux, très abondantes dans la saison des pluies, ou au cours d'orages dans la saison sèche, se chargent, dans leur trajet, de bicarbonate de chaux, puis abandonnent, par suite d'une concentration rapide, du carbonate de chaux (dont une couche épaisse recouvrait les débris de poteries et autres objets), en mettant en liberté l'acide carbonique qui dissout les ossements.

Que des monuments funéraires aient été élevés aux morts, à certaines époques, cela n'est pas douteux, mais, avant d'en arriver à cette conclusion, les fouilleurs feront bien d'étudier désormais, et très attentivement, la nature du sol, ainsi que la construction de la sépulture et le mode d'inhumation.

Dans la dissolution du squelette, nous aurons à examiner, séparément, celle des os et celle des dents car, bien que leur composition chimique soit identique, les processus de dégradation sont différents.

I. — LES OS

La putréfaction des corps, en divers milieux, a été l'objet de recherches très étendues, particulièrement de la part d'Orfila, de Lesueur et de Devergie qui ont décrit, avec précision, ses causes, ses phases successives et les phénomènes qui l'accompagnent.

Mais, si la putréfaction qui détermine la disparition totale de toutes les parties organiques du corps, est aujourd'hui assez bien connue quant à ses causes et ses effets, il n'en est pas de même en ce qui concerne la dissolution de la matière osseuse du squelette et tous les auteurs se bornent à signaler que les os se conservent dans le sol pendant un temps parfois très long.

La dissolution des os et des dents n'intéresse pas, en effet, la méde-

cine légale au même degré que la décomposition des muscles et des viscères, de sorte que son étude a été négligée. Par contre elle possède une grande importance pour l'Anthropologie.

La décomposition des matières organiques a pour cause des fermentations, dues à l'envahissement du cadavre par les microorganismes, tandis que la dissolution de la matière osseuse est due à la présence, dans le sol, de certains agents chimiques (surtout l'acide carbonique et les carbonates alcalins) dont l'eau est non seulement le dissolvant mais aussi l'agent de transport.

Dans un sol sec, les os peuvent se conserver indéfiniment. Ainsi, dans le désert Lybique, où la sécheresse est absolue, je n'ai jamais observé sur les os, même dans le sable riche en calcaire, et bien qu'inhumés souvent depuis de nombreux siècles, les dégradations profondes que j'ai vues dans les os provenant de nos sépultures en sol humide.

La question de la destruction des os a été soulevée en 1904, à la Société d'Anthropologie de Paris, mais sans qu'aucune conclusion ait pu être formulée, la discussion ayant été fort confuse (1). M. Manouvrier a rappelé le rôle de l'humidité et l'influence du sol, mais ses hypothèses, sur l'action du calcaire et sur la dissolution de l'osséine (qu'il paraît assimiler à son isomère, la gélatine), ne me paraissent pas acceptables. D'autre part, le rôle indispensable de l'eau fut nié par Emile Rivière et le Dr Baudouin, qui alléguèrent, à l'appui de leur théorie erronée, d'abord que les os immergés dans les Palafittes, depuis l'époque néolithique, étaient encore intacts, en second lieu que la macération que l'on fait subir aux os, dans les préparations anatomiques, pour les débarrasser des chairs, n'avait aucune action sur la matière osseuse.

Rivière et Baudouin n'ont pas tenu compte de ce fait capital que, si les os ne sont pas attaqués dans les eaux stagnantes des Palafittes et dans celles des cuves à macération, il en est tout autrement dans le sol, en raison des lavages, sans cesse renouvelés, dus à l'écoulement des eaux météoriques et des eaux souterraines, les unes et les autres étant toujours plus ou moins chargées d'acide carbonique.

J'ai étudié, dans les musées suisses, un nombre considérable d'os de toute nature, provenant des Palafittes : je n'ai, effectivement, jamais constaté la moindre trace de dissolution, mais seulement des altéra-

1. *Bulletins et Mémoires de la Soc. d'Anthropologie de Paris*, V^e série, t. 5, fasc. 2, p. 101 et 111, 1904.

tions profondes n'ayant eu de répercussion, principalement, que sur la coloration. Je traiterai cette question dans un travail spécial, en même temps que les colorations dues aux oxydes métalliques.

* * *

Le phosphate tricalcique, $P^2 O^3 3 Ca O$, qui constitue la matière osseuse dans la proportion de 88 0/0, est presque insoluble dans l'eau, tandis qu'il est soluble dans l'eau contenant en dissolution de l'acide carbonique (1 vol. d'eau à 15° et sous la pression de 0,760 dissout 1 vol 002 d'acide carbonique) :

1 litre d'eau distillée dissout 0 milligr. 70 de phosphate de chaux.

1 litre d'eau saturée d'acide carbonique en dissout 87 milligr.

Dans le sol, cette action dissolvante de l'acide carbonique est très lente mais continue; elle varie, du reste, comme l'a démontré Schloësing, avec la tension et la température.

Ici nous avons à considérer : 1° la dissolution de l'acide carbonique et celle du calcaire ; 2° la dissolution du phosphate tricalcique.

1° L'acide carbonique contenu dans le sol se dissout dans l'eau dont il est imprégné, puis quand la solution est saturée, elle dissout le calcaire en formant du bicarbonate de chaux. Lorsque les eaux chargées de bicarbonate se concentrent, il se produit un dépôt de calcaire avec dégagement d'acide carbonique qui, de nouveau, sera dissous par l'eau.

2° L'acide carbonique en solution dissout le phosphate tricalcique et se combine à la chaux en donnant lieu à des réactions très complexes qu'il n'y a pas lieu d'analyser ici, ce qui nous ferait sortir de notre sujet.

Dans les sols calcaires, la dissolution des os paraît se produire particulièrement dans les terrains où le calcaire est à l'état pulvérulent et il serait nécessaire de rechercher si, dans les sépultures établies dans le *calcaire grossier* ou dans la *craie*, et en l'absence de *calcaire pulvérulent*, beaucoup plus perméable, cette dissolution, ou même une simple attaque du tissu osseux, se produit. Les observations relatives à la nature du sol devront être faites avec le plus grand soin.

Je rappelle à ce sujet que, dans le Massif Central, une des causes de stérilité des Grands Causses, qui, cependant, ont un sol calcaire sans argile, est due précisément à ce fait que, les eaux s'écoulant par les crevasses, n'attaquent pas le calcaire. Les corps seraient donc, peut-être, susceptibles de s'y conserver.

Je noterai, ici, un fait qui, observé en Champagne dans les sépultures de la Tène I, peut paraître singulier. En effet, les fosses creusées dans la craie, sépultures simples ou sépultures à char, n'ont pas été comblées, lors de l'inhumation, avec les déblais crayeux plus ou moins pulvérulents mais avec une terre noire, apportée d'ailleurs. On a pensé qu'il y avait peut-être, là, un rite en relation avec la survie; dans ce cas il faudrait supposer qu'à cette époque la croyance en une vie future existât déjà, croyance possible et même probable.

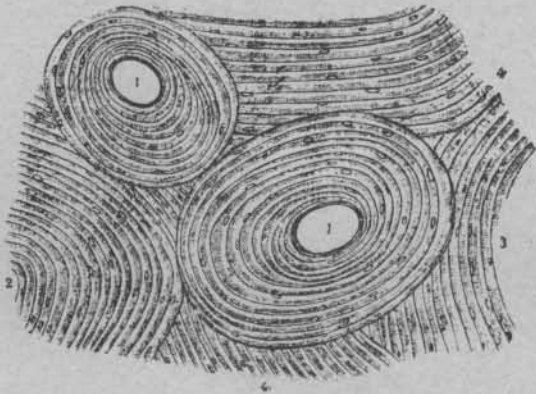


FIG. 1. — Diaphyse d'os long. Coupe transversale montrant les systèmes lamellaires entre lesquels s'infiltrèrent les liquides dissolvants contenus dans le sol.

1. Systèmes de Havers. — 2 et 3. Segments de systèmes de Havers.
4. Systèmes partiels (200 diam.).

Mais une nouvelle hypothèse peut aussi être émise : l'inhumation avait pour but d'assurer la conservation du corps, de sorte que, si on avait rempli la fosse avec les déblais qui en avaient été extraits, et qui constituaient, en somme, des matériaux de drainage, les os auraient été dissous beaucoup plus rapidement que si le remplissage était fait avec une terre compacte, et peut-être argileuse, ce qui n'a jamais été vérifié, d'où l'apport d'une terre prise ailleurs.

Ce qui importe dans les inhumations, pour la conservation des squelettes, c'est d'entraver le plus possible l'accès de l'eau dans la fosse. Le seul fait que, dans une sépulture, les os aient été corrodés par l'acide carbonique, indique la présence de l'eau à une époque quelconque.

Or, il est à remarquer que les grottes sépulcrales naturelles ou artificielles et les tombes ont été généralement établies (et je crois

même, toujours) dans des lieux secs ou *considérés comme tels*, à l'époque où l'inhumation a eu lieu.

L'eau peut pénétrer par deux voies, d'abord par la surface du sol, d'où les eaux météoriques s'écoulent dans les couches profondes, puis par les eaux souterraines qui, par capillarité, pénètrent de bas en haut, (eaux de remontée).

Dans les deux cas, les eaux, circulant en terrain calcaire, se sont chargées de bicarbonate de chaux, mais s'il y a diminution d'acide carbonique ou diminution d'eau, tout ou partie du bicarbonate se décompose en carbonate qui se dépose, dans le premier cas (eaux d'infiltration) sous forme de stalactites et de stalagmites, dans le second cas (eaux de remontées) sous forme d'efflorescences blanches qui tapissent le sol et les parois des grottes; la grotte sépulcrale de Thiverny en a fourni un bel exemple. Mais ces phénomènes sont assez connus pour qu'il soit inutile d'y insister, et je ne les ai rappelés que dans le but d'attirer l'attention des fouilleurs sur l'état d'hydratation du sol et des matériaux de remplissage des sépultures, et les divers aspects sous lesquels peuvent se présenter les dépôts calcaires dans le cas particulier qui nous occupe.

Très souvent aussi, les os se sont recouverts, dans les mêmes conditions, d'une véritable gaine de calcaire cristallin, plus ou moins épaisse.

Quant à l'acide carbonique, non seulement il est amené par les eaux météoriques qui l'empruntent à l'atmosphère, mais il est produit aussi par les bactéries dans la décomposition des matières organiques contenues dans le sol, celui-ci étant, du reste, toujours beaucoup plus riche en gaz carbonique, que l'atmosphère.

. . .

Dans l'étude des dégradations subies par les os sous l'action des agents chimiques du sol, il y a lieu d'examiner, pour en rechercher le processus, la nature du tissu osseux, la structure de l'os et de sa composition.

TISSU OSSEUX

La nature du tissu osseux paraît jouer un rôle important dans le processus de la dissolution du squelette, puisque le tissu compact semble être plus complètement attaqué, et plus rapidement que le tissu spongieux. Toutefois, de nombreuses observations sont encore nécessaires pour être bien fixé sur ce point, mais celles qui ont déjà été

aites tendraient à démontrer que, dans un os long, la diaphyse disparaît avant les épiphyses.

Or, la diaphyse est formée de tissu compact, et les épiphyses de tissu spongieux; ces dernières possèdent donc la même structure, au point de vue de la nature du tissu, que les os courts et les os plats,

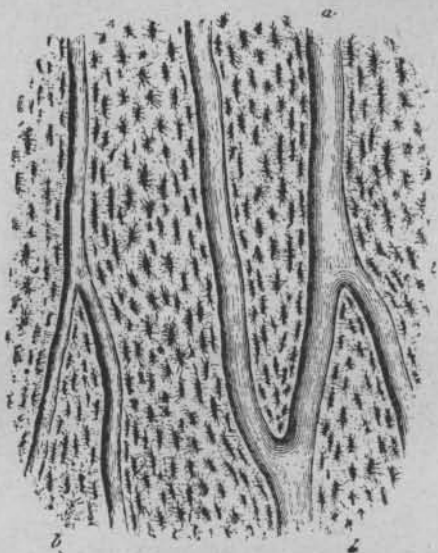


FIG. 2. — Diaphyse d'os long. Coupe longitudinale montrant des canaux de Havers et leurs anastomoses (a), et les ostéoplastes (b) séparant les canaux (200 diam.).

qui, également, semblent s'attaquer plus lentement que les diaphyses des os longs.

STRUCTURE DES OS

Si la matière osseuse se présentait sous une forme massive, elle offrirait certainement une grande résistance à l'attaque, toujours lente, de l'acide carbonique, attaque qui se propagerait régulièrement de la périphérie au centre; mais il n'en est pas ainsi, et c'est à la structure particulière de l'os qu'est due la pénétration totale, dans la masse osseuse, de l'acide carbonique dans lequel se dissoudra, en un temps plus ou moins long, le phosphate tricalcique.

On sait que la matière osseuse forme des séries de lamelles concen-

triques, constituant des systèmes distincts dont la structure est très irrégulière. Extérieurement, un premier *système périphérique*, situé directement sous le périoste, enveloppe, dans le tissu compact des os longs, les *systèmes de Havers* et les *systèmes partiels*, (fig. 1) limités, au centre de l'os, par le *système périmédullaire* au centre duquel se trouve la moëlle.

Dans les os longs ces systèmes lamellaires sont disposés dans le sens longitudinal; dans les os plats, il se dirigent du centre vers la circonférence; dans les os courts, ils ne possèdent aucune direction déterminée. Les lamelles, qui sont granuleuses, ont une épaisseur, à peu près invariable, de 0 mm. 008.

Nous trouvons donc, déjà, dans cette structure stratifiée des lamelles, une disposition particulièrement favorable à la pénétration des liquides dissolvants du sol. Mais le travail de saturation de la masse osseuse est, en outre, grandement facilité par le nombre considérable d'orifices qui s'ouvrent à la surface des certains os et des cavités qui existent dans l'intérieur.

1° Les *orifices* correspondant aux conduits nourriciers, généralement uniques, s'observent sur les diaphyses des os longs et à la surface de certains os plats.

2° Les *orifices*, très nombreux, donnant surtout passage aux veines, se trouvent situés sur les épiphyses des os longs, à la circonférence des os plats et à la partie non articulaire des os courts.

3° Les *orifices* correspondant aux canaux de Havers; les plus superficiels s'observent sur tous les points de contact du périoste avec l'os, mais principalement sur les diaphyses et à la surface des os plats. Leur nombre, sur certains points, dépasse 70 par centimètre carré.

4° Les *orifices* correspondant aux canalicules qui s'ouvrent dans les cavités des ostéoplastes. Leur nombre est évalué à plusieurs centaines par millimètre carré.

Pénétrant par les orifices, les liquides dissolvants se répandent dans les *canalicules* et les *cavités* de la matière osseuse :

1° Les *canaux de Havers* que l'on observe dans le tissu compact, mais qui font presque complètement défaut dans le tissu spongieux. Leur diamètre varie de 0 mm. 30 à 0 mm. 40.

2° Les *ostéoplastes*, cavités microscopiques dont la longueur moyenne est de 0 mm. 03. Harting en a signalé 900 par millimètre carré (fig. 2 et 3).

3° Les *canalicules* qui, partant des ostéoplastes, s'irradient dans toutes les directions.

4° Les *fibres de Sharpey*, fibres perforantes qui émanent du périoste, passent à travers le système périphérique, et parfois les systèmes

intermédiaires, mais non les systèmes de Havers. Elles sont constituées par du tissu conjonctif, mais souvent aussi, elles sont imprégnées de sels calcaires, ce qui, dans ce cas, les rend moins intéressantes ici au point de vue de la pénétration des liquides dissolvants.

On comprend donc que cette pénétration des dissolvants peut envahir entièrement les tissus osseux, d'autant mieux qu'un grand nombre d'orifices et de cavités s'anastomosent. Cet envahissement, qui ne peut commencer qu'après que les conduits aient été libérés de leurs matières organiques par la putréfaction, se fait lentement en raison de l'étroitesse de certains des orifices d'arrivée, comme, par exemple, les canalicules, aboutissant aux ostéoplastes.

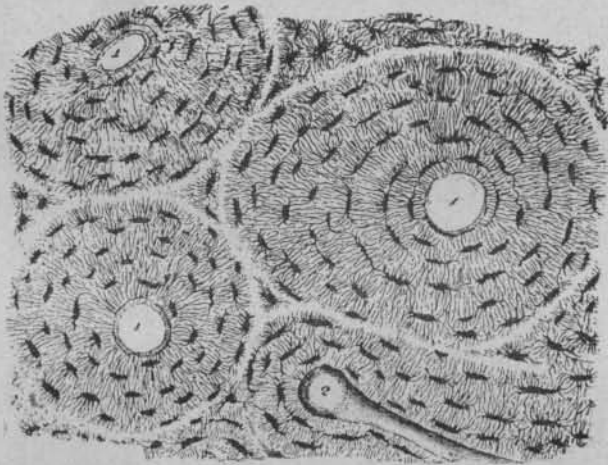


FIG. 3. — Diaphyse d'os long. Coupe transversale montrant les canaux de Havers et les ostéoplastes.

1. Coupe transversale d'un canal. — 2. Coupe longitudinale (200 diam.).

Mais si, dans le tissu compact, la lenteur de la pénétration assure leur plein effet aux agents dissolvants, il en est autrement dans le tissu spongieux qui, ne retenant pas les liquides, ceux-ci ne font que le traverser rapidement et s'écoulent avant que la corrosion ait pu se produire. Ne serait-ce pas la raison pour laquelle les os à tissus spongieux sont dissous après les diaphyses des os longs ?

COMPOSITION DE L'OS

Les nombreuses analyses qui ont été faites de la matière osseuse ont toujours confirmé la composition identique que possèdent le tissu compact et le tissu spongieux. Les sels minéraux et la matière organique, l'*osséine*, restant constamment dans la proportion moyenne de 2 à 1, tout au moins chez l'adulte, car chez le vieillard la matière organique tend à augmenter.

Sels minéraux. — Carnot, dans un important travail (1) sur la composition des os a indiqué le résultat de ses analyses faites sur un fémur humain moderne.

La partie minérale a donné :

	Diaphyse	Epiphyse
Phosphate tricalcique.....	87.45	87.87
Phosphate de magnésie.....	1.57	1.75
Carbonate de chaux.....	10.18	9.23
Fluorure de calcium.....	0.35	0.37
Chlorure de calcium.....	0.23	0.30
Peroxyde de fer.....	0.10	0.13
	<hr/> 100.88	<hr/> 99.65

Frémy et, plus tard, Carnot, ont constaté que dans les différentes parties d'un même os et dans tous les os d'un même individu, aussi bien chez l'Homme que chez les animaux, les proportions du phosphate de chaux et du carbonate de chaux étaient toujours dans un rapport constant (exceptions faites pour les dents, les défenses d'éléphant et la carapace des tortues). Chez les animaux herbivores, particulièrement les animaux aquatiques, la teneur en carbonate de chaux est un peu plus élevée.

Il y a également un rapport constant dans la proportion du fluorure de calcium qui reste dans les limites de 0,30 à 0,50 0/0 dans les diaphyses et les épiphyses, ainsi que dans les os plats et les os courts chez l'Homme et les animaux.

Carnot a établi définitivement que le fluor augmente progressivement dans les os, avec le temps, lorsqu'ils séjournent dans le sol. Il a démontré par des analyses très précises (en collaboration avec Goutal) que cette augmentation progressive du fluor était si régulière qu'elle pouvait servir à fixer l'âge géologique d'un os et, par conséquent,

1. CARNOT. — Recherches sur la composition générale et la teneur en fluor des os modernes et des os fossiles des différents âges (*Ann. des mines*, 1893).

apporter la preuve que deux os, trouvés dans une même couche, étaient ou non contemporains.

On voit toute l'importance que possède cette constatation pour les préhistoriens qui, en général, paraissent l'ignorer, si l'on en juge par les discussions qui ont lieu parfois lorsqu'il s'agit d'établir si, par exemple, des os humains, trouvés avec des os d'animaux d'époque bien définie, sont contemporains de ces derniers. Actuellement on s'en rapporte trop aux indications de plus en plus aléatoires, de plus en plus incertaines, fournies par le matériel lithique.

Matière organique. — L'osséine possède la même composition que la gélatine, mais n'est pas, comme celle-ci, soluble dans l'eau. Elle ne devient soluble qu'après avoir été soumise à l'action de l'eau bouillante. Je reviendrai sur cette question, plus loin, lorsque je parlerai de la transformation que subit l'osséine dans le sol.

Voici, d'après Frémy (1), la composition de l'osséine et celle de la gélatine pure :

	Osséine	Gélatine
Carbone.....	50.40	50
Hydrogène.....	6.50	6.50
Azote.....	16.90	17.50
Oxygène.....	26.20	26

En outre, Bibra a signalé la présence d'environ 0,20 0/0 de soufre dans l'osséine.

DISSOLUTION DES OS DANS LES SÉPULTURES

Lors des fouilles exécutées en 1923 par L. Giroux dans la grotte sépulcrale énéolithique (ou peut-être Bronze I) de Thiverny (Oise) j'ai eu l'occasion, invité par lui, d'étudier *in situ* cette intéressante question des altérations que subissent les os dans un sol calcaire. En outre MM. A. et L. Catelan ont eu l'obligeance de me remettre ceux qu'ils ont trouvés dans leurs fouilles, si soigneusement faites, de la grotte sépulcrale (Bronze I) du Perpetairi, à Mollans (Drôme); mais leurs trouvailles sont si importantes qu'elles nécessiteront un travail spécial que je publierai dès que l'étude en sera terminée.

Dissolution de la matière minérale en sol calcaire. — Dans les sépultures, la dissolution du squelette s'observe sous

1. *Annales de Physique et de Chimie*, t. XLIII.

trois formes : 1° attaque partielle des os ; 2° attaque complète des os qui tombent en poussière au moindre contact ; 3° dissolution totale du squelette sans qu'il en reste aucune trace.

Ces différences dans l'étendue ou l'intensité de l'attaque des os par l'acide carbonique en solution dans l'eau s'expliquent par la structure de l'os et par la répartition des eaux qui pénètrent dans la sépulture.

Au point de vue de la structure de l'os, nous avons vu plus haut comment celui-ci pouvait être envahi par les liquides dissolvants jusque dans ses parties les plus profondes, grâce à l'existence des milliers d'orifices qui, après avoir concouru à sa vie, servent maintenant à assurer sa destruction, sa mort définitive.

Quant aux eaux, qu'elles arrivent dans la sépulture de la surface du sol, par infiltration, ou du sous-sol, par capillarité, leur répartition sera subordonnée à la perméabilité du terrain ou aux dérivations auxquelles elles pourront être soumises par des obstacles tels que : blocs, poches d'argiles, tassement du sous-sol, etc... Dans ces conditions elles se trouveront localisées sur certains points seulement de la sépulture, sur lesquels des os seront attaqués, alors que d'autres situés à proximité resteront indemnes.

En outre, les eaux, pour des causes analogues, se trouveront plus ou moins saturées d'acide carbonique ou de sels calcaires. Il est donc facile de concevoir que dans une même sépulture, l'attaque ne pourra s'étendre uniformément à tous les os.

Schlœsing a démontré, en effet, par des expériences très précises, que les propriétés dissolvantes des eaux saturées d'acide carbonique, vis-à-vis du phosphate de chaux, étaient modifiées par la présence, dans la solution, de carbonate de chaux. Dans ce cas, le pouvoir dissolvant est extrêmement faible.

Un litre d'eau saturée d'acide carbonique dissout 87 milligrammes de phosphate tricalcique, tandis qu'un litre d'eau distillée n'en dissout que 0 millig. 70, c'est-à-dire environ 123 fois moins.

Examinons maintenant les phénomènes de dissolution observés dans la grotte sépulcrale de Thiverny. Giraux, qui a vidé entièrement cette grotte, estime, d'après les os en état d'être déterminés, que le nombre des corps apportés dans ce dépôt devait être environ d'une quarantaine (1). La situation de la grotte ne paraît pas avoir permis, à aucune époque, l'entrée d'une importante quantité d'eau ; par conséquent, on peut admettre qu'aucun squelette n'a été entièrement dissous, au point de ne laisser aucune trace.

1. L. GIRAUX, La grotte sépulcrale du Petit-Thérain, à Thiverny (Oise), *Rev. Anthropol.*, 34^e année, 1924.

L'attaque par les eaux chargées d'acide carbonique a été localisée sur certains points : avec des os absolument intacts, s'en trouvaient d'autres plus ou moins profondément attaqués, plus ou moins recouverts de concrétions calcaires ; même observation pour les dents dont il sera question plus loin.

Dans les os longs, les diaphyses ont été en général attaquées ou dissoutes avant les épiphyses ; d'autre part l'attaque ne paraît avoir été que très faible, et le plus souvent nulle, sur les os courts et les os plats qui possèdent la même structure que les épiphyses.

L'attaque des diaphyses a été, du reste, très irrégulière : parfois les lamelles périphériques seules ont été dissoutes, d'autres fois les systèmes de Havers et les systèmes partiels, complètement dissociés, tombent en poussière sous la plus légère pression. Ce sont ces irrégularités que j'attribue à une répartition et une saturation inégales des eaux souterraines ayant pénétré dans la grotte.

Cette dégradation qui, en premier lieu porte sur la diaphyse, a déjà été signalée par quelques chercheurs mais sans qu'aucune explication en ait été donnée. Dans la sépulture de Mollans, MM. A. et L. CateLAN constatent qu'il y a « beaucoup de têtes de fémurs » (1). MM. Manouvrier et Anthony, étudiant les ossements de la sépulture de Montigny-Esbly(2), disent : « Les fragments osseux dont nous avons eu le plus grand nombre sont les extrémités inférieures d'humérus. Il y en avait 189 dont 31 jeunes et 158 adultes. » En note, les auteurs ajoutent : « Il apparaît en effet que les extrémités inférieures d'humérus présentent une résistance très considérable aux divers agents de destruction. Deux autres parties du squelette se rencontrent aussi en très grand nombre parmi les débris, ce sont les rochers et les rotules. »

Je ne pense pas que les extrémités inférieures des humérus soient plus résistantes que celles des autres os longs, car, toutes les épiphyses possédant la même structure, doivent présenter la même résistance.

Lorsque le tissu osseux a été attaqué profondément, sans que toutefois la dissolution totale se soit produite, la seule pression des matériaux de remplissage de la sépulture suffit pour réduire les os en fragments. Nous ne devons donc voir là, comme je l'ai expliqué plus haut, qu'une rupture accidentelle résultant d'une désagrégation complète de

1. A. et L. CATELAN. Cimetière néolithique du Perpetairi, à Mollans (Drôme). *Afas, Congrès du Havre*, 1914.

2. MANOUVRIER et ANTHONY, Etude des ossements humains de la sépulture néolithique de Montigny-Esbly. *Bull. Soc. Anthropol. de Paris*, 1907.

la matière osseuse par une pénétration intime des tissus par l'acide carbonique.

Cependant, certains auteurs ont émis l'hypothèse d'une rupture intentionnelle due à un rite funéraire particulier. On ne peut encore ni infirmer, ni confirmer cette hypothèse, mais il est évident qu'elle ne peut pas être généralisée, et même, avant de l'accepter pour certains cas particuliers, de nouvelles observations très précises s'imposent.

Dissolution de la matière minérale en sol acide. — On a parfois pensé que dans les terrains calcaires, la dissolution des os est plus fréquente et plus rapide que partout ailleurs. Je considère cette théorie comme erronée, et dans les sols granitiques la dissolution est au contraire plus énergique, par suite de la présence de dissolvants venant ajouter leur action à celle de l'acide carbonique. C'est pourquoi, comme nous le verrons bientôt, l'émail des dents qui reste constamment inattaqué dans les sols calcaires est dissous dans les sols granitiques.

Dans ceux-ci, la dissolution sera d'autant plus rapide qu'ils seront constitués par des éléments arénacés à travers lesquels les eaux météoriques et les eaux souterraines circulent facilement. Il y aura donc attaque des os par l'acide carbonique, mais comme il y a aussi une décomposition des feldspaths, produisant une kaolisation de la roche avec mise en liberté, non seulement de silice et d'alumine, mais aussi d'alcalis (potasse, en cas de présence d'orthose ; soude, en cas de présence d'albite) qui passeront à l'état de carbonates de potasse ou de soude, ces carbonates alcalins exerceront sur le phosphate tricalcique une action dissolvante qui concourra à une destruction des os, plus rapide que celle produite par l'acide carbonique seul.

C'est à ces actions combinées que nous devons de ne plus retrouver, aujourd'hui, dans de nombreuses sépultures à inhumation de la Bretagne, dolmens ou tumuli, que de rares débris d'ossements, souvent même, aucun vestige, sauf, bien entendu, dans le cas d'inhumation dans un ciste bien clos.

Aux causes d'ordre chimique dans la destruction de la matière osseuse, il y a lieu d'ajouter des causes d'ordre biologique analogues à celles qui concourent à la décomposition des roches, c'est-à-dire l'intervention de certains microorganismes, et aussi l'action des racines des végétaux qui sont de puissants agents de destruction du phosphate de chaux. Ainsi, on trouve fréquemment des os creusés de sillons pro-

DISSOLUTION DES OS ET DES DENTS

fonds qui sont dus à l'action absorbante des poils des racines, sécrétant un suc acide particulier contenant des diastases possédant la propriété de rendre assimilables, pour la plante, les sels minéraux qui sont ainsi absorbés et digérés par les végétaux.

Cette dernière cause de destruction de la matière osseuse ne pourra, bien entendu, s'effectuer que dans le cas où le corps aura été inhumé à un niveau situé au-dessus de la limite extrême atteinte par les racines, limite très variable, dépendant souvent de la nature du sol ou de la profondeur des couches aquifères. Ainsi, le chêne, par exemple, enfonce ses racines très profondément, tandis que le hêtre, le peuplier, le pin étalent les leurs à une profondeur beaucoup moindre ; l'action sera très variable aussi, suivant que les racines qui se développent au dessus de la sépulture seront fasciculées ou pivotantes, à pivot court ou à pivot long (celui de la luzerne, notamment, atteint souvent plusieurs mètres de longueur).

Dissolution de l'osséine. — Nous venons de voir comment s'opère la dissolution de la matière minérale, dans la plupart des cas.

Que devient la matière organique, l'osséine ?

Cette question a, depuis bien longtemps, préoccupé les chimistes, mais le problème n'a pas, que je sache, été résolu encore, d'autant plus que jusqu'ici on a envisagé seulement le cas de la disparition spontanée de l'osséine, alors qu'il y a, tout ou moins à mon avis, deux cas à résoudre :

1^o Disparition résultant de la dissolution préalable de la matière minérale de l'os ;

2^o Disparition spontanée, la matière minérale restant intacte.

Il y a donc un double problème à résoudre,

1^{er} cas. — *La matière minérale de l'os a été dissoute par les agents chimiques du sol.* — Lorsqu'on traite par l'acide chlorhydrique étendu (à 3^e Baumé environ) un os débarrassé de ses matières grasses, les sels minéraux se dissolvent seuls et il ne reste plus que la trame organique, c'est-à-dire l'osséine que l'on pourra dissoudre dans l'acide concentré.

Or, nous avons vu que dans le sol, l'acide carbonique agissait exactement de même, toutefois avec beaucoup plus de lenteur, en raison du peu de concentration des solutions. Cependant, le phénomène est identique et, après la dissolution des sels calcaires, la trame organique subsiste. Elle disparaîtra également, mais nous sommes ici en présence de deux hypothèses : ou bien elle sera dissoute par les acides minéraux du sol, ou bien elle se putréfiera en devenant, vraisemblable-

ment ammoniacale, puis acide, comme son isomère, la gélatine.

2^e cas. — *L'osséine disparaît spontanément.* — On sait, par les travaux de Frémy, de Scheurer-Kestner et par ceux, plus récents, de A. Carnot, que les os fossiles renferment encore de l'osséine, mais que celle-ci diminue progressivement avec le temps. Carnot en a trouvé 3,67 0/0 dans des restes de poisson provenant du Silurien, à la base des terrains primaires.

Il est facile de constater la présence de l'osséine dans un os ancien par une simple immersion dans l'eau froide, où, après un temps assez court, l'os se recouvre d'un exsudat visqueux que l'on admet être de la gélatine mais qui est peut-être de l'osséine, car la transformation dans le sol de l'osséine en gélatine constitue un des phénomènes de la décomposition des os, encore inconnu quant aux réactions auxquelles elle donne lieu.

Les travaux de Delesse et de Scheurer-Kestner qui se sont spécialement occupés de cette question n'ont apporté aucune solution au problème. Scheurer-Kestner a cependant observé, le premier, que l'osséine et la gélatine étaient isomères.

La disparition progressive de l'osséine est-elle en relation avec la fluoration progressive des os ? Ce n'est pas impossible, mais on ne peut encore émettre à ce sujet aucune hypothèse car l'action du fluor dans la chimie du sol n'a pas encore fait l'objet de recherches spéciales. Cependant ce corps est certainement l'un des plus répandus dans la nature : on le trouve dans un grand nombre de roches et de minéraux, dans les eaux des cours d'eau et de la mer et dans beaucoup de substances végétales ou animales. Un corps possédant des propriétés aussi énergiques que celles du fluor, ne peut être sans action dans les transformations incessantes qui s'opèrent dans le sol. En tous les cas, il joue un rôle important dans les modifications que subissent les os.

II. — LES DENTS

Les dents possèdent une composition chimique analogue à celle des os, elles sont donc sujettes aux mêmes dégradations que ceux-ci, sous l'influence des agents chimiques du sol. Toutefois, comme elles en diffèrent complètement au point de vue de la structure, les altérations qu'elles subissent offrent des particularités qui doivent appeler d'autant plus notre attention qu'elles peuvent être confondues parfois avec la carie.

COMPOSITION DES DENTS

Comme celle des os, la composition chimique des dents ne paraît avoir aucune influence sur le processus de la dégradation, *celle-ci restant soumise à la structure.*

Composition chimique déterminée par Bibra :

	HOMME		FEMME	
	Ivoire	Émail	Ivoire	Émail
Phosphate de chaux	66.72	89.82	67.54	81.63
Carbonate de chaux	3.36	4.37	7.97	8.89
Phosphate de magnésie	1.08	1.34	2.49	2.56
Sels solubles (Na Cl, etc.)	0.83	0.88	1 »	0.96
Osséine	27.61	3.39	20.46	5.97
Graisse	0.40	0.60	0.58	traces
Ce qui correspond à :				
Matière minérale	71.99	96.41	79 »	94.03
— organique	28.01	3.59	21 »	5.97
	100 »	100 »	100 »	100 »

Quant au ciment, la composition de sa matière minérale est la même que celle des os dont la moyenne est :

Phosphate de chaux	88
Carbonate de chaux	10
Autres sels	2

Bien que le ciment possède la même composition, ce n'est point à cette particularité, comme nous le verrons, qu'il doit de s'attaquer avant l'émail, tout aussi exposé que lui à l'action des agents dissolvants.

STRUCTURE DES DENTS

L'attaque des dents dépend vraisemblablement de leurs propriétés plus ou moins absorbantes dues aux différences de structure de l'ivoire, de l'émail et du ciment, ainsi qu'aux orifices et cavités qui, comme dans les os, permettent aux dissolvants de pénétrer dans toute la masse ; mais ici la pénétration sera particulièrement lente, en raison de l'extrême petitesse des orifices, et aussi parce que les canalicules, si

nombreux, ne s'ouvrent pas toujours, par suite d'anastomoses particulières, à la surface du ciment.

La plupart des dents, plusieurs centaines, qui ont été trouvées dans

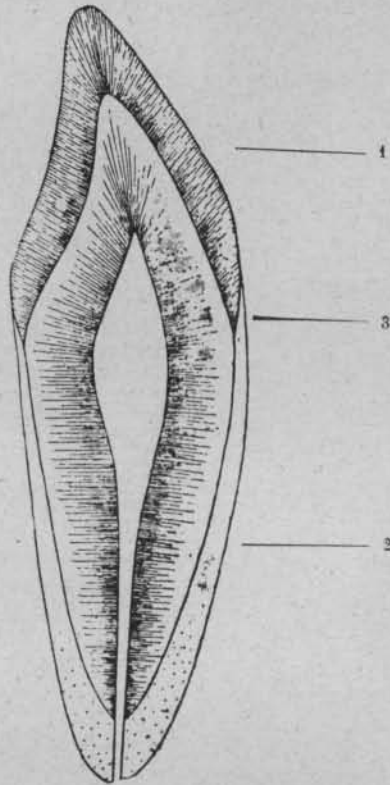


FIG. 4. — Coupe longitudinale d'une canine.

1. Email. — 2. Cément. — 3. Collet. — L'Émail et le Cément enveloppent l'Ivoire au centre duquel se trouve la cavité de la Pulpe.

la grotte sépulcrale de Thiverny, étant fortement dégradées, j'ai pu faire d'intéressantes observations.

Afin de mieux saisir le processus de la dégradation des dents, revoyons sommairement leur structure, comme nous l'avons fait pour les os, en ne tenant compte que de ce qui subsiste après destruction des tissus.

La couronne et la racine d'une dent sont constituées par trois substances, *l'ivoire*, *l'émail* et le *cément*, ayant la même composition, mais des structures très différentes (fig. 4).

L'ivoire est, en quelque sorte, l'ossature même de la dent; il est

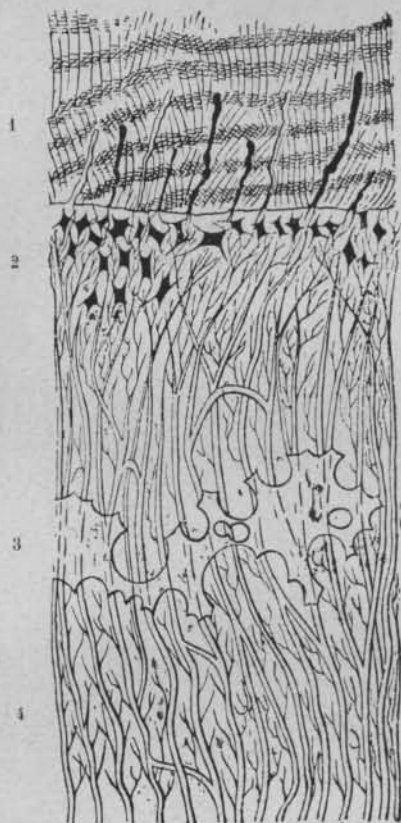


FIG. 5. — Molaire. Coupe longitudinale.

1. Email. — 2. Zone granuleuse de Kölliker. — 3. Espace interglobulaire.
4. Réseau anastomotique de l'ivoire (350 diam.)

recouvert, à son sommet, par l'émail qui enveloppe toute la couronne et vient se confondre avec le cément qui sert de gaine à la racine.

Le point de jonction de l'émail et du cément constitue le *collet*: à ce point, l'émail et le cément sont simplement superposés l'un à l'autre; d'autres fois l'émail recouvre légèrement le cément, ou inversement le

cément recouvre l'émail. Dans tous les cas, au niveau du collet, l'émail et le cément ne possèdent qu'une épaisseur extrêmement faible, ce qui, au point de vue qui nous occupe ici, possède une importance primordiale, comme nous le verrons.

Structure de l'ivoire. — L'ivoire est la substance fondamentale de la dent et renferme, en nombre considérable, les canalicules qui se ramifient et s'anastomosent (fig. 5). D'un côté, ils aboutissent dans la cavité de la pulpe, de l'autre ; ils se terminent quelquefois dans le réseau anastomotique, d'autres fois dans l'émail et le cément parfois aussi, ils s'anastomosent avec les extrémités d'autres canalicules en formant ainsi des anses dans lesquelles les liquides dissolvants ne pourront pas pénétrer.

Nous devons également porter notre attention sur les espaces interglobulaires : ce sont des points où, par suite d'un défaut de calcification, la cavité ainsi formée ne renferme qu'une trame organique, autour de laquelle on observe des globules calcaires isolés (fig. 6).

Structure de l'émail. — L'émail est la partie de la dent qui est la plus dure. Il est formé par un assemblage de fibres parallèles, pressées les unes contre les autres, sans intervalles entre elles, ayant l'apparence de prismes à six pans dont le diamètre est de 3 à 5 μ : les fibres présentent parfois des stries transversales et sont légèrement ondulées (fig. 7). On les désigne sous le nom de prismes adamantins.

L'émail, par l'adhérence de ces fibres, présente donc une masse absolument compacte.

Structure du cément. — Le cément est la partie la moins dure de la dent. Il possède la même structure que les os, avec les mêmes cavités, mais les canaux de Havers s'y montrent très rarement. La substance du cément est granuleuse ou stratifiée.

DISSOLUTION DES DENTS

Lorsqu'on examine un grand nombre de dents provenant d'un même gisement archéologique, un fait est particulièrement frappant : dans les terrains calcaires, les racines sont toutes ou presque toutes attaquées et les couronnes intactes, en outre, l'émail est rarement altéré ; dans les terrains acides, au contraire, l'émail est profondément attaqué et se brise ou se pulvérise à la moindre pression.

Dissolution en sols calcaires. — L'attaque commence toujours par la racine, se propage dans l'ivoire, parfois jusque sous l'émail, laissant celui-ci intact dans la plupart des cas.

Dissolution du ciment. — La dissolution du ciment, qui s'opère en premier lieu, commence presque toujours au niveau du collet, c'est-à-dire au point où celui-ci se termine en une lamelle très mince, venant se confondre avec la base de la couronne. Il se produit d'abord une petite cavité offrant souvent une grande analogie avec un début de carie ; peu à peu la cavité s'élargit, gagne tout le pourtour du collet, ou bien s'étend seulement, mais plus rarement, vers l'extrémité de la



FIG. 6. — Espaces interglobulaires.

racine. Dans certains cas, le ciment seul est attaqué et la dégradation s'arrête là, mais souvent aussi elle atteint l'ivoire qui est rongé jusqu'à la cavité de la pulpe.

Lorsque le collet a été ainsi attaqué sur tout son pourtour, il arrive constamment que la racine se sépare de la couronne en offrant une section nette.

Dans cette attaque du collet, il arrive aussi que, par le petit orifice qu'ils ont creusé, les liquides dissolvants s'introduisent sous l'émail dont ils ont rongé l'extrême bord, en donnant lieu à une *apparence* de carie.

Les agents chimiques du sol pénétreront avec d'autant plus de facilité dans la masse du ciment que celui-ci présentera une structure granuleuse ou stratifiée. Par conséquent, la résistance que leur offrira la racine est variable suivant les individus.

Lorsque les dents sont restées incluses dans les maxillaires, il est assez rare que les racines soient attaquées et cela, en raison de leur adhérence aux parois de l'alvéole, adhérence qui souvent est restée complète, même dans des mâchoires remontant aux temps préhistoriques. Parfois, les maxillaires, entièrement dégarnis des couronnes,

n'ont conservé que les racines, le collet seul ayant été dissous à son point d'émergence, au niveau de l'alvéole.

Dissolution de l'ivoire. — Lorsque le ciment a été entièrement dissous, l'ivoire est atteint. Malgré sa dureté, il ne paraît pas offrir une résistance beaucoup plus grande que le ciment, ce qui tient vraisemblablement à la pénétration de la solution d'acide carbonique dans les espaces interglobulaires et dans les canalicules.

Comme le ciment, l'ivoire possède au niveau du collet, un point faible qui contribue d'autant mieux à la séparation si fréquente de la racine et de la couronne qu'il correspond à la zone granuleuse de Koelliker.

Dissolution de l'émail. — La couronne est, de toutes les parties du squelette, celle qui se conserve le plus longtemps. Cette résistance est due à la structure de l'émail, c'est-à-dire à la cohésion de sa substance fondamentale, ainsi qu'à l'adhérence de ses fibres.

L'acide carbonique en solution n'exerce sur l'émail qu'une action excessivement lente, presque nulle. Cette action se manifeste d'abord, en général, au point de jonction avec le ciment, par conséquent à l'extrémité des fibres, ou bien sur la face triturante, mais celle-ci n'a montré jusqu'ici de perforations, à ma connaissance, que dans le cas des dents préhistoriques, dents presque toujours affectées d'une usure telle que, dans les molaires, les cuspidés ont totalement disparu et que, très souvent, sans que la carie soit intervenue, l'ivoire est à découvert, et cela aussi bien chez les incisives et les canines que chez les molaires.

Je n'envisage, bien entendu, que les cas de dents saines, normalement constituées, car l'attaque pourra être accélérée en présence de certaines anomalies telles qu'une calcification incomplète, une adhérence imparfaite des fibres ou toute autre altération ou malformation congénitales ou accidentelles.

Dissolution de l'osséine. — Comme dans les os, l'osséine disparaît lentement, sans doute sous l'influence des acides minéraux du sol, en se transformant peut-être en gélatine qui est entraînée par les eaux souterraines, après avoir été libérée par la dissolution de la matière minérale, ou bien en se putréfiant.

Dissolution en sols acides. — Dans les sols acides, la dissolution des dents est plus énergique que dans les sols calcaires, car non seulement le ciment et l'ivoire sont attaqués d'une façon beaucoup plus complète, mais c'est aussi l'émail qui est profondément atteint jusqu'à la dissolution totale.

Ayant eu à examiner des dents provenant d'une sépulture proto-historique (de l'époque de la Tène) du Morbihan, établie en terrain granitique, j'ai constaté une dissolution presque totale du ciment et de l'ivoire, dont il ne restait, en général, que des débris adhérents à la couronne, ainsi que de l'émail lui-même dont les minces fragments qui avaient résisté à la dissolution complète avaient perdu leur aspect brillant par suite d'une corrosion énergique : l'émail était complètement désagrégé et d'une fragilité extraordinaire.

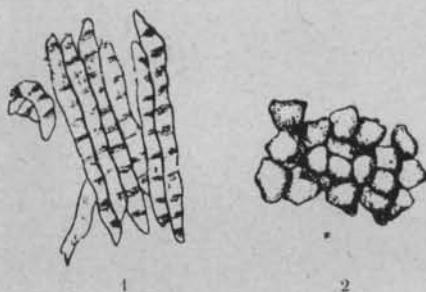


FIG. 7. — Fibres de l'émail.

1. Coupe longitudinale. — 2. Coupe transversale.

Cette corrosion de l'émail, dans les sols granitiques, est due à l'action des sels alumino-potassiques solubles provenant de la décomposition du granite, sels qui ont également une action non moins énergique sur le ciment et l'ivoire, ce qui n'est pas pour nous surprendre puisque ces deux derniers composants de la dent, particulièrement le ciment, possèdent la même structure que les os.

CONCLUSION

Nous venons de voir, au cours de ce travail, comment s'opérait la dissolution du squelette ; mais bien avant que cette dissolution soit réalisée, les gaz contenus dans le sol et particulièrement ceux qui, sous les actions bactériennes, se dégagent des substances en putréfaction, se sont combinés, dans la masse osseuse, aux matières minérales dont elle est formée ou à celles qu'elle a empruntées au terrain lui-même : il s'est ainsi produit de nouveaux composés minéraux qui n'existaient

pas dans l'os *vivant*. Nous les étudierons bientôt ici, en même temps que nous montrerons les phénomènes qu'ils provoquent lors de l'incinération des corps, telle qu'elle était parfois pratiquée aux époques préhistoriques. Nous verrons combien est féconde cette nouvelle application de la Chimie à la Préhistoire.

La dissolution des os et des dents enfouis dans le sol ne peut s'opérer qu'avec l'intervention de l'eau, quels que soient les agents chimiques ou bactériens qui s'attaquent à la matière osseuse et à la matière organique.

Cette condition essentielle ne pourra être remplie que si le corps a été inhumé dans un terrain perméable dans lequel les eaux d'infiltration et les eaux de remontée circuleront librement, étant ainsi sans cesse renouvelées.

Quant aux sols essentiellement argileux, ils deviennent imperméables dès qu'ils sont humides : l'eau et l'air n'y peuvent plus pénétrer et, non seulement les os resteront intacts pendant un laps de temps parfois considérable (plusieurs milliers d'années) par suite de l'absence d'eau, mais le cadavre même conservera ses chairs, souvent pendant plusieurs années.

La dissolution des dents donne lieu à des phénomènes plus complexes. Le ciment et l'ivoire sont dissous, comme les os, par l'acide carbonique, mais cette dissolution est plus lente en raison de l'étroitesse des orifices par où s'infiltrent les liquides dissolvants : on sait que plus un tube est étroit, plus le frottement des liquides est grand et plus la pénétration est difficile. Quant à l'émail, sa structure si particulière exige, nous l'avons vu, des dissolvants énergiques.

L'émail de la dent est le dernier fragment minéral du squelette, celui qui résiste le plus longtemps aux agents dissolvants du sol, même en terrain acide, et l'osséine, la matière organique qui, normalement, devrait disparaître en premier lieu, est l'ultime substance qui reste de la désintégration totale et définitive du corps : mais bientôt, elle-même ne tardera pas à se dissocier en ses éléments, Hydrogène, Oxygène, Carbone et Azote, dans le sein de la terre pour, de nouveau, concourir à la Vie (1).

1. Les figures 1 à 3 sont empruntées à SAPPÉY, *Traité d'anatomie descriptive*, et les figures 4 à 7, à REDIER, *Précis de Stomatologie*.