

> rien aux dents. Au cours d'une vie, celles-ci broient en effet des aliments des millions de fois sans se briser, alors qu'elles sont fabriquées à partir des mêmes matériaux que ce qu'elles écrasent. Les ingénieurs ont sans doute beaucoup à en apprendre...

Leur remarquable solidité est le résultat de leur structure, qui leur confère à la fois la dureté et la résistance nécessaires pour empêcher que des fissures ne se forment et se propagent. Ces propriétés découlent d'une combinaison de deux éléments : une couche externe d'émail très dure, presque entièrement composée de phosphate de calcium, et une couche interne de dentine contenant des fibres organiques qui lui confèrent de la souplesse.

UNE MICROSTRUCTURE REMARQUABLE

C'est la microstructure de l'émail qui explique les extraordinaires performances des dents. L'émail des dents est en effet constitué de minuscules « prismes », des bâtonnets regroupant des milliers de cristallites, brins monocristallins dont chacun est 1000 fois plus fin qu'un cheveu humain (lequel fait 0,1 millimètre). Individuellement, les cristallites sont aussi cassantes qu'un spaghetti sec, mais groupées en faisceaux, elles forment des prismes nettement plus résistants. Regroupés à leur tour par dizaines de milliers par millimètre carré, souvent entrecroisés, les prismes constituent le substrat de la couche d'émail. Disposés parallèlement, ils vont de la surface de la dent à la dentine sous-jacente, formant un entrelacs au sein duquel ils se tordent et se retordent d'une façon qui confère à l'émail son impressionnante résistance.

Cette structure n'est pas apparue du jour au lendemain : l'ingénieur nature y a travaillé pendant des centaines de millions d'années. Grâce aux avancées récentes de la paléontologie, de la génétique et de la biologie du développement, les chercheurs ont reconstruit l'évolution de la structure des dents depuis l'apparition des vertébrés.

Les premiers vertébrés étaient des « poissons » sans mâchoires apparus il y a plus d'un demi-milliard d'années, au Cambrien. Ces animaux – des vertébrés nageurs aquatiques ancêtres des poissons à écailles actuels – n'avaient pas de dents, mais beaucoup de leurs descendants ont acquis une queue écaillée et une tête blindée par des plaques de phosphate de calcium ressemblant à des dents. Chaque plaque comportait une surface extérieure de dentine, parfois durcie sur le dessus par une couche minéralisée, et une cavité intérieure – la chambre pulpaire – abritant des vaisseaux sanguins et des nerfs.

La bouche de certains de ces animaux était bordée de plaques comportant de petits picots

ou des pointes aidant à s'alimenter. D'après la plupart des paléontologues, c'est la sélection de ce genre d'écailles au cours de l'évolution qui est à l'origine des dents. De fait, les écailles des requins actuels ressemblent tellement à des dents que nous plaçons ces structures dans la catégorie des odontodes, c'est-à-dire des « objets en forme de dents » ; et de nombreux poissons ont le corps tapissé d'odontodes. Par ailleurs, les biologistes du développement ont montré que les écailles et les dents des requins se développent à partir de tissu embryonnaire en suivant le même programme, et des analyses moléculaires ont confirmé que les mêmes groupes de gènes président à leur développement.

Les premières dents définitives sont apparues bien plus tard avec les poissons à mâchoires. Il s'agissait pour la plupart de simples structures pointues servant à capturer et à immobiliser des proies ou encore à gratter, à fouiller, à saisir et à mordre tous types d'organismes. Par exemple, certains acanthodien, des poissons à épines fossiles apparentés aux requins ancestraux, avaient déjà des dents il y a 430 millions d'années, au Silurien. Mais aucune couronne hyperminéralisée ne recou-

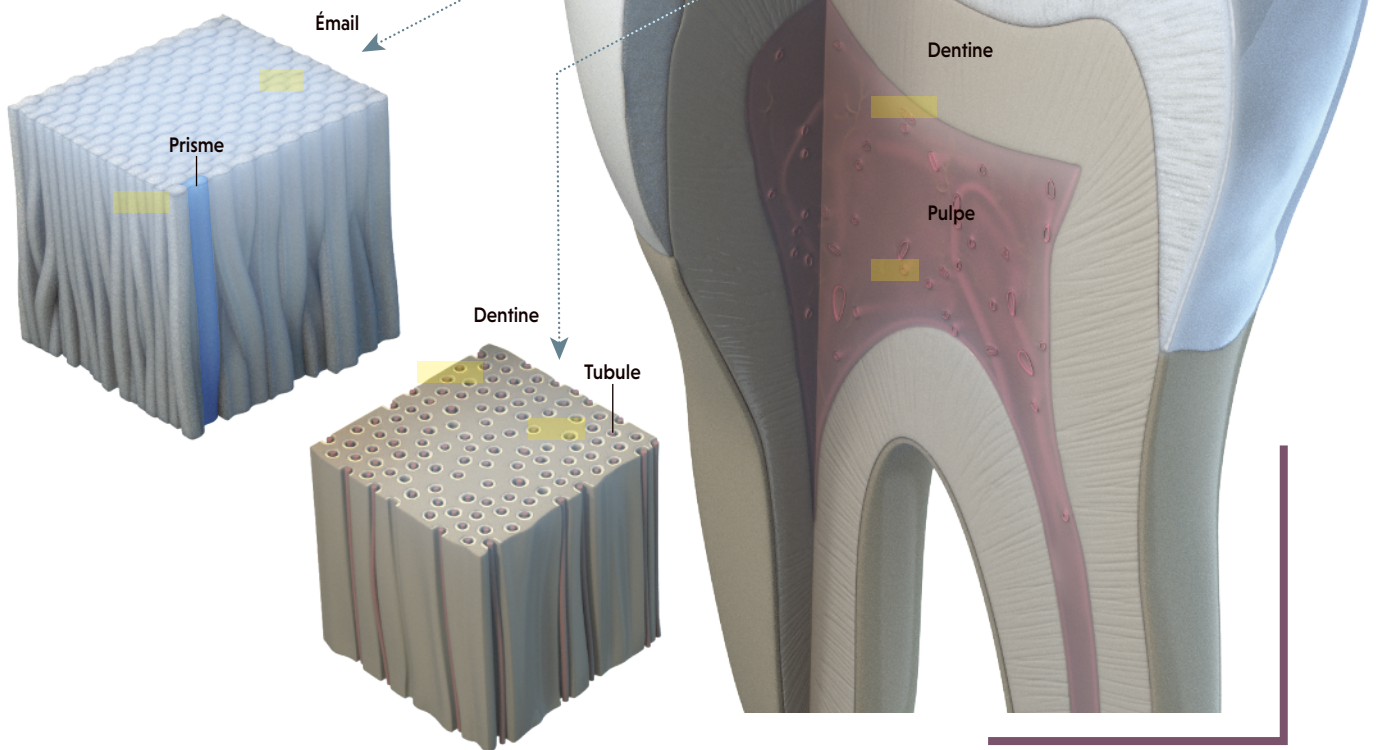
L'émail est apparu il y a environ 415 millions d'années, au sein des sarcoptérygiens

vrait la dentine de leurs dents qui, même si elles n'étaient ni perdues ni remplacées, n'en étaient pas moins des dents. Certains avaient des écailles sur les lèvres et les joues qui ressemblaient d'autant plus à des dents qu'elles étaient proches de la bouche ; c'est là un argument de poids en faveur d'un passage évolutif continu depuis certaines écailles aux dents. Même dans leurs formes les plus archaïques, les dents représentaient certainement un avantage, et elles se sont donc répandues dans les lignées des organismes des océans primitifs.

Une fois les dents en place, de nombreuses innovations ont suivi, notamment dans leur forme, leur nombre, leur répartition, leur remplacement et leur fixation à la mâchoire. C'est il y a environ 415 millions d'années, à la limite du Silurien et du Dévonien, que l'émail apparaît au

CONSTRUITES POUR DURER

Comme celles des autres mammifères, les dents humaines sont remarquablement résistantes, grâce à une couronne en émail dur recouvrant la dentine, qui est robuste mais plus souple. À l'échelle microscopique, des cristallites (de petits monocristaux d'émail) sont groupées en « prismes », ce qui confère à la couronne d'émail sa dureté. La résistance et la souplesse de la dentine proviennent en grande partie des fibres de collagène qui emplissent les espaces entre des structures dénommées tubules.



sein des sarcoptérygiens. Ce groupe de «poissons» a donné les poissons à nageoires charnues – dotés des paires de nageoires pectorales et ventrales dont les os et les muscles ressemblent à ceux des membres – et les tétrapodes modernes, c'est-à-dire les amphibiens, les reptiles et les mammifères. Les autres poissons n'ont pas le groupe de gènes codant pour les protéines nécessaires à la fabrication de l'émail, dont ils sont par conséquent dépourvus. L'émail était initialement limité aux écailles, ce qui suggère que, comme les dents, il est provenu de structures de la peau avant de devenir partie intégrante de structures buccales.

FAVORABLES À L'ENDOTHERMIE

Les dents ont joué un rôle important dans l'évolution des mammifères parce que, comme nous allons l'expliquer, elles favorisent l'endothermie (le fait d'avoir le sang chaud). Un organisme capable de créer sa propre chaleur corporelle a de nombreux avantages: il peut

vivre dans des climats froids et dans ceux aux températures variables; il peut aussi maintenir des vitesses de déplacement plus grandes et ainsi exploiter des territoires plus vastes; il aura aussi plus d'endurance dans la recherche de nourriture, l'évitement des prédateurs et les soins parentaux.

L'endothermie a toutefois un grand coût énergétique: un mammifère brûle dix fois plus d'énergie au repos qu'un reptile de taille similaire. Les mammifères doivent donc sans cesse alimenter un véritable fourneau métabolique, ce qui a induit une grande pression sélective sur la bouche: si les dents des autres vertébrés servent à capturer, à maintenir et à tuer leurs proies, celles des mammifères ont en plus pour fonction de mâcher afin d'extraire le plus possible de calories des aliments.

Les dents des mammifères guident les mouvements de mastication en dirigeant et dissipant les forces mises en œuvre, tout en positionnant, en maintenant, en fracturant et ➤

> en fragmentant les aliments. Pour que les dents fonctionnent bien pendant la mastication, leurs surfaces opposées doivent être alignées à une fraction de millimètre près. La nécessité d'une telle précision explique pourquoi, contrairement aux poissons et aux reptiles, chez la plupart des mammifères il n'y a pas de repousse de nouvelles dents tout au long de la vie, à mesure que les dents anciennes s'usent ou se cassent. C'est dans le cours de l'amélioration de la mastication que les mammifères ancestraux ont perdu cette capacité.

Les prismes d'émail font partie du même ensemble adaptatif. La plupart des chercheurs pensent qu'ils sont apparus parce qu'une meilleure résistance des dents, adaptée à la mastication, était avantageuse. La question de savoir si l'apparition évolutive des prismes s'est produite une fois ou plusieurs fois indépendamment est débattue, mais dans tous les cas, la structure de base des dents de mammifères – une couronne de dentine recouverte d'émail prismatique – était déjà en place au Trias, il y a environ 250 millions d'années. Les myriades de formes de molaires de mammifères, y compris les nôtres, qui s'en sont ensuivies, sont de simples ajustements du même plan général.

DÉSÉQUILIBRE MICROBIEN

L'histoire évolutive de nos dents explique non seulement leur résistance, mais aussi leurs défaillances. À cet égard, l'idée essentielle est que les structures biologiques évoluent pour fonctionner au sein d'un éventail spécifique de conditions environnementales. Dans le cas de nos dents, il s'agit de la présence dans la bouche de certaines substances chimiques et de certaines bactéries, ainsi que de la pression et de l'abrasion. La modification de ces conditions peut donc constituer une menace. C'est bien ce que fait l'alimentation moderne, si différente de toutes celles qui l'ont précédée dans l'histoire de la vie humaine. Le désaccord qui en résulte entre notre biologie et notre comportement explique nos caries dentaires, les dents de sagesse abîmées et les autres problèmes orthodontiques qui nous affligent.

La carie dentaire est la maladie chronique la plus courante et la plus répandue dans le monde. Elle touche près de huit Français sur dix et des milliards de personnes dans le monde entier. Pourtant, au cours des trente dernières années, j'ai étudié des centaines de milliers de dents d'espèces fossiles et d'animaux vivants et n'ai pratiquement jamais observé de caries dentaires.

Pour comprendre pourquoi les dents des humains modernes sont si sujettes aux caries, il nous faut considérer le milieu buccal naturel. Une bouche saine fourmille de vie: elle est peuplée de milliards de microbes comprenant jusqu'à 700 espèces différentes de bactéries. La plupart d'entre elles sont bénéfiques. Elles

combattent les maladies, aident à la digestion et régulent diverses fonctions corporelles. D'autres sont nuisibles, tels les lactobacilles et *Streptococcus mutans* (ou streptocoques mutants, ainsi nommés car leurs cellules passent souvent d'une forme de coque à celle de courts bâtonnets). Le métabolisme de ces bactéries produit de l'acide lactique, qui attaque l'émail. Mais leurs concentrations sont en général trop faibles pour entraîner des dommages permanents. Leur nombre est en effet contrôlé par les populations de streptocoques *mitis* (*Streptococcus mitis*) et *sanguinis* (*Streptococcus sanguinis*). Ces bactéries produisent des bases – ce qui réduit l'acidité – et des protéines antimicrobiennes – qui inhibent la croissance des espèces nuisibles.

Par ailleurs, la salive tamponne la bouche, c'est-à-dire qu'elle maintient constant son pH (niveau d'acidité), ce qui limite les attaques acides; et, comme elle contient du calcium et du phosphate en solution, elle reminéralise aussi la surface des dents. Un équilibre entre déminéralisation et reminéralisation se maintient depuis des centaines de millions d'années dans les bouches des mammifères, de sorte que des bactéries bénéfiques et nocives cohabitent dans les microbiomes buccaux de l'ensemble des mammifères. Nous avons coévolué en maintenant une communauté stable de microbes, ou, comme le formule Kevin Foster, de l'université d'Oxford, en «tenant l'écosystème en laisse».

Les caries apparaissent quand la laisse se rompt. Les régimes riches en glucides nourrissent les bactéries productrices d'acide, ce qui réduit le pH buccal. Les *Streptococcus mutans* et les autres espèces cariogènes se développent dans l'environnement acide qu'ils produisent, et finissent par noyer par leur nombre les bactéries bénéfiques, ce qui réduit encore le pH. Cette chaîne d'événements conduit à ce que les cliniciens nomment la «dysbiose», un changement d'équilibre dans lequel quelques espèces nuisibles supplantent celles qui dominent normalement le microbiome buccal.

Dans ces situations, la salive ne peut plus reminéraliser l'émail assez vite pour compenser la déminéralisation, et l'équilibre entre perte de



Les caries apparaissent quand l'écosystème bactérien de la bouche est déstabilisé

