Chapitre 2

Les archéomatériaux et leurs contextes

Introduction

De tout temps, l'Homme a exploité différents matériaux naturels, qu'il s'agisse de bio- ou de géomatériaux, pour répondre à ses besoins, qu'ils soient d'ordre matériel ou symbolique. Il les a parfois simplement récoltés mais le plus souvent, il les a transformés suivant différents processus (mécaniques, thermiques, chimiques, biochimiques) à des fins techniques, symboliques ou énergétiques pour s'alimenter, se chauffer ou s'éclairer. Les archéomatériaux sont donc susceptibles de porter en eux des informations directement liées aux comportements humains et ils se distinguent en cela des autres bio- et géomatériaux qui témoignent de leur seule histoire naturelle. La figure 2.1 détaille les différentes catégories d'archéomatériaux et précise les principaux champs d'investigation dont ils font l'objet étant entendu que tous relèvent de recherches archéologiques, voire anthropologiques pour les restes humains.

Avant de présenter les archéomatériaux à proprement parler en fonction de leur origine géologique, biologique ou synthétique, il importe d'aborder la question de leur contexte de conservation et de découverte, qui influence directement leur potentiel informatif.

1 Des vestiges plus ou moins bien contextualisés

Les vestiges anciens constituant notre patrimoine culturel sont issus de contextes et environnements qui peuvent être classés en trois catégories (figure 2.2) :

- les contextes géo-archéologiques (milieux enfouis, parois de grottes, de falaises ou d'abris) ;
- les contextes de plein air ;
- les contextes en intérieur, comprenant notamment les institutions muséales.

En fonction des environnements de conservation, les archéomatériaux sont soumis à divers processus d'altération qui en modifient les propriétés de surface et les caractéristiques physico-chimiques.

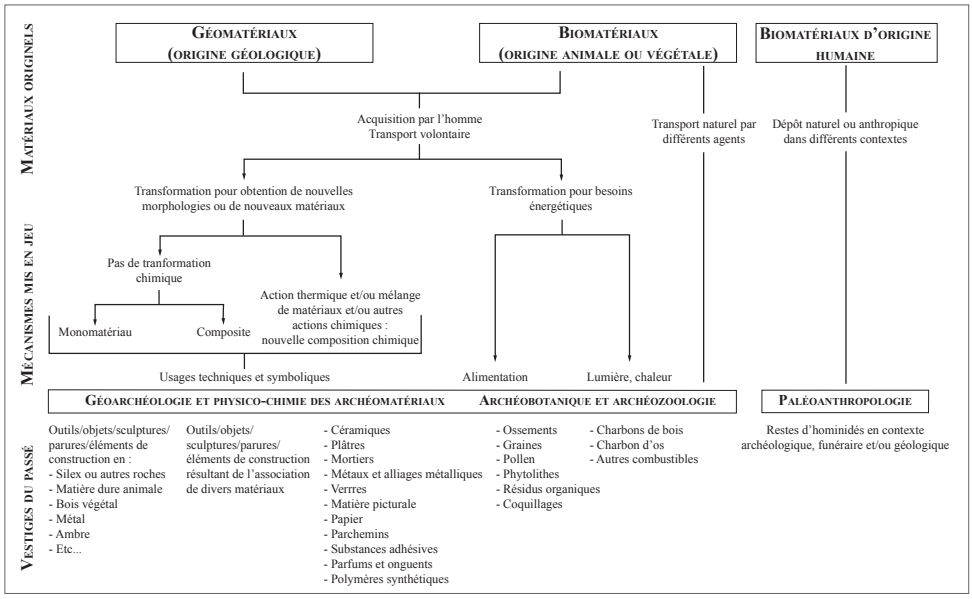


Figure 2.1 – Les différents matériaux que l'on peut retrouver en contexte archéologique et muséal.

1.1 Les contextes géo-archéologiques

En ce qui concerne les contextes géo-archéologiques, plusieurs situations peuvent être rencontrées. Les vestiges, après abandon par les sociétés qui les ont produits et utilisés, ont pu être naturellement recouverts de sédiment en milieu terrestre (en plein air, au pied d'un abri sous roche ou en grotte) ou aquatique (dans un lac, un fleuve ou dans la mer). En fonction du type de sédiment, de l'activité biologique et du climat, la conservation des niveaux archéologiques formés sera plus ou moins optimale. Ainsi, la composition de la matrice sédimentaire et ses propriétés physico-chimiques (pH, potentiel oxydo-réducteur, granulométrie, etc.) auront une influence bénéfique ou néfaste sur la conservation. Les ossements, par exemple, sont mal conservés dans un sédiment ayant un pH acide. L'activité biologique, qu'il s'agisse de l'action des animaux fouisseurs, de rongeurs ou de vers de terre ou encore de l'activité racinaire, a également un impact sur la conservation des vestiges archéologiques. Enfin, certaines conditions environnementales sont plus ou moins propices à la conservation. Pour les restes organiques, particulièrement vulnérables aux processus naturels d'altération, les contextes chauds et secs, anaérobies (milieux lacustres, fluviatiles ou marins par exemple), ou gelés, sont les plus favorables.

Des témoins des activités des populations du passé sont également conservés sur des parois de grottes, de falaises ou d'abris sous roche (peintures et gravures). Ces représentations rupestres peuvent témoigner de pratiques abandonnées (cas de l'art paléolithique* du sud-ouest de la France). Il est aussi des cas où les peintures ont

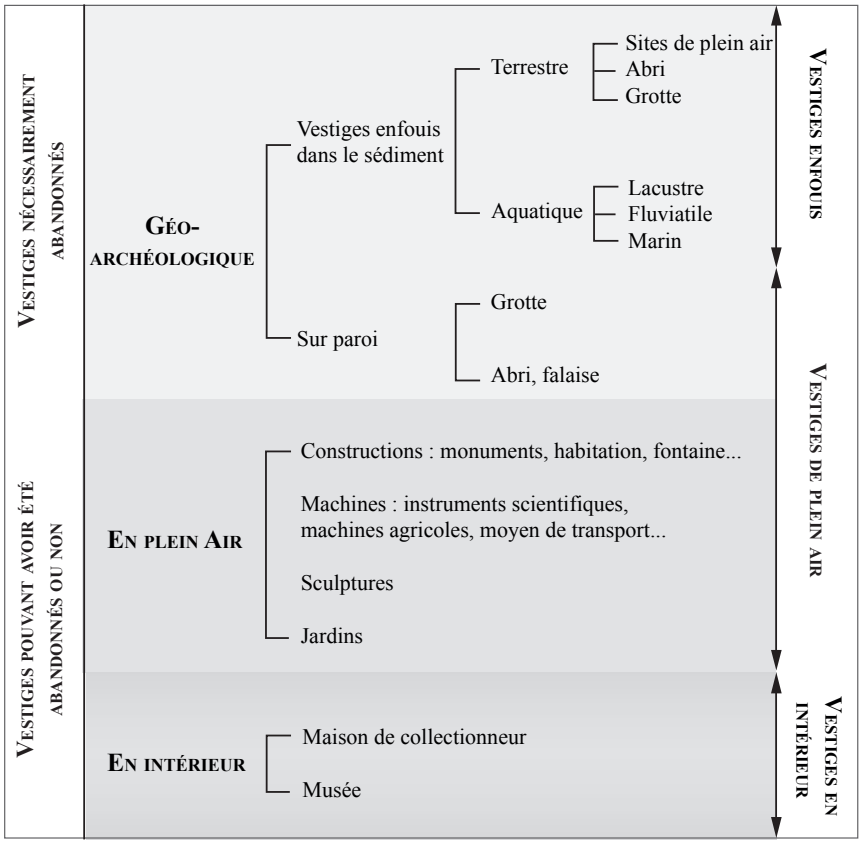


Figure 2.2 – Les contextes de conservation des vestiges du passé.

toujours été visibles et connues des habitants d'une région. Même si leurs modes de réalisation et leur signification initiale ont été perdus, elles gardent parfois encore leur pouvoir mystique et magique dans l'esprit des populations. En Afrique du sud, par exemple, des populations actuelles utilisent encore la matière picturale de ces œuvres pour leurs vertus supposées ; la conservation de ces vestiges devient alors une question déontologique complexe car le patrimoine continue de vivre malgré son ancienneté.

1.2 Les vestiges conservés en plein air

En plein air, divers types de vestiges peuvent se conserver. On peut citer, sans tendre à l'exhaustivité, les monuments (civils, militaires, funéraires), et, plus généralement les témoins architecturaux, les sculptures et les fontaines. Les jardins eux-mêmes peuvent témoigner d'un patrimoine historique séculaire, voire millénaire. Des réalisations de grande envergure ont aussi traversé les siècles, que l'on pense aux géoglyphes de Nazca au Pérou ou encore à celles remontant à la Préhistoire sur des collines anglaises (cheval blanc d'Uffington par exemple). Enfin, une partie du patrimoine industriel comprenant instruments scientifiques, machines agricoles ou moyens de transport divers et variés

est également conservée en plein air. L'étude et la conservation de ces vestiges pose des problèmes spécifiques liés tout à la fois à la fréquentation des lieux par les populations actuelles (touristes, visiteurs) et aux agressions naturelles (pluies acides, phénomènes de gel / dégel, accumulation de dépôts, etc.).

1.3 Les collections muséales

La connaissance des environnements de conservation des vestiges depuis leur production et / ou leur abandon par l'Homme est primordiale pour l'étude des archéomatériaux. En effet, la compréhension des facteurs post-dépositionnels (diagenèse, décomposition, taphonomie*, fossilisation) qui affectent les niveaux archéologiques est indispensable pour comprendre les processus de formation des sites et interpréter les données spatiales de façon rigoureuse. Dans le cas de conservation en plein air, la connaissance des effets de la pollution, du climat ou des actions humaines, permet de distinguer les processus d'altération des procédés de fabrication et d'utilisation. Or, une partie non négligeable des productions du passé est totalement décontextualisée : au cours de leur histoire, le fil a été rompu entre leur environnement initial et celui dans lequel elles sont conservées à l'heure actuelle. C'est le cas d'objets patrimoniaux détenus par des particuliers ou conservés dans des musées. Ainsi, une partie des collections muséales souffre d'un manque d'information qui a parfois été à l'origine de fameuses controverses scientifiques, dont celles sur le crâne de l'Homme de Piltdown ou sur le suaire de Turin, pour ne citer que deux célèbres exemples. Certains objets, parfois attribués à des civilisations très peu connues à l'époque de leur intégration dans les collections, ont en réalité été inventés de toutes pièces. L'égyptomanie qui s'est développée au début du XIX^{e} siècle a contribué à ce phénomène mais aucune partie du globe n'a été épargnée, que l'on pense au sarcophage, soi-disant étrusque, acquis par le *British Museum* à Londres, fabriqué en 1873 par les frères Penelli, enterré puis « découvert », ou encore aux guerriers d'Orvieto du *Metropolitan Museum of Art* à New York, statuettes en *terracota* réalisées entre 1915 et 1921, expertisées comme authentiques, puis reconnues fausses en 1961 suite à l'aveu du sculpteur Alfredo Fioravanti.

Pour appréhender les collections muséales, il faut prendre en considération l'histoire de leur création [50]. En France, le « Cabinet du Roy », initié sous François I^{er} (1494-1547), prend de l'ampleur sous Louis XIV (1638-1715) puis devient le noyau de plusieurs musées, succédant ainsi aux fameux cabinets de curiosités de la Renaissance.

Les collections commencent par le simple amoncellement d'objets hétéroclites, parfois provenant de butins de guerre, auxquels s'ajoutent, particulièrement au Moyen Âge, les reliques et des objets considérés comme surnaturels. La découverte de « nouveaux mondes », de leurs cultures, de leurs productions matérielles et de leur environnement, accroît la curiosité et se traduit par une expansion des collections privées. Dès la Renaissance, les familles aisées possèdent un grand nombre de curiosités naturelles et artificielles, de sculptures et de peintures. Les cabinets de curiosités, dont le but était d'offrir une vision encyclopédique du savoir et du cosmos, prolifèrent en Europe au XVII^{e} siècle, mais ne détiennent souvent que de simples reproductions d'œuvres d'art appréciées par le collectionneur. Le courant intellectuel qui se développe au XVIII^{e} siècle participe de la complexification des collections au sein desquelles sont alors

intégrés des animaux et des spécimens humains, soit éducatifs soit « créatifs », tels les « Écorchés » de l'anatomiste Fragonard, conservés à Maisons-Alfort.

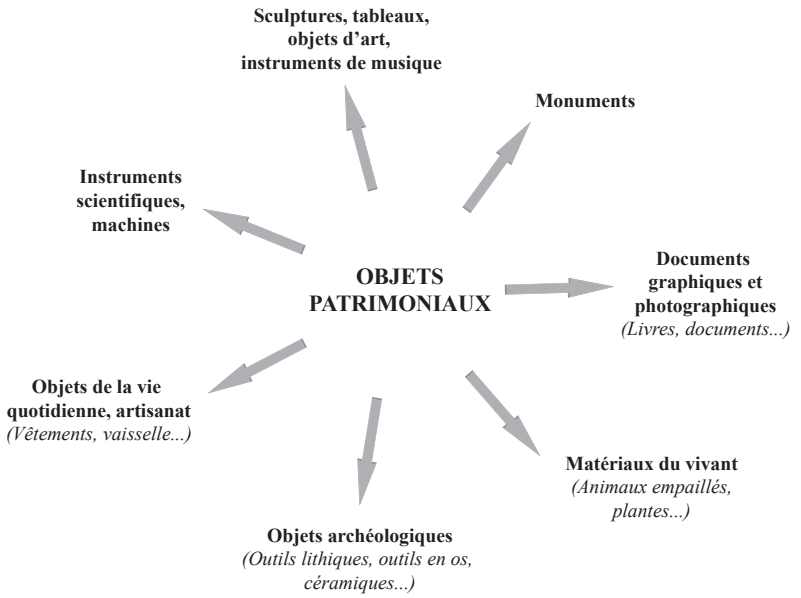


Figure 2.3 – Diversité des objets constituant notre patrimoine culturel.

Si pendant la Renaissance et au XIX^{e} siècle les artistes et artisans ont très souvent essayé de produire des œuvres d'art et des objets « à la façon » d'autres périodes plus anciennes, l'envie des collectionneurs de posséder des objets exceptionnels provoque l'apparition d'une industrie de reproduction d'objets antiques mais aussi de production de faux. À ces reproductions et faux viennent s'ajouter les objets fortement restaurés ou dérivés, dont la restauration ou modification, réalisée dans l'esprit de l'époque, avait pour finalité de majorer l'intérêt ou le prix. Un exemple est le *Ganymède et l'Aigle* de Benvenuto Cellini qui restaure le torse d'un jeune en marbre d'époque romaine de la collection de Cosimo de' Medici, par ajout de la tête, des bras, des pieds et de l'aigle.

Ainsi, les collections muséales résultent d'une histoire complexe, parfois difficile à décrypter, jalonnée par la réalisation de faux, de pastiches*, de copies et par un ensemble d'épisodes de restauration qu'il est nécessaire d'identifier et de comprendre afin de percer les secrets des artistes et des artisans et d'assurer une conservation optimale.

2 Spécificités des archéomatériaux et disciplines impliquées dans leur étude

Les archéomatériaux sont constitutifs de l'ensemble des vestiges qui composent les collections archéologiques et muséales (figure 2.3). Comparés aux autres matériaux,

ils présentent des caractéristiques spécifiques. Souvent composites, *i.e.* constitués de divers minéraux et / ou de substances organiques variées, ils sont hétérogènes à toutes les échelles d'investigation, du niveau macroscopique au microscopique, voire nanoscopique. Ils sont parfois conservés en très faible quantité.

Leur valeur historique implique de minimiser la consommation de matière au cours de leur étude. Tout prélèvement est parfois même exclu en raison de la fragilité de l'œuvre, de la faible quantité de matière conservée ou parce qu'il s'agit d'une production unique. Toute étude d'archéomatériau se doit donc d'obéir à une déontologie d'économie du fossile, de l'objet ou de l'œuvre considérée. Par ailleurs, les archéomatériaux résultent fréquemment de transformations anthropiques multiples qui, en modifiant l'aspect ou la composition du matériau originel, en rendent parfois la détermination difficile. Enfin, tout au long de leur histoire en relation avec les sociétés humaines, les archéomatériaux ont subi des altérations naturelles, qu'ils aient connu une phase d'enfouissement ou non. Certains d'entre eux ont également été soumis à différents procédés de restauration.

La recherche des signatures anthropiques ou plus largement la compréhension des interactions entre l'Homme et un matériau, impliquent des études interdisciplinaires menées par des acteurs qui cumulent fréquemment des formations complémentaires. Les archéozoologues étudient les restes osseux issus de contextes archéologiques [19], les archéobotanistes sont spécialistes de la biosphère végétale ayant interagi avec les sociétés humaines [18, 51], les géoarchéologues s'intéressent à la matrice sédimentaire [16] et les archéochimistes explorent les caractéristiques physico-chimiques des archéomatériaux [9-12]. Au sein de ce dernier champ d'investigation qui nous intéresse plus particulièrement ici, les acteurs de la recherche sont spécialisés en fonction des gammes de matériaux qu'ils étudient (géo-, biomatériaux, polymères de synthèse), des techniques d'analyse mises en œuvre, des domaines considérés (archéosciences, conservation-restauration, altérations, développements analytiques) et des contextes chrono-culturels appréhendés.

Ainsi, lorsque l'on s'intéresse aux objets du passé à travers leurs matériaux constitutifs, c'est bien souvent un ensemble de spécialités qui est sollicité. Prenons l'exemple d'une momie humaine dans son sarcophage : si, pour l'égyptologue, elle représente un tout, pour le spécialiste des archéomatériaux, elle est divisible en diverses substances qui ont toutes un potentiel informatif différent mais complémentaire. La caractérisation des produits de momification qu'ils soient de nature organique (cire, bitume, résine, etc.) ou inorganique (natron) renseigneront sur les procédés de momification, les savoir-faire et les coutumes de l'époque mais aussi sur les circuits d'acquisition des matériaux ; l'étude du corps humain apportera des informations sur le sexe, l'âge, l'état de santé et le régime alimentaire du défunt ; les traces ou les restes d'insectes (archéoentomologie) seront mis à contribution pour appréhender les traitements funéraires, mettre en évidence des parasites ou déterminer les processus taphonomiques [52]. C'est ainsi un large éventail de domaines de connaissances qui est mis à contribution pour étudier notre patrimoine culturel caractérisé par une grande diversité de matériaux qu'il convient maintenant d'aborder.

3 Les géomatériaux

Les géomatériaux sont des ressources naturelles minérales provenant de formations rocheuses de l'écorce terrestre, récoltées ou extraites à partir de gisements naturels, de carrières ou de mines. Il s'agit de roches*, c'est-à-dire de matériaux naturels possédant une certaine cohésion, constitués d'assemblage de minéraux*, ces derniers étant composés de cristaux [53]. Notons que les gemmes*, aussi appelées pierres précieuses ou semi-précieuses, sont généralement des minéraux, plus rarement des associations de minéraux, qui ont été repérés et utilisés par l'Homme en raison de leur rareté et de leur caractère esthétique. Les minerais, quant à eux, correspondent à des assemblages de minéraux qui contiennent une teneur assez importante de métal pour être exploitable.

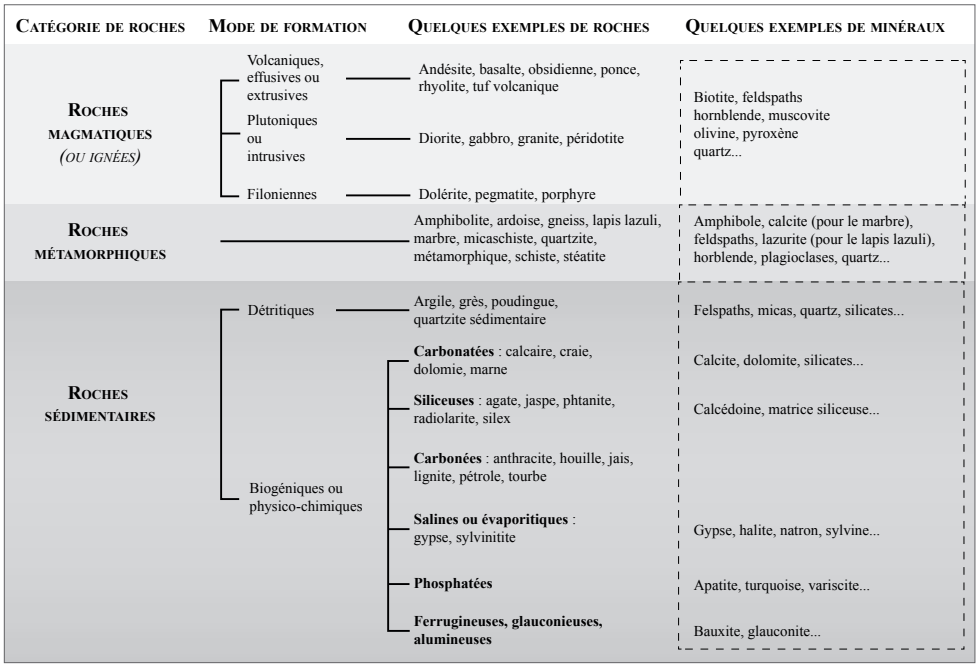


Figure 2.4 – Les trois catégories de roches existant sur notre planète.

Selon leur mode de formation, les roches sont classées en trois catégories (figure 2.4) :

- les roches magmatiques (granite, basalte, diorite, quartzite, gabbro, etc.) ;
- les roches sédimentaires (grès, silex, calcaire, craie, dolomie, argile*, etc.) ;
- les roches métamorphiques (schistes, gneiss, marbre, par exemple).

Les roches magmatiques résultent du refroidissement et de la solidification d'un magma. Elles sont formées d'associations minéralogiques qui comprennent essentiellement du quartz, des feldspaths, des feldspathoïdes, des micas, de l'augite (groupe des pyroxènes), de la hornblende et de l'olivine (groupe des amphiboles) ainsi que quelques

autres minéraux accessoires. En fonction de la vitesse de refroidissement et de la profondeur de formation, on parle de (i) roches volcaniques (extrusives ou effusives) qui sont refroidies brutalement en surface après une éruption volcanique (hémicristallines) ; (ii) roches plutoniques ou intrusives : refroidies en profondeur lentement sans dégazage dans la chambre magmatique (holocristallines) ; et (iii) roches filoniennes ou hypoabyssales qui sont intermédiaires entre les roches extrusives et intrusives et qui ont subi un dégazage partiel.

Les roches sédimentaires se forment par l'accumulation et le compactage en couches de débris d'origine minérale et organique sous l'effet d'agents exogènes comme le vent et l'eau, ou par précipitation chimique. Les principaux minéraux qui constituent ces roches sont des évaporites (chlorures, sulfates, borates et nitrates), des carbonates, des phosphates et surtout des argiles, même si d'autres minéraux se rencontrent également tels que le quartz, la calcédoine, l'opale, les feldspaths ou les micas.

Les roches métamorphiques sont formées par la recristallisation (et généralement la déformation) de roches sédimentaires ou magmatiques sous l'effet de hautes pressions et températures ; elles comprennent un grand nombre de minéraux tels que la chlorite, l'épidote, la serpentine, le talc, la wollastonite, etc.

Les géomatériaux, dont les propriétés chimiques, physiques et mécaniques sont variées, ont été exploités très tôt par l'Homme. Certaines actions anthropiques n'ont aucune incidence sur la composition ou les propriétés intrinsèques du matériau originel comme c'est le cas pour les opérations de taille ou de polissage notamment du silex, de l'obsidienne, des pierres précieuses, etc. D'autres actions, et en particulier les traitements thermiques, ont modifié la nature du matériau (cas des céramiques, des verres et des alliages métalliques).

Les chaînes opératoires conduisant d'un matériau brut à un objet fini sont plus ou moins complexes ; elles peuvent ne reposer que sur des transformations mécaniques d'un matériau ou comporter plusieurs opérations de transformation d'un ou plusieurs matériaux auxquelles succèdent les étapes de fabrication d'un objet, d'une arme ou d'un ustensile. Citons par exemple la fabrication de la pâte à base d'argile, d'eau et éventuellement de dégraissants qui permet la réalisation de poteries ; la fabrication du verre puis sa transformation en divers objets ou encore la réduction des minerais métalliques suivie de leur fonte ou de leur mise en forme pour réaliser l'objet désiré. Dans le cas d'objets composites, on passe d'une source de matière première à une matière utilisable, à sa mise en forme éventuelle et à son association avec d'autres matériaux pour la réalisation d'outils, d'armes de jet, de peintures ou de sculptures.

Suivant une classification en deux catégories de matériaux non transformés chimiquement (appelés ci-dessous matériaux bruts) et de matériaux transformés chimiquement, nous décrivons ci-dessous les géomatériaux les plus fréquemment rencontrés en contexte patrimonial. La partition des géomatériaux du patrimoine culturel au sein de ces deux groupes n'est cependant pas absolue et certains matériaux, bien que majoritairement transformés par actions mécaniques, peuvent aussi avoir subi une modification de leur composition par un traitement thermique plus ou moins intense. Certaines populations, et ce dès le Paléolithique supérieur puis pendant le Néolithique,

ont par exemple chauffé des roches siliceuses comme le silex pour améliorer leurs qualités. De même, les pigments minéraux peuvent avoir été utilisés après simple broyage et mélange avec un liant mais certains résultent de transformations thermiques plus ou moins intenses.

3.1 Les géomatériaux utilisés « bruts [1] »

Les géomatériaux utilisés bruts, *i.e.* sans transformation du matériau lui-même, n'ont subi aucune modification de leur composition chimique élémentaire, minérale ou de leurs propriétés physiques. Un ensemble d'actions mécaniques (taille, polissage, martelage, broyage, etc.) sont mises en œuvre afin de leur conférer une forme ou un état (poudre par exemple) propre à leur utilisation.

Dès l'aube de l'humanité, des roches ont ainsi été taillées pour obtenir divers outils. Si le matériau emblématique de la Préhistoire demeure le silex, roche sédimentaire siliceuse, d'autres géomatériaux ont également été taillés. Il s'agit le plus souvent de roches assez homogènes et volcaniques (basalte, rhyolite par exemple). L'obsidienne, roche volcanique siliceuse, est un verre naturel qui a également été taillé aussi bien sur le continent américain dès l'époque précolombienne, qu'en Europe à partir du Néolithique, voire au Paléolithique dans les régions où cette roche est abondante (Arménie par exemple). Elle a été utilisée pour la fabrication de pointes de flèche, de lames et d'outils, mais aussi de perles et de divers ornements et œuvres d'art ou objets sacrés. En Syrie, un nucléus en obsidienne a même été évidé pour le réutiliser comme vase. Au XVII^{e} siècle, deux dalles polies d'obsidienne du Mexique ont été utilisées comme support de deux tableaux peints par B. E. Murillo (*Le Christ au Jardin des Oliviers* et *Le Christ à la Colonne*, musée du Louvre, Paris).

Certaines de ces roches ont fait l'objet de réseaux d'acquisition sur des distances plus ou moins importantes s'intensifiant et se complexifiant dès le début du Paléolithique supérieur.

Les roches ont également été exploitées dans le domaine de la statuaire. Tendres ou dures, les plus répandues dans ce domaine sont : la stéatite aussi appelée pierre ollaire ou pierre à savon, roche magmatique métamorphique majoritairement composée de talc, qui a aussi été employée pour réaliser des objets de parure et d'ornement ainsi que des sceaux ; le marbre, roche métamorphique dérivant de calcaires ou de dolomies ; le granite, la diorite et le basalte, roches magmatiques, plutoniques pour les deux premières et volcanique pour la dernière ; l'albâtre, un type de gypse très finement cristallisé, présent dans certaines roches sédimentaires.

Les géomatériaux sont aussi très présents dans le domaine de la construction ou l'aménagement du territoire. Outre les pierres citées ci-dessus, sont utilisés les schistes, roches sédimentaires parfois métamorphiques, en particulier pour les toitures ; les grès, roches sédimentaires de type siliceux ou calcaire, pour l'empierrement ou le pavage des routes.

Certains géomatériaux, en raison de leur esthétique particulière, sont considérées comme des pierres précieuses ou semi-précieuses ; utilisées comme gemmes ornemen-

1. Au sens de non transformés chimiquement.

tales, éléments de bijoux ou d'objets d'art, elles présentent une grande variété chimique et polychrome. Ces pierres sont des roches métamorphiques (lapis-lazuli par exemple) ; elles peuvent être constituées de carbonates (malachite), de variétés de quartz (améthyste), de calcédoine (cornaline, onyx), de béryl (émeraude, aigue-marine), de corindons (rubis, saphirs), de jade (de type néphrite ou jadéite) ou encore de formes métastables du carbone (diamants).

D'autres géomatériaux ont été repérés pour leur pouvoir colorant (pigments), au moins dès le début du Paléolithique moyen. Les espèces naturelles minérales sont des ocres (argiles riches en oxydes ou hydroxydes de fer), des oxydes de fer et de manganèse, des carbonates (calcite, malachite, azurite) et des sulfures (galène à base de plomb, cinabre à base de mercure, orpiment à base d'arsenic, etc.). Il faut également noter les matériaux du dessin, dont les schistes rouges et noires, la sanguine (oxyde de fer), la craie, le crayon (graphite ou plomb).

Enfin certains métaux, tels que le cuivre et l'or, sont trouvés libres dans la nature. Ces métaux natifs peuvent être utilisés sans être affinés ni alliés, et travaillés par simple perçage et martelage. Il s'agit des plus anciens métaux exploités par d'Homme dès la période néolithique (nécropole de Varna par exemple en Bulgarie, remontant au V^{e} millénaire avant notre ère [54, 55]).

3.2 Les géomatériaux utilisés après transformation physico-chimique

Les matériaux transformés, dont les propriétés peuvent être plus ou moins contrôlées pendant la fabrication, passent par des chaînes opératoires souvent complexes intégrant des étapes de chauffe qui peuvent atteindre de hautes températures. Même si d'autres matériaux ont été traités thermiquement au cours du temps, tels le silex comme nous l'avons déjà mentionné, nous avons focalisé cette partie sur les principaux matériaux issus des arts du feu que sont la céramique [56], les verres synthétiques et les métaux [7], tout en abordant deux autres catégories de vestiges (matériaux du bâti et pigments).

La céramique, matériau plastique et modelable, est fabriquée à partir d'un mélange d'argile et d'eau. Elle permet la réalisation d'un large éventail d'objets domestiques ou ornementaux. Un dégraissant est généralement ajouté au mélange pour améliorer la plasticité. Cela permet de faciliter la mise en forme et d'optimiser la résistance thermique et mécanique du matériau. Le risque de formation de fissures pendant la cuisson s'en trouve réduit, ce qui augmente la résistance aux chocs thermiques de la poterie. Dans certains cas, l'argile employée contient naturellement son propre dégraissant. Les dégraissants ajoutés font appel à des gammes diversifiées de matériaux : substances d'origine biologique issues du règne végétal (paille, balles de céréales, etc.) ou animal (crin, excréments, os pilés calcinés, etc.) ; géomatériaux minéraux tels que calcaires, quartz, micas ou encore céramiques concassées (chamotte).

Certaines céramiques sont soumises à des procédés spécifiques. Citons par exemple les terres sigillées réalisées à base d'argiles fines recouvertes d'un revêtement vitrifié, l'engobe, généralement de couleur rougeâtre. Les céramiques glaçurées, quant à elles, sont recouvertes d'une fine couche d'un matériau vitreux contenant des pigments

minéraux, dont la formation résulte de plusieurs cuissons à des températures plus ou moins élevées.

Le verre est un matériau amorphe obtenu par mélange des composants suivants : un vitrifiant (principalement la silice) ; un fondant qui permet d'abaisser la température de fusion ; des stabilisants dont le but est de diminuer la solubilité du verre ; des opacifiants, décolorants et colorants. Il est possible d'établir des « familles » de verre selon la composition en éléments majeurs – sodiques, calciques, calco-sodiques, potassiques, calco-potassiques... – qui confèrent aux verres des propriétés différentes.

Certains produits utilisés sont de bons indicateurs géochronologiques. Par exemple, au Moyen Âge, les cendres végétales viennent remplacer le natron, carbonate de sodium naturel, utilisé dans l'Antiquité comme fondant.

Dans la classe des matériaux vitreux, citons encore l'émail, très utilisé dans les décors en orfèvrerie et pour divers objets d'art et religieux. Sa fabrication est proche de la glaçure des céramiques : une poudre vitreuse à laquelle on ajoute des colorants minéraux (oxydes métalliques) est soumise à une cuisson à haute température sur un support typiquement métallique.

Les métaux passent par des chaînes opératoires thermomécaniques complexes qui laissent d'importants vestiges sur les sites miniers et métallurgiques. Ces chaînes opératoires comprennent des étapes d'extraction du minerai, de réduction de ce dernier afin d'obtenir le métal, puis l'affinage du métal. Différents métaux peuvent ensuite être ajoutés pour produire un alliage. On distingue essentiellement trois groupes de métaux :

- les métaux précieux – or, argent et leurs alliages [2], ainsi que le platine ;
- le cuivre et les alliages à base de cuivre, principalement le laiton (cuivre allié au zinc), et le bronze [3] (cuivre allié à l'étain) ; l'ajout d'autres métaux dont le plomb est à noter ; dans le cas de la fonderie, par exemple, cela permet d'abaisser le point de fusion de l'alliage et d'augmenter sa fluidité ;
- les ferreux.

En ce qui concerne les matériaux du bâti, outre les terres cuites ornementales et la brique, les principaux géomatériaux exploités sont les enduits et les mortiers. Les enduits sont essentiellement à base de chaux [57], obtenue par calcination de calcaires, et le plâtre, produit à partir de gypse chauffé et broyé, auxquels on ajoute un liant qui peut être de l'eau pour obtenir un produit de plasticité variable. Le mortier est réalisé à partir de mélanges de sable et d'argile, auxquels on ajoute parfois de la chaux et des charges, ainsi qu'un liant.

2. Ce que l'on désigne par « or » est en fait un alliage d'or, d'argent et de cuivre dont les concentrations de chacun de ces derniers métaux sont choisies en fonction de la couleur et des propriétés, en particulier mécaniques, recherchées par l'artisan. Ce que l'on désigne par « argent » est également un alliage, en général d'argent et de cuivre. En orfèvrerie, les alliages modernes sont de 18 carats pour l'or (75 % d'or et 25 % de teneurs variables des autres métaux) et de 925 millièmes pour l'argent (92,5 % d'argent et 7,5 % d'autres métaux).

3. Remarquons que la quantité d'étain ajouté peut beaucoup modifier les propriétés de l'alliage, et en particulier la dureté, importante pour la fabrication d'armes et d'outils. Il est également possible de modifier la couleur de l'alliage (orfèvrerie et monnaie) et de contrôler ses propriétés sonores (cloches).

Les pigments de synthèse sont obtenus par mélange de matières minérales et organiques ; ils résultent le plus souvent de chaînes opératoires complexes. Outre les pigments chauffés de la Préhistoire (goethite jaune transformée en hématite rouge), les premiers pigments synthétisés, obtenus à partir de silicates, sont le bleu égyptien (III^{e} millénaire avant J.-C.), puis le vert égyptien, de teinte turquoise. D'autres couleurs, dont les rouges, que l'on peut trouver sous forme naturelle, ont également été synthétisées. À titre d'exemple, le minium, pigment rouge orangé, est obtenu par oxydation du plomb ou par transformation du blanc de plomb (carbonate basique de plomb).

3.3 Conséquences des transformations subies par les géomatériaux

Les matériaux issus de chaînes opératoires thermiques, thermomécaniques et chimiques sont caractérisés par des choix techniques (type de processus, nature des mélanges, etc.) qui dépendent des savoir-faire, des traditions techniques, de l'accès aux sources de matière première et des circuits d'approvisionnement. Les études analytiques permettent d'appréhender les technologies de fabrication et la façon dont les matériaux ont été exploités et produits. Ces études requièrent une connaissance approfondie des chaînes de production.

Les matériaux constitutifs d'un objet fini résultent de différents types de transformations. Certaines étapes vont être enregistrées dans le matériau tout au long de la chaîne opératoire, d'autres vont effacer ou altérer un « signal » originel, induisant une perte d'information dont il faudra tenir compte au moment de l'interprétation des résultats analytiques.

Les matériaux taillés gardent toutes leurs caractéristiques géochimiques, spécifiques aux gisements de matière première, de même qu'une partie des traces d'outils de la chaîne opératoire essentiellement mécanique, tandis que les autres matériaux perdent des informations sur l'origine des matières premières ainsi que sur les différents processus de transformation cumulés et superposés, tout au long des transformations subies, au fur et à mesure des différentes étapes des chaînes opératoires mises en œuvre.

Prenons l'exemple des métaux. Lorsqu'ils sont natifs, ils peuvent être mis en forme par simple martelage et chauffe modérée pour produire, par exemple, une feuille. Pendant ces opérations thermomécaniques, ils perdent peu de leurs caractéristiques géochimiques. Néanmoins, en général, pour produire un objet fini, le métal passe par une phase d'affinage qui a pour but d'éliminer certains éléments chimiques pour purifier le métal ; un alliage est ensuite produit par mélange de différents métaux extraits et affinés séparément. Toutes ces opérations à haute température modifient les caractéristiques chimiques des matériaux. À ce stade, des éléments chimiques caractéristiques des gisements géologiques exploités pour les matières premières sont perdus, comme s'ils avaient été « effacés » de la structure cristalline.

Ensuite, l'alliage est mis en forme par martelage ou fonte, les parties produites sont décorées, finies et assemblées, avec ou sans traitement thermique : par exemple assemblage par soudure dans le premier cas et décoration par gravure et ciselure dans le second cas. Ainsi, les traces de martelage sur la surface d'une feuille métallique peuvent être partiellement masquées par les traces d'une opération de finition par po-

lissage, qui transforme la morphologie de la surface et superpose des marques d'outils. Seule une radiographie, permettant de s'affranchir de la morphologie des premières couches de matière, est alors à même de révéler les traces de martelage imprimées dans la structure de la feuille métallique.

4 Des biomatériaux composites et diversifiés

Les archéomatériaux issus du biologique sont d'origine végétale ou animale. Ils comprennent également les restes humains. Contrairement à une idée couramment répandue, ils ne sont pas tous de nature organique. Certains ont effectivement une composition exclusivement organique (cas des grains de pollen, de certains restes alimentaires, des matières adhésives, etc.) ; d'autres sont inorganiques (phytolithes, coquilles de mollusques) et une troisième catégorie est constituée de phases organiques et minérales (ossements [20, 58]).

Ces bioarchéomatériaux se répartissent en deux gammes de vestiges [59] selon qu'ils possèdent une morphologie spécifique (encart 2.1) ou qu'ils ne présentent aucune morphologie susceptible d'en permettre l'identification à quelque échelle que ce soit (cas des matériaux organiques amorphes, figure 2.5). Cette distinction est essentielle car elle oriente directement les méthodologies d'étude des biorestes et contribue à structurer les recherches en sous-disciplines complémentaires. Ainsi, les restes à morphologie conservée seront étudiés par des méthodes naturalistes développées en archéologie environnementale, notamment en archéozoologie ou en archéobotanique [51]. Ces méthodes sont fondées sur la reconnaissance visuelle des restes dont la forme, déterminée génétiquement, permet d'en identifier l'origine spécifique. Les matériaux organiques amorphes, quant à eux, ne peuvent être identifiés que par la mise en œuvre de méthodes physico-chimiques [60]. La frontière entre ces deux types d'approche n'est bien évidemment pas étanche : des restes à morphologie conservée, après avoir été étudiés par les méthodes naturalistes, peuvent faire l'objet d'analyses physico-chimiques lorsque des données moléculaires, élémentaires, isotopiques ou structurales peuvent éclairer certains aspects des sociétés du passé (comportements alimentaires, phénomènes de migration), contribuer à l'établissement de cadres chronologiques fiables, ou encore permettre la compréhension des processus de diagenèse ou d'altération [61] ; l'os, est, de ce point de vue, un matériau qui présente un très fort potentiel informatif [20] (encart 2.2).

Les *matériaux organiques amorphes*, quant à eux, sont issus de matière « molle », soit parce que c'était leur état initial (lait, résine, cire d'abeille, etc.), soit parce que leur transformation a conduit à cet état (écorce ou bois transformé en goudron végétal sous l'effet d'un traitement thermique). Sur les sites archéologiques et en particulier pour les périodes préhistoriques, ils correspondent majoritairement à trois catégories de vestiges (figure 2.6) :

- des résidus adhérant à des outils lithiques ou osseux : le plus souvent, il s'agit de résidus d'emmanchement mais la tracéologie* révèle aussi parfois des résidus liés à l'utilisation des outils ;

- des résidus adhérant à des récipients en céramique ou imprégnés dans leurs parois poreuses qui peuvent témoigner soit du contenu des pots

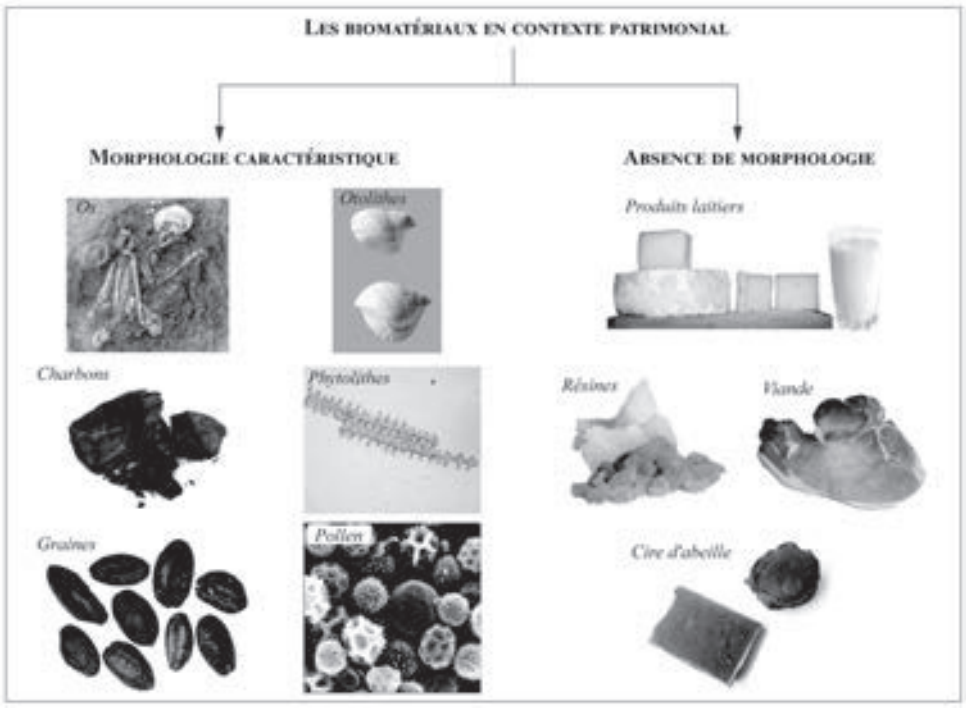


FIGURE 2.5 – Les deux grandes catégories de biomatériaux selon qu'ils possèdent ou non une morphologie caractéristique permettant leur identification. Squelette © P. Chambon, ArScAn, CNRS. Phytolithe © E. Messager, CEPAM, CNRS, UNS. Otolithes © N. Desse, CEPAM, CNRS, UNS (d'après Desse et Desse-Berset, 2005). © L. Bouby, ISEM, CNRS. Autres sources de figures dans le domaine public : `https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Schweinekotelett.jpg?uselang=fr~` ; `https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Beeswax_blocks.JPG?uselang=fr` (pour la cire d'abeille ; auteur de la photo : Mauro Cateb) ; `https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Milk_glass.jpg` (pour le verre de lait ; auteur de la photo : Stefan Kühn - Own work. Licensed under CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons) ; `https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fromage-levejac.jpg?uselang=fr` (pour les fromages ; auteur de la photo : GAEC le Lévéjac.

(vestiges alimentaires, colorants, adhésifs, préparations pharmacologiques, etc.) soit des dernières phases de leur fabrication (finition par enduction à chaud, décor) ou encore de leur réparation ;

- des fragments de matière organique dans le sédiment : adhésifs, cires et résines, fragments de pains et galettes, etc.

Les substances organiques ont aussi servi à imperméabiliser divers objets et matériaux, qu'il s'agisse de calfater des bateaux ou de rendre étanches des paniers en osier. Certaines d'entre elles ont pu servir de support d'écriture : la cire d'abeille, mélangée à des pigments, a ainsi été employée pour enduire des tablettes en bois sur lesquelles on pouvait écrire avec un stylet métallique, dès la protohistoire, puis tout au long de l'Antiquité romaine.

Plus rarement, certains matériaux organiques, en particulier d'origine fossile, ont été façonnés pour donner naissance à des sculptures, des objets ou être intégrés dans des



Figure 2.6 – Les différents types de matériaux organiques amorphes pour la Préhistoire (de gauche à droite et de haut en bas) : résidu de réparation de céramique ; encroûtement carbonisé à la surface d'une céramique ; résidu d'emmanchement d'une point de sagaie en matière dure animale ; résidu d'emmanchement sur une pointe de flèche en silex ; résidu libre dans le sédiment.

bijoux : c'est le cas de l'ambre et du bitume, voire du copal* ; les cires, de nature végétale (cire du Japon*, de Carnauba* ou de Candelilla*), animale (cire d'abeille, spermaceti*) ou fossile (paraffine*, ozokérite*), ont également été utilisées. Ces matériaux plastiques, auxquels ont pu être mélangés des adjuvants (charges, pigments) ont en effet été modelés et ont servi dans la réalisation d'objets décoratifs ou cultuels, depuis les masques funéraires antiques jusqu'aux sculptures modernes.

Dans le domaine de l'artisanat et de l'art, les substances organiques d'origine végétale ou animale ont connu des utilisations très variées. Les colorants (indigo, pourpre) entraient dans la composition des teintures décorant étoffes et textiles ; ils étaient également utilisés par de nombreux artistes pour la réalisation de différentes œuvres d'art (portraits funéraires du Fayoum, peintures de chevalet, etc.). Dans les peintures, les liants (huiles, œuf, cire d'abeille, gommes, etc.) étaient intégrés dans les préparations picturales tandis que les vernis, notamment à base de résines naturelles, permettaient de protéger la surface des œuvres. Les propriétés adhésives des substances naturelles organiques ont été largement exploitées pour l'assemblage de divers matériaux (bois, métal, pierre, etc.) issus du mobilier, de constructions et d'objets divers et variés. Certains matériaux qui polymérisent forment des réseaux très stables au cours du temps ; ils ont servi à protéger des meubles ou à en décorer leur surface (cas des laques asiatiques).

Enfin, les matériaux organiques naturels ont joué et jouent encore un rôle important dans les procédés de restauration.

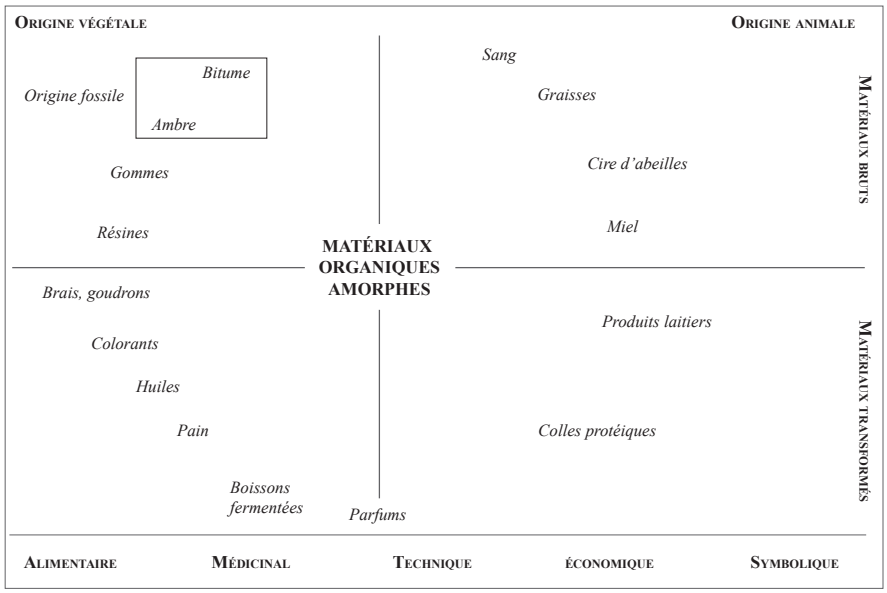


Figure 2.7 – Origine biologique ou fossile des matériaux organiques amorphes de notre patrimoine culturel.

D'un point de vue naturaliste, les matériaux organiques amorphes sont extrêmement diversifiés (figure 2.7). D'origine animale, végétale ou fossile, ils témoignent de l'environnement biologique dans lequel les populations ont évolué et sont à même de nous renseigner sur la gestion du milieu naturel. Certains de ces matériaux ont pu être utilisés bruts, sans transformation préalable, tandis que d'autres résultent de transformations mettant en jeu des traitements thermiques (brais, goudrons), des mélanges, des extractions par pressage (huiles) ou encore des réactions biochimiques (vin, dérivés des produits laitiers).

En ce qui concerne leur nature chimique, les matériaux organiques amorphes sont composés de molécules dont le squelette est constitué de chaînes hydrogéno-carbonées qui peuvent contenir de l'oxygène et de l'azote (protéines). Ils contiennent donc quatre éléments principaux : le carbone, l'hydrogène, l'oxygène et l'azote.

Leurs caractéristiques chimiques représentent un réel défi pour leur caractérisation : souvent conservés en faible quantité, leur aspect ne fournit que peu d'information sur leur nature. Leur composition est donc inconnue. De plus, ils font souvent partie de matériaux composites et hétérogènes (lipides imprégnés dans la paroi poreuse de récipients en céramique, liant des peintures, etc.) et de ce fait leur concentration dans la matrice qui les englobe n'est pas connue. Constitués de mélanges moléculaires complexes, ils sont susceptibles de contenir des composés appartenant à un grand nombre de familles chimiques (lipides, protéines, polysaccharides, polyphénols, ADN, etc.) ;

certains de ces constituants sont polymérisés. Les matériaux organiques amorphes contiennent donc des mélanges de composés présentant des propriétés très différentes en termes de poids moléculaire, de polarité et de volatilité. Résultant de transformations anthropiques plus ou moins complexes (traitements thermiques, chimiques, biochimiques, etc.), leur composition initiale a été modifiée par ces traitements.

Enfin, du fait de leur nature organique, ils sont particulièrement vulnérables aux processus naturels d'altération et ce sont les restes souvent les moins bien conservés en contexte sédimentaire. Ils ont donc nécessairement été altérés au cours du temps par différents processus en fonction de leur contexte de conservation (bioaltération, hydrolyse, oxydation, polymérisation, etc.). Trois grands contextes favorisent néanmoins leur conservation : les milieux humides et anaérobies (sites lacustres, fluviatils ou marins), les environnements chauds et secs (que l'on pense aux tombes égyptiennes par exemple), les sites gelés (voir par exemple le corps d'Ötzi, les mammouths sibériens ou encore les tombes Scythes en Mongolie).

5 Les polymères de synthèse dans le patrimoine culturel

À partir du XIX^{e} siècle, l'industrie chimique a été à l'origine de l'invention et de la fabrication de nouvelles substances qui ont rapidement été exploitées dans différents domaines. De nombreux artistes se sont emparés de ces polymères synthétiques présentant des propriétés intéressantes pour réaliser des vernis ou pour élaborer des sculptures. Les restaurateurs ont aussi utilisé ces matériaux pour consolider certains objets de collections muséales ou particulières.

Ainsi, ces matériaux synthétiques sont importants pour la création artistique, en conservation-restauration pour la consolidation de matériaux poreux et la protection et le revêtement de surfaces fragiles, dans le domaine de la muséographie ainsi que pour réaliser des moulages ou obtenir l'empreinte de certaines surfaces.

D'un point de vue chimique, les polymères synthétiques sont des macromolécules constituées de la répétition d'un même motif chimique, appelé monomère. En fonction des monomères impliqués, de leurs propriétés physico-chimiques et des caractéristiques du polymère lui-même (masse molaire notamment), ces matériaux sont classés en différentes catégories. À titre d'exemple, polyoléfines, polymères vinyliques (polyacétate de vinyle PVAc, polychlorure de vinyl PVC par exemple), polyesters, polyamides, polyuréthanes, polymères de la famille des acryliques (polyméthacrylate de méthyle PMMA par exemple) sont différentes classes de polymères que l'on peut retrouver dans notre patrimoine.

L'un des grands problèmes posé par ces matériaux est leur grande sensibilité à certains processus d'altération dépendant de différents paramètres tels que la lumière, l'humidité, la température, ainsi que leur compatibilité, lorsqu'ils sont utilisés dans des produits de restauration, avec les matériaux originels des œuvres. Ainsi, plusieurs laboratoires s'intéressent à leur altération et à la modélisation des mécanismes de dégradation afin de proposer les conditions atmosphériques les plus adaptées à leur conservation et les matériaux les plus stables pour la restauration.

Encart 2.1 - Généralités sur les biorestes à morphologie caractéristique

Les biorestes à morphologie conservée d'origine végétale comprennent les grains de pollen, les graines, les restes ligneux et les phytolithes, sans que cet inventaire soit exhaustif.

Les grains de pollen sont les éléments de reproduction mâle chez les plantes à fleurs. Ils sont formés de plusieurs cellules enfermées dans une enveloppe complexe schématiquement constituée de deux parties : l'intine à base d'un polymère polysaccharidique, la cellulose, et l'exine de nature polyterpénique, qui est le composé organique le plus résistant connu actuellement. Cette constitution chimique confère au pollen une très grande stabilité dans le temps même s'il ne se conserve pas dans tous les environnements (il résiste en particulier mal aux milieux oxydants et aux pH acides). La discipline qui s'intéresse à ces biorestes qui peuvent être étudiés en contexte archéologique ou hors site [4], à partir de prélèvements sédimentaires, est la palynologie. Cette discipline a pour objectif d'appréhender le couvert végétal et les évolutions climatiques au cours du temps mais elle permet aussi, dans certains cas particuliers, d'aborder les pratiques anthropiques grâce à des associations polliniques parfois conservées en contexte archéologique liées à la consommation de produits de la ruche par exemple ou encore témoignant de pratiques funéraires (le pollen est témoin de fleurs dans des tombes).

Les fruits, les graines, noyaux, akènes et pépins, dont l'étude relève de la carpologie, témoignent des différentes modalités d'exploitation des végétaux au cours du temps, que ce soit dans le domaine alimentaire, artisanal ou rituel. Ces carporestes se conservent suivant diverses modalités, essentiellement par carbonisation, minéralisation ou imbibition. Dans certains cas, leur empreinte a été enregistrée sur divers supports, dans l'argile par exemple. L'étude des carporestes permet de reconstituer les économies végétales du passé, qu'elles relèvent de la cueillette ou de l'agriculture.

Les restes ligneux comprennent le bois et ses produits dérivés tels que les charbons. Rarement conservé, le bois se retrouve principalement dans des contextes humides ou chauds et secs. Il est majoritairement constitué de lignine et de cellulose. Son étude relève de la xylologie qui s'intéresse au bois en tant que matériau et à ses propriétés, de la dendrologie qui étudie les arbres en tant que tels et les autres végétaux ligneux ou encore de la dendrochronologie qui exploite les cernes annuels des arbres comme support de datation. Les restes ligneux les plus fréquemment conservés au cours du temps sont néanmoins les charbons de bois qui résultent d'un processus de carbonisation responsable de leur bonne conservation. Les charbons de bois sont étudiés par les anthracologues afin de reconstituer les modalités d'exploitation des ressources ligneuses et d'appréhender les formations végétales au sein desquelles les bois ont été récoltés.

4. La dénomination « hors site » désigne des zones d'études situées hors des sites archéologiques au sein desquelles les accumulations sédimentaires et les restes botaniques qu'elles contiennent témoignent des environnements du passé et des relations hommes-milieux.

Les phytolithes sont des particules microscopiques (5 à 500 microns) produites par certains végétaux par précipitation d'opale (cristaux de silice) entre les cellules des plantes à partir de silicates libres se trouvant dans le sol, absorbés par les plantes *via* leurs racines. Particulièrement abondants dans certains groupes végétaux tels que les graminées (dont font partie les céréales) et dans certaines parties des plantes (feuilles, tiges), ils ont hérité de la morphologie des cellules des plantes dans lesquelles ils se sont formés, ce qui leur confère une certaine valeur taxinomique. Conservés en contexte sédimentaire, ils sont le plus souvent étudiés hors site et ils témoignent d'une partie de l'environnement végétal au sein duquel les populations ont évolué.

Les ossements sont les restes les mieux conservés des populations animales et humaines. Matériaux composites par excellence, ils comprennent une fraction organique et une fraction minérale. Dans certaines conditions environnementales cependant, l'ensemble d'un organisme peut être conservé ; c'est le cas par exemple dans des tourbes, dans des environnements gelés, ou, au contraire, chauds et secs. Les procédés artificiels de traitement des corps (momification, procédés taxidermistes) conduisent également à leur conservation sur de longues durées.

Outre les ossements, d'autres matériaux issus du règne animal sont susceptibles de se conserver. Les otolithes, concrétions minérales à base de carbonate de calcium situées dans l'oreille interne des vertébrés, sont par exemple étudiés par les ichtyologues (spécialistes des poissons) qui s'intéressent aux poissons osseux. Les coquilles des mollusques étudiées en malacologie sont également des indicateurs intéressants des comportements humains et des relations hommes-milieux. Enfin, certains parasites étudiés en paléoparasitologie sont riches d'informations sur les maladies et les environnements dans lesquels les sociétés ont évolué.

Encart 2.2 - Les ossements animaux et humains – une fabuleuse mine d'informations sur les modes de vie des populations du passé

Parmi les vestiges retrouvés en contexte archéologique, les ossements représentent une classe particulièrement importante pour trois principales raisons. Tout d'abord, dès les débuts de l'humanité, les ossements animaux retrouvés sur les sites archéologiques témoignent de l'exploitation des ressources animales à des fins alimentaires et ce, tout au long de l'évolution humaine ; ensuite, dès 1,7 million d'années, les ossements animaux ont pu être utilisés par l'Homme comme outils. Certes rudimentaires au début, ces outils ne cesseront de se perfectionner et de se spécialiser au cours du temps jusqu'à aboutir à de véritables œuvres d'art ; enfin, les ossements humains sont bien souvent les seuls vestiges directs de la biologie des populations anciennes et leur étude permet d'appréhender l'âge, le sexe, l'état sanitaire et le régime alimentaire.

De plus, en raison de sa constitution chimique composite, à la fois minérale et organique, l'os est un biomatériau susceptible de se conserver pendant des millions d'années sous l'effet de divers processus de fossilisation. S'il est particulièrement sensible aux milieux acides, au point de pouvoir être complètement dégradé et de disparaître, il se conserve bien dans de nombreux autres environnements et c'est l'un des rares matériaux biologiques à traverser le temps sur de si longues périodes. Les ossements représentent donc des témoins privilégiés des modes de vie des populations du passé dès l'apparition des premiers hominidés ; ce sont aussi des supports privilégiés de datation.

Pour une approche complète sur les ossements archéologiques, le lecteur peut se référer à l'ouvrage *Messages d'os* dans cette même collection [20].

Présentation des matériaux osseux[5]

Bien que souvent considéré en archéologie comme un matériau organique, l'os est majoritairement constitué d'une fraction minérale (figure 2.8). La phase minérale, qui est une hydroxylapatite carbonatée, constitue 60 à 70 % du poids sec de l'os et environ la moitié de son volume. L'autre moitié du volume, soit 20 à 30 % du poids sec, correspond à la fraction organique nommée osséine ; elle est majoritairement constituée de collagène, protéine de l'os, mais contient également des protéines phosphorées non collagéniques et des lipides. Les phases minérale et organique sont étroitement imbriquées l'une dans l'autre. Ces proportions sont valables pour l'os à proprement parler mais aussi pour l'ivoire. En revanche, les bois de cervidés présentent une composition chimique très proche de l'os mais leur structure est légèrement différente. En particulier, ils sont moins minéralisés (55 % en poids sec), ce qui explique leur plus grande flexibilité. Le tissu osseux sert de stockage à plusieurs éléments chimiques, au calcium,

5. Nous nous sommes appuyés pour rédiger cet encart sur la thèse de doctorat d'Ina Reiche, ouvrage à consulter pour s'initier au matériau osseux et à son potentiel informatif pour le patrimoine culturel [58]. Voir aussi [20].

bien évidemment, mais également à d'autres constituants tels que le strontium, dont les isotopes peuvent être des traceurs de phénomènes de mobilité des populations tant humaines qu'animales.

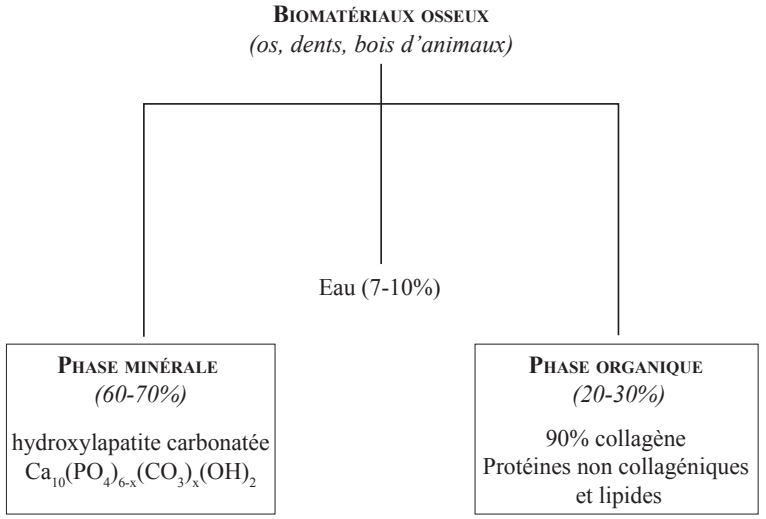


FIGURE 2.8 – Composition des ossements.

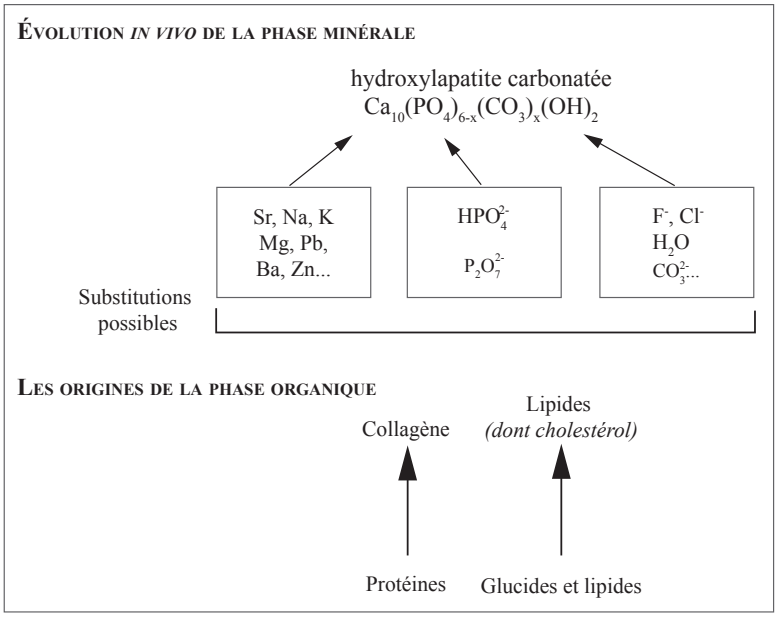


FIGURE 2.9 – Évolution *in vivo* de la phase minérale et origines de la phase organique de l'os.

Tout au long de la vie d'un individu, la matrice osseuse demeure vivante : elle est en perpétuel renouvellement, ce qui lui permet vraisemblablement de conserver ses propriétés biomécaniques. Ce phénomène est contrôlé par des facteurs génétiques mais aussi métaboliques (apports en calcium, phosphore, vitamines, etc.). De ce fait, les conditions de vie et en particulier l'alimentation ont une influence importante sur la composition de l'os puisque certains éléments seront incorporés à la matrice osseuse du vivant d'un individu (figure 2.9). Ainsi, en fonction du régime alimentaire d'un individu, mais aussi du substrat sur lequel il a vécu, un certain nombre d'indicateurs permettent de le replacer dans sa chaîne trophique ($^{15}N/^{14}N$, certains éléments-traces tels que le zinc), de déterminer la gamme de plantes ingérées, de préciser si ce sont des ressources marines ou terrestres qui ont été consommées ($^{13}C/^{12}C$) ou encore de tracer des phénomènes de mobilité (rapport isotopique du strontium).

Potentiel informatif des matériaux osseux

Les matériaux osseux sont sources d'informations dans un grand nombre de domaines, tels que la technologie osseuse, la datation, les régimes alimentaires des populations humaines, les migrations tant des espèces animales que des êtres humains, la biologie des populations et leur phylogénie. Afin d'optimiser l'exploitation du potentiel informatif des ossements, ce sont bien souvent des savoirs issus de différentes disciplines qui sont mobilisés : anthropologie biologique, archéozoologie, paléontologie, paléogénétique, paléopathologie, géochimie organique et inorganique, taphonomie, technologie et tracéologie sont ainsi les différents domaines qui s'intéressent aux matériaux osseux avec des angles d'approche différents et complémentaires.

Seules sont évoquées ici les applications dans le champ de la datation et de la géochimie qui concernent plus particulièrement cet ouvrage. Plusieurs méthodes de datation peuvent être mises en œuvre sur les matériaux osseux. La décroissance du radiocarbone et la racémisation des acides aminés permettent de dater la phase organique tandis que la résonnance paramagnétique électronique et les déséquilibres des chaînes de l'uranium sont adaptés à la datation de la fraction minérale. Le choix de la méthode à utiliser dépend de l'état de conservation de l'ossement et de la plage chronologique du niveau à dater.

Régimes alimentaires et migrations des populations sont abordés par la combinaison des données sur les isotopes de certains éléments et sur la teneur en certains éléments-traces. Les isotopes stables du carbone (^{13}C et ^{12}C) et de l'azote (^{15}N et ^{14}N), notamment, sont utilisés pour reconstituer les régimes alimentaires tandis que les isotopes du strontium (^{86}Sr et ^{87}Sr) permettent d'aborder les phénomènes de migration ; plus récemment les isotopes du soufre (^{32}S et ^{34}S) ont été utilisés pour obtenir des informations sur les régimes alimentaires, et, surtout, pour appréhender des phénomènes de mobilité de populations.