**Introduction à l’archéométrie Le Bourdonnec François Xavier**

L’archéométrie est la mesure des choses anciennes

C’est la contribution à la connaissance du passé de l’homme

On accède à la trame chronologique des évènements

On identifie les matériaux constitutifs de notre patrimoine matériel

Pourquoi caractériser la matière ?

Pour connaitre l’histoire de l’homme du passé

- Date de réalisation des objets anciens

- Technique de fabrication et leur évolution

- Statut et fonctions des œuvres d’art

Pour conserver, restaurer les objets du patrimoine

- Comprendre les processus physicochimiques d’altération

- Proposer des protocoles de sauvegarde

Pour authentifier une œuvre d’art, expertiser (enjeu important dans le marché de l’art)

Principales questions sur les œuvres d’art et les objets archéologiques :

- En quoi est-il fait ? La nature des matériaux

- Comment a-t-il été réalisé ?

- D’où viennent les matières premières ? Origine des matériaux et provenance

- Quel âge a-t-il ?

Au-delà de la typologie, du style, de la technologie, l’archéométrie peut donner des données rationnelles

Quelle méthode pour des os, des pigments de tableau… ?

- Est-il altéré ? Ex : couleur originelle ?

- Est-il authentique ? Enjeu important

Discipline transdisciplinaire, participent ensemble à un même projet

Physique, chimique pas ambivalents par rapport à l’histoire de l’art

Ex : radiographie indispensable à l’étude d’un tableau

Où aller chercher l’information ?

La « première » revue de notre discipline

-> Archaeometry (site internet en anglais, téléchargement possible de l’intégralité de la collection, être rédigé par Babord+)

-> Journal of archaeological science

= Les deux plus grandes revues internationales

-> France : Revue d’Archéométrie (1877) -> archéo sciences

Télécharger en passant par revue.org

-> revue spécialisée en histoire de l’art : Technè, directement connectée à cette question sur les œuvres d’art

Numéro sur la conservation des œuvres d’art en plastique -> fausse idée qu’il résisterait au temps

Polymère = matière organique qui n’aime pas beaucoup l’eau, la lumière

Obsidienne triplement intéressante :

- Matériau utilisé par les hommes préhistoriques

Intéressant pour les historiens, pour l’archéologue, pour celui qui travaille sur les sociétés du passé

On peut la trouvée à des centaines voir à des milliers de kilomètres de son emplacement initial à l’instar de la route de la soie

La matière a une signature particulière, une empreinte digitale

Il y a une composition particulière pour chaque source d’obsidienne donc on est capable de le rattacher à sa source

Un matériau quasi idéal pour les archéomètres = verre naturel produit par des volcans de roche magmatique, volcanique, que l’on peut tailler

Elle peut être noire, rouge, orangée, marron, vert, parfois de petits cristaux/férules

Figure de cristallisation dans les gros blocs d’obsidienne

Coulée de verre : Nord de la Sicile, Etats Unis Glace Mountain mais rare dans l’ensemble

On trouve toujours en même temps l’obsidienne avec la riolite

Quelles obsidiennes caractérisées ?

P-XFR Obsidienne et archéométrie

Matériau utilisé par les hommes préhistorique (pointe de flèche, racloir…)

Signature particulière selon gisement

Au néolithique en Lycie, tous les objets taillés que l’on va trouver ne pourront provenir que de 4 sources potentielles que l’on va retrouver dans tout le bassin méditerranéen

Lipari : composition très homogène mais probablement à la fin de l’empire romain coulée plus récente au-dessus

Palmarola : plus petite île de l’archipel des Pontines, inhabitée

Monte Arci : massif montagneux en Sardaigne, plusieurs types d’obsidienne à différents endroits

Palmelleria

Plusieurs types d’obsidiennes à plusieurs endroits -> ça se complexifie, en plusieurs coulées exposées aux conditions météoriques, à l’érosion

Niveau de dégradation peut s’étendre à la plaine

Sites archéologiques au pied du massif pas besoin de monter dans la montagne dans le processus d’acquisition de la matière, on arrive à savoir si la matière a été ramasser au pied ou à la source

-> étude de l’opportunisme

Portable energy-dispersive x-ray fluorescence (p-XFR) analyzers

En cas de conditions de sortie drastique, il est intéressant de travailler sur place

Travailler in situ en musée, ou sur le site archéologique où il y a interdiction de sortir la matière, est une méthode qui donne accès à des éléments, des atomes intéressants que l’on sait pouvoir utiliser pour séparer des éléments d’obsidiennes liés à la magmatologie

Ce sont des éléments signatures de l’endroit où la roche est formée

In situ est le résultat de l’analyse rapide mais c’est une méthode qui a des limites malgré tout

Fonctionnement : échauffe la matière au laser, délie les particules puis en refroidissant ces particules émettent leurs informations

Nature et quantité de l’atome -> analyse qualitative et quantitative

Intérêt : strictement non destructive/portable/dosage des éléments traces (en très faible quantité de l’ordre du microgramme/gramme = ppm)

Méthode sensible capable de voir des éléments en très faible concentration

Travailler de manière non invasive est une priorité

Echantillons relativement épais

En préhistoire souvent des microlites (petites pièces que l’on ne peut pas analyser car trop petites)

- Musée de Sartène

Diagramme bivarié (une variable en fonction d’une autre : titan versus zirconium)

-> 4 îles sources, sépare les îles de méditerranée occidentale

Diagramme ternaire

-> obsidiennes discrètes c’est-à-dire apparaissent bien séparées, bien dans le cadre de l’obsidienne de Sardaigne, sépare les types d’une source

**La matière**

La matière est constituée de particules qui interagissent entre elles

L’atome : « atomos » concept grec : indivisible, est constitué d’un noyau et d’un cortège d’électrons

Le noyau est constitué de protons

L’ordre de grandeur de l’atome, c’est l’Angstrom

Un atome est électriquement neutre, constitué de particules chargées positivement et négativement -> s’annulent

Ils gravitent autour d’un noyau

Celui-ci est constitué de protons (positif) et de neutrons (neutres), et d’électrons (négatif)

*Comment va-t-on pouvoir organiser ces atomes ?*

Dans un tableau périodique des éléments : permet d’organiser les atomes

Ils sont classés par numéro atomique croissant

Chaque atome est caractérisé d’abord par un symbole (ex : C pour carbone, Cu pour le cuivre…)

Son nombre de protons est appelé numéro atomique Z et le nombre de neutrons est appelé N

Nombre de protons + nombre de neutrons : nombre total de nucléons appelé nombre de masse A (A+Z=N)

La classification chimique est basée sur le numéro atomique Z tandis que la classification physique est basée sur le nombre de masse A

Les isotopes se différencient seulement par leur nombre de neutrons en gardant le même nombre de protons et d’électrons

Propriété physique des métaux/non métaux :

- Bons conducteurs électriques/mauvais conducteurs

- Ductiles/non ductiles

- Malléable : cassants

- Eclat métallique/mats

- Bons conducteurs de la chaleur mauvais conducteurs

- Typiquement : solides, point de fusion élevé/solides, liquides, gazeux, point de fusion peu élevé

Propriétés chimiques métaux/non métaux :

- Réagissent avec des acides/non

- Forment des oxydes basiques/oxydes acides

- Forment des cations/anions

- Forment de halogénures ioniques/covalents

**Propriétés chimiques de l’atome**

Plusieurs manières pour lier l’atome

La liaison ionique est un type de liaison chimique qui peut être formée par une paire d’atomes possédant une grande différence d’électronégativité, typiquement entre un non-métal et un métal

Le métal donne un ou plusieurs électrons pour former un ion chargé positivement (cation)

Le non métal, lui, capte ces électrons pour former un ion chargé négativement (anion)

La liaison covalente (entre deux non métaux) est une liaison chimique dans laquelle chacun des atomes liés met en commun un électron d’une de ses couches externes afin de former un doublet d’électrons liant les deux atomes

C’est une des forces qui produit l’attraction mutuelle entre atomes

La liaison covalente implique généralement le partage équitable d’une seule paire d’électrons, appelé doublet liant

Chaque atome fournissant un électron la paire d’électron est délocalisée entre les deux atomes

Une liaison covalente est une liaison entre laquelle des deux ?

La liaison métallique est un type de liaison chimique, la liaison qui permet la cohésion des atomes d’un métal

Une liaison métallique concerne un très grand nombre d’atomes (plusieurs millions)

Ces atomes mettent en commun un ou plusieurs électrons, appelés électrons libres, ils sont à l’origine de la conductivité électrique des métaux

Par rapport à la liaison covalente on peut voir les électrons libres comme des électrons délocalisés à toute la pièce métallique

**Propriétés physiques de l’atome**

Deux concepts : atomes stables et instables

Un atome dont le noyau n’est pas stable sont des atomes radioactifs

*Comment comprendre cette instabilité ou stabilité ?*

La force d’interaction nucléaire, attractive, forte, a une portée très courte de l’ordre de grandeur d’un nucléon

Pour l’assemblage et la cohésion du noyau, trois cas sont envisageables :

- Nombre de neutrons et de protons tel que la force nucléaire forte et la répulsion coulombienne se compensent -> stabilité

- Forces excessivement disproportionnées -> instabilité totale

- Situation intermédiaire : déséquilibre entre les deux forces : le noyau existe pendant une durée limitée avant de se désintégrer -> durée de vie

**La radioactivité**

Processus de transformation spontanée des noyaux atomiques instables en noyaux stables par émission de projectiles de haute énergie (particules ou rayonnement gamma)

Alpha, bêta : leur désintégration d’accompagner fréquemment d’émission gamma : photon de grande énergie sans charge, ni masse qui correspondent à un réarrangement des nucléons

On peut essayer de suivre cette radioactivité dans le temps : tracer sur des courbes de décroissance radioactives en physique

T : temps nécessaire pour que la moitié des atomes présents aient disparus et M : activité radioactive : nombre de désintégrations émises par secondes

**Structure**

Deux types de solides : cristallines/amorphes

Ex : atome de silicium

Structure cristallisée : quartz, organisation à grande distance

Les argiles sont faites de structure organisée

Structure amorphe : désorganisée, ordre à courte distance, verre

Dite isotrope : matière même propriété dans toutes les dimensions de l’espace

Signe la nature des atomes présents dans la matière

Ex : le carbone est susceptible de cristalliser sous deux formes différentes

Concept d’espèce minérale

Minéral : entité caractérisée par une composition chimique, une formule (stœchiométrie), par un agencement spécifique d’atomes, par une maille élémentaire (structure)

La maille élémentaire construit tout le cristal

Organisation à long terme d’un édifice cristallin

**Niveau de l’analyse**

On peut aller au-delà de l’analyse microscopique

Investigation chimique est très restrictive : signer la nature de l’atome ne nous renseigne pas sur la nature de la matière

Deuxième niveau d’analyse structurale : organisation des atomes

**Histoire de la lumière**

Selon le phénomène, la lumière est considérée comme une onde ou un photon

Elle impose ses aspects ondulatoires pour certains phénomènes comme les interférences ou la diffraction

C’est la théorie corpusculaire qui l’emporte quand la lumière interagit avec la matière

Il y alors une dualité qui se crée

Aspect corpusculaire : production de photons

La lumière est liée à la réorganisation des électrons du cortège électronique d’un atome

Lorsqu’un atome absorbe de l’énergie, il passe à l’état excité par éjection d’électrons

Son retour à l’état fondamental s’accompagne de la libération d’énergie

L’état excité est instable : un électron descend vers le niveau de basse énergie en libérant de l’énergie sous forme de rayonnement caractéristique de la désexcitation

Ce sont les changements de niveau d’énergie des électrons qui sont à l’origine des émissions de photons

Les ondes sont périodiques

**Les techniques d’imageries**

- Microscopie optique/électronique

- Radiographie X

- Examen sous IR

- Examen sous UV

**L’outil microscope**

Deux grandes classes :

- Microscopes optiques (photoniques) utilisent des faisceaux de radiations électromagnétiques (photons)

-Microscopes électroniques utilisent des faisceaux de radiations corpusculaires (électrons)

- Microscope optique principe et constitution

Lentille qui génère un grossissement

- Microscope polarisant

Principalement utilisé en Pétrographie mais présente aussi d’importantes applications en microbiologie

- Microscope métallographiques

Pour déterminer la (micro)structure du métal

- Microscope à contraste de phase/contraste interférentiel

Très efficace pour l’observation d’objets transparents notamment dans la biologie

- Microscopie par fluorescence

Pour des objets présentant un effet de fluorescence ou phosphorescence notamment en biologie

- Biologie et médecine : étude des tissus, soins au malade, identité des microbes

- Minéralogie, pétrographie, cristallographie et chimie : reconnaissance de caractéristiques cristallines (forme, clivage, macles, couleur)

- Métallographie : alliages

- Mécanique : états de surface

- Métrologie : mesures dimensionnelles sur des étalons de longueur, pointés en profondeur, détermination interférentielle d’épaisseur ou d’indice

- Microscopie électronique

- Microscopie électronique en transmission

- Microscopie électronique à balayage

En transmission, une multitude d’applications :

- Dans les sciences de la vie (virologie, bactériologie)

- Pour les métaux et alliages métalliques : les semi-conducteurs, les céramiques, les composés carbonés de type

- En archéométrie à Saragosse et Bordeaux

A balayage :

A très fort pouvoir grandissant qui focalise et balaye un faisceau d’électrons pour produire des images de la surface d’un échantillon préalablement préparé (surface ou section)

Si l’échantillon n’est pas conducteur, il sera recouvert d’une substance conductrice (carbone, or, argent)

**Radiographie : Radiography of cultural material**

Le rayonnement X donne une vision morphologique d’un objet

On obtient l’image de la structure interne de l’œuvre en fonction de la densité des matériaux utilisés

La technique consiste à faire passer un faisceau de rayon X à travers l’objet et à obtenir sur capteur l’image due aux intensités du rayon X transmis par la matière en fonction de l’absorption sélective du rayonnement

Pour faire apparaître les multiples plans dont se compose l’objet tel une mémoire des étapes successives de son élaboration

Exemple : C2RMF

Œuvre seconde chez Picasso grâce à XRAYS « Buste de femme »

**Imagerie avec d’autres sources de rayonnement**

- Les rayons gamma fournis par sources radioactives sont de très forte énergie et autorisent l’étude de forte épaisseur

- Les électrons fournis par une petite source radioactive sont fortement absorbés mais autorisent l’étude de matériaux de faible densité tel le papier

- Les neutrons thermiques sont plus fortement absorbés par des matériaux organiques que par des matériaux lourds à l’inverse des rayons X et des gammas

Examen par rayons gamma, les deux penseurs

Technique de la lumière directe : technique de la lumière rasante