

Technologie de pointe et matériaux anciens

Comprendre la dégradation des objets anciens pour mieux les conserver, les restaurer. Décrypter leur processus de fabrication, leur composition... Immersion au cœur de la matière avec les synchrotrons.

L'utilisation du rayonnement synchrotron pour l'étude des matériaux anciens issus des domaines de l'archéologie, de la paléontologie, ou du patrimoine culturel connaît une forte croissance depuis une vingtaine d'années. Ce développement tient, d'une part, à l'augmentation du nombre d'infrastructures de recherche et au développement continu des méthodes d'analyse. D'autre part, les synchrotrons permettent de recourir à des procédés d'analyse adaptés aux questions, aussi spécifiques que diverses, liées aux matériaux anciens.

Les matériaux anciens ont en commun leur hétérogénéité, à une échelle allant du centimètre au nanomètre (1 nanomètre = $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$). Cette hétérogénéité est due à la variété des composés et des procédés utilisés pour leur fabrication, et à leur évolution physicochimique au cours du temps. En effet, l'information originellement contenue dans le matériau a été transformée, ce qui complique leur étude. Les techniques d'analyse synchrotron permettent de sonder la matière, tout en s'adaptant aux contraintes liées à ces matériaux.

Un synchrotron fournit une lumière extrêmement intense, émise sur une large gamme d'énergies, de l'infrarouge lointain aux rayons X durs. Ces différents rayonnements sont produits par des électrons circulant quasiment à la vitesse de la lumière dans un accélérateur protégé par un tunnel circulaire.

Autour de ce tunnel sont construits les laboratoires ou lignes de lumière, où sont réalisées les analyses des échantillons. Le rayonnement synchrotron est paramétré selon l'échantillon, qui peut alors être balayé point par point par un microfaisceau (spot de 2 à 20 μm , 1 micromètre = $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$), ou illuminé par un macrofaisceau (spot de 100 μm à 20 mm) pour enregistrer une image en une seule « collecte ». On visualise ainsi la variation des réponses des composants à l'interaction avec la lumière en fonction de leur localisation.

UN ŒIL NOUVEAU

L'extrême brillance des faisceaux de lumière – quantité de photons d'une énergie donnée par unité de temps et de surface – et la haute technologie des dispositifs expérimentaux permettent d'obtenir des données, même lorsque les composants de la matière sont en très faible quantité.

Quand le rayonnement illumine l'échantillon, différentes interactions se produisent avec sa matière. Observées séparément ou simultanément, elles apportent des informations complémentaires : chimiques, électroniques, structurales, etc.

Parmi les techniques d'analyse employées, la spectroscopie d'absorption des rayons X est basée sur le fait que, selon sa composition, la matière n'absorbe que certaines énergies. Or, parmi la gamme de rayonnements produite par le synchrotron, il est possible de sélectionner une énergie précise pour chaque analyse : c'est « l'accordabilité ». La courbe de la quantité de rayonnement absorbé selon son énergie, ou « spectre d'absorption », fournit une carte d'identité de la matière.

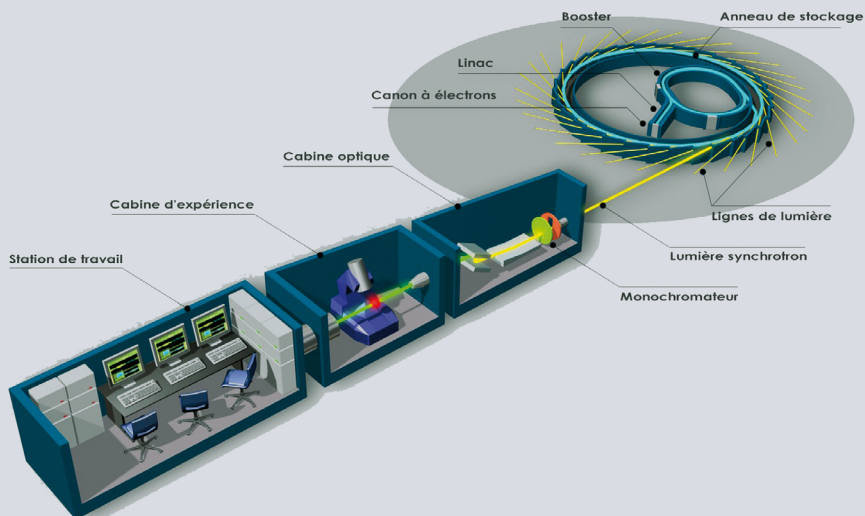


Schéma simplifié d'une ligne de lumière [premier plan] et de l'accélérateur d'électrons [arrière-plan] constituant un synchrotron.
© EPSIM - J-F. Santarelli - SOLEIL

MATIÈRES À CARTOGRAPHIER

Côté infrarouges, des longueurs d'ondes spécifiques provoquent la rotation ou la vibration de certains groupements chimiques ; leur absorption « signe » la présence d'un type de molécule, donnant accès à la cartographie moléculaire de l'échantillon.

Les rayons X interagissent avec les électrons des atomes. Si le rayon X a l'énergie suffisante pour arracher un électron à un atome, on observe un « seuil d'absorption », spécifique à chaque élément du tableau périodique. Cette fois, on obtient des cartographies « élémentaires » de l'échantillon.

En modifiant très finement la longueur d'onde du faisceau X autour de la valeur de ce seuil d'absorption, on peut sonder l'environnement chimique de l'atome d'intérêt et révéler son état d'oxydation. Ce type d'analyse n'est accessible que sur synchrotron.

Autre réponse possible de la matière si elle est éclairée par une lumière d'énergie adaptée : la rémission d'un rayonnement de plus basse énergie.

Ce phénomène, la fluorescence, est spécifique à la composition moléculaire et atomique de la matière, et permet des cartographies chimiques.

Les rayons X fournissent aussi des informations structurales. En frappant la matière, ils interagissent avec le nuage électronique des atomes de l'échantillon. Avec un matériau non ordonné (liquide, amorphe, etc.), les rayons X sont réfléchis dans toutes les directions : on parle de diffusion. Si le matériau est ordonné à l'échelle atomique (comme un cristal), il se produit, pour certaines directions, des interférences constructives entre les faisceaux réfléchis : c'est la diffraction. On observe des taches dont l'intensité et l'espace permettent de remonter à la structure à l'échelle atomique de la matière étudiée.

Les caractéristiques des faisceaux de lumière synchrotron permettent d'aller plus loin, et plus vite, dans les analyses menées. C'est parfois l'ultime carte jouée par le scientifique pour « faire parler » son échantillon.

POUR EN SAVOIR PLUS :

www.synchrotron-soleil.fr/qui-sommes-nous/quest-ce-que-soleil