

Les Savanturiers

n°7

En mission avec les scientifiques du CEA

Sommaire :



Comprendre

La fabrication du fer

Pages 2-3



Au laboratoire

Quand la science raconte l'Histoire

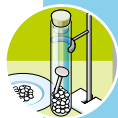
Pages 4-5



Interviews

3 chercheurs racontent

Pages 6-7



Expérience corrosive

À vous de jouer

Page 8

Édito :

Le Laboratoire « Archéomatériaux et prévision de l'altération » réunit des équipements et des chercheurs du CEA et du CNRS, spécialistes de la chimie des matériaux.

Il accueille aussi des archéologues, capables de valider la valeur scientifique des objets.

Cette collaboration unique en France permet d'étudier les matériaux archéologiques métalliques, autour de deux axes.

Le premier : la compréhension de la dégradation des systèmes archéologiques sous l'effet de la corrosion.

Le second a trait aux sciences humaines, plus spécifiquement l'archéologie et l'histoire des techniques.

Quand les chercheurs croisent le fer...

Quelles étaient les techniques de fabrication du fer au temps des cathédrales ? Pourquoi et comment ces éléments ont-ils subi l'assaut du temps ? Pour répondre à ces questions, les chercheurs mènent une véritable enquête policière afin de déterminer l'empreinte digitale de chacun des échantillons qu'ils vont prélever lors de leurs missions, en France et au-delà...



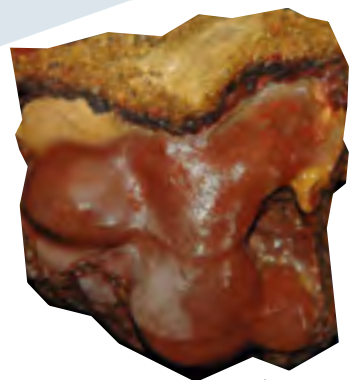
Les chercheurs effectuent des prélèvements dans des mines (en haut la mine médiévale de Castel-Minier, Ariège) ou des cathédrales (ici le chœur de la cathédrale de Chartres) souvent à des hauteurs de plus de 40 mètres.

Qu'est-ce que le fer ?

Le fer est un élément chimique, de symbole **Fe** et de numéro atomique 26. Il s'agit d'un métal.

Il est l'un des éléments les plus abondants et les mieux répartis sur Terre, avec près de 4 % de fer dans l'écorce terrestre, mais il n'existe pas sous forme de métal **natif**. On le trouve combiné avec d'autres éléments, comme l'oxygène ou le carbone, sous forme de minéral. Ces roches se répartissent en plusieurs catégories : les minerais oxydés, les carbonates, les minerais sulfurés et les silicates.

Sur Terre mais aussi dans notre corps, car le fer se retrouve dans le sang où il permet aux globules rouges de fixer le dioxygène.



Mélange d'oxydes de fer naturels - Massif du Makay, Madagascar.

Comprendre : La fabrication du fer

De l'Antiquité au Moyen-Âge, les techniques et les procédés de fabrication du fer ont lentement évolué au fil du temps.

En Europe, les premiers objets en fer datent de la fin du IX^e siècle avant Jésus-Christ.

La fabrication est restée la même pendant deux millénaires, jusque vers 1400.



1 Au temps des Gaulois

L'époque gauloise est aussi appelée « l'Âge du fer ».

Les hommes ont appris à le travailler pour former des pièces artisanales ou agricoles : peignes, rasoirs, socs de charrue, chaînes, outils, armes (lances et épées)... Pour cela, ils utilisaient des bas fourneaux (1 100 °C).

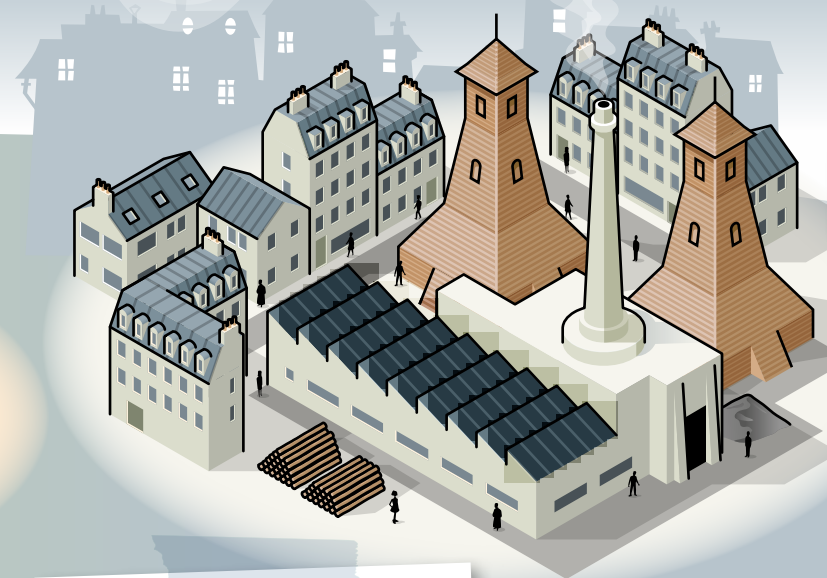
2 Au Moyen-Âge : les hauts fourneaux

Le point de fusion du fer est de 1 535 °C. Pour l'atteindre, il faut augmenter la taille du four et utiliser l'énergie hydraulique pour souffler l'air de combustion. Le principe des hauts fourneaux est connu en Chine depuis le premier millénaire ; en Europe, il existe depuis le Moyen-Âge. Alors que le fer des bas fourneaux était solide, la fonte est liquide, et les coulées sont continues. Cela permet de fabriquer des objets « révolutionnaires » comme les boulets de canon pour l'artillerie ou les renforts pour l'architecture.



3 À partir du XVIII^e siècle

La production consomme énormément de bois : pour obtenir quotidiennement 50 kg de fer, il faut 200 kg de minéral et 25 **stères** de bois. À partir du XVIII^e siècle, en Angleterre notamment, le charbon est remplacé par du **coke**.



Tirants dans les arc-boutants de la cathédrale de Beauvais.

La corrosion

Dans les bas puis hauts fourneaux, les oxydes contenus dans les minerais sont réduits. Lors de son utilisation ou pendant sa période d'abandon, l'objet en fer subit une réoxydation appelée corrosion. C'est une réaction chimique lente : lorsque le fer est en contact avec du dioxygène et de l'eau, il a tendance à retourner à son état stable, celui d'oxyde. Il se transforme alors en substance de couleur brun-rouge : la rouille, qui a la même forme chimique que le minéral initial. Pour ces métaux façonnés par la main de l'homme, c'est un retour à leur état « naturel ». La rouille faisant gonfler le fer, il augmente de volume, pouvant aller jusqu'à faire éclater une pierre, ou fissurer le béton.



Agrafe provenant de la Tour de la Mutte - Cathédrale de Metz.

Les cathédrales

Une cathédrale gothique n'est pas seulement construite avec des pierres, du bois et du verre. Le fer représente 10 % des matériaux utilisés, soit plusieurs dizaines de tonnes pour chacune. Celui-ci servait pour la fabrication de **tirants** ou de renforts. Deux exemples : à Amiens, le **chaînage** mis en place en 1498 mesure 300 mètres de long et ceinture entièrement le monument. Une des mises en œuvre les plus anciennes de chaînage métallique toujours en place est le bâtiment de la Sainte Chapelle à Paris qui fut érigé au XIII^e siècle.



Cathédrale de Bourges.

Lexique :

Chaînage : Armature métallique du béton armé en périphérie d'un mur ou d'une dalle.

Coke : Résidu solide de la carbonisation ou de la distillation de la houille.

Natif : État d'un métal se trouvant pur dans une roche.

Stère : Un mètre cube apparent dans le cas de bûches d'un mètre de long.

Tirant : Tige métallique prenant appui sur la maçonnerie, qui empêche l'écartement des murs.

Tout est question de chimie

Seuls les minerais contenant des oxydes et des carbonates de fer peuvent servir à la fabrication traditionnelle. La méthode est simple, tout est question de chimie, c'est une réaction de réduction : puisque le fer est présent sous forme d'oxyde, il faut enlever les atomes d'oxygène pour obtenir le métal pur. Pour cela, on empile dans un four plusieurs couches de charbon de bois et de minéral. Le charbon de bois, en brûlant, dégage du monoxyde de carbone qui, lorsque la température atteint les 1 100 °C, va « réduire » le minéral, c'est-à-dire lui arracher les atomes d'oxygène pour former du dioxyde de

carbone. Le fer pur, extrait de la roche, s'agglomère au centre du four en formant un bloc. Pour atteindre et maintenir cette température, la ventilation est primordiale. Suivant les régions et les époques, les forgerons utilisent le vent ou des soufflets. Pour obtenir le fer à l'état brut, ils doivent ensuite marteler à chaud le bloc pour éliminer les impuretés (les restes de minerais non transformés en fer) et façonner les outils recherchés.

Du fer à la fonte

La hausse de la température (de 1 100 à 1 500 °C) a pour conséquence d'augmenter la réaction de réduction du fer et le taux de carbone dans l'alliage. Lorsque ce taux est inférieur à 0,05 %, on parle de fer ; puis, jusqu'à 2 %, d'acier et, au-delà, c'est de la fonte. Mais cette forte teneur en carbone rend la fonte relativement cassante. Pour revenir à de l'acier, il faut la soumettre à un cycle de chauffages-martelages qui l'oxyde au contact de l'air, c'est l'affinage. Chacune de ces étapes laisse une trace dans la structure et la composition des matériaux ferreux.

Quand la science des matériaux raconte l'Histoire

Comprendre l'œuvre des bâtisseurs est important pour la conserver et la restaurer. L'étude de son altération et de sa corrosion permet aussi de prévoir son devenir.



Prélèvements archéologiques

Comble des bas-côtés dans la cathédrale de Bourges.

© D.R.

Au laboratoire de chimie

500 analyses / objet
20 paramètres / analyse
X nombre d'objets
= des milliers d'analyses pour un seul site



© C. Dupont/CEA

Les chantiers

Les chercheurs interviennent dès le chantier archéologique pour prélever les objets, avec d'innombrables précautions afin de ne pas perturber leurs conditions de conservation. Ils les préparent ensuite pour en extraire des échantillons dont ils étudieront les impuretés et les couches de corrosion.

Ainsi, des équipes sillonnent la France et l'Europe pour prélever des barres, **agrafes**, clous, tôles... utilisés dans la construction de monuments médiévaux et de cathédrales gothiques. Les chercheurs recueillent aussi des échantil-

lons d'objets forgés par les Gaulois : pointes de flèches, bardages de roues de chariot... sur les sites archéologiques. L'étude de la corrosion et de l'altération des objets archéologiques est importante pour les conservateurs et restaurateurs, qui doivent en assurer l'intégrité pour de longues années, une fois exposés dans les musées. Elle permet aussi de comprendre comment les métaux se sont dégradés pendant des siècles, pour prévoir la corrosion des matériaux dans le futur.

En savoir +

- À regarder la conférence CEA Cyclope : « Les liaisons tumultueuses de la rouille et du béton » sur www-centre-saclay.cea.fr/fr/Conferences-Cyclope
- Et aussi celle de la Cité des Sciences - « Le squelette de fer des cathédrales gothiques » sur www.cite-sciences.fr/fr/conferences-du-college/seance/c/1239030863934/-/p/1239022827697/
- À lire « Le Labo », la BD de Jean-Yves Duhoo chez Dupuis 2010 et dans Spirou magazine.

Lexique :

Agrafe : Pièce de métal tenant les pierres entre elles.

Cémentite : Carbure de fer. À l'état pur, il fait partie de la famille des céramiques. C'est une phase qui se forme dans les aciers et les fontes.

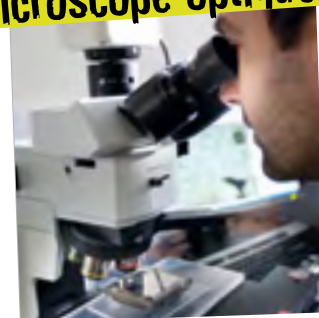
Lopin : Cylindre de métal destiné à la mise en forme à chaud par laminage, filage ou forgeage.

Rapport isotopique : Le rapport carbone 14/carbone 12 (venant du gaz carbonique) est équilibré tant que l'organisme est en vie. Après sa mort, le ^{14}C n'est plus renouvelé, il se désintègre et sa proportion diminue. La mesure du rapport $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ permet de dater l'échantillon.

Au laboratoire – Les moyens d'analyse au service de l'archéométrie

Une véritable enquête policière s'engage pour déterminer l'empreinte digitale du minéral. Les chercheurs utilisent des outils d'analyse très performants qui permettent de descendre au cœur de la matière, d'observer de plus en plus finement la structure de l'objet, et de rechercher et qualifier les impuretés piégées.

Microscope optique



© C. Dupont/CEA

Le microscope optique sert à examiner la microstructure du métal ou de l'alliage.

Microscope électronique à balayage



© C. Dupont/CEA

Outil très répandu pour la caractérisation des matériaux, le MEB permet d'obtenir des renseignements sur leur morphologie, leur composition et la répartition de leurs constituants. Il est utile pour observer notamment les traces de corrosion à des échelles très petites.

Microspectromètre Raman



© C. Dupont/CEA

Le microspectromètre Raman sert à observer les phases et identifier leur structure cristalline. En focalisant un faisceau laser sur une petite partie, on peut sonder la matière sur un volume de quelques μm^3 .

Microsondes



© C. Dupont/CEA

En envoyant des rayons X ou des particules sur l'échantillon, la microsonde nucléaire et la microsonde photonique fournissent des indices pour comprendre sa composition et sa structure. Elles voient des éléments présents en très petites quantités, ce qui permet par exemple de retrouver la trace du minéral initial dans l'échantillon. La microsonde nucléaire permet également de distinguer les isotopes et différencier l'oxygène 16 de l'oxygène 18 (voir encadré Modélisation). L'analyse des hétérogénéités du métal et de ses impuretés microscopiques se fait par micro-fluorescence X et microdiffraction X, deux techniques mises en œuvre sur la microsonde photonique. Grâce à ces instruments, les chercheurs sont capables de déterminer le procédé de fabrication, mais également de voir s'ils ont été fabriqués par un même artisan...

Ces analyses, allant de l'observation « grossière » à une étude approfondie au cœur de l'objet, permettent de déterminer sa composition, sa structure, mais aussi sa technique de fabrication, sa provenance et sa date. Ce qui intéresse les archéologues et les historiens : identifier la provenance des objets ou du métal qui les composent permet de retracer les routes et échanges commerciaux de l'époque. Elles permettent également de comprendre comment un échantillon se dégrade, informations très utiles pour les conservateurs et les ingénieurs qui veulent prévoir la corrosion des matériaux du futur.

Datation au C14

Sur de nombreux chantiers, les objets ferreux sont associés à des éléments pour lesquels l'identification historique est incontestable (céramiques, monnaies, éléments de bâti...). Lorsque ce n'est pas le cas, il faut alors dater l'échantillon lui-même.

Lors de la transformation du minéral en métal, une partie du carbone du charbon de bois utilisé comme carburant peut se retrouver sous forme de **cémentite** dans les zones aciérées.

L'extraction de ce carbone et l'analyse des **rapports isotopiques** 14 le bois de l'arbre. La teneur dans ces zones ne dépassant jamais

quelques dixièmes de % massiques, il faut utiliser un spectromètre de masse couplé à un accélérateur, comme sur la plateforme Artemis au CEA Saclay. D'autres difficultés sont propres à cette datation : distribution hétérogène du carbone, pollution, soudure de plusieurs **lopins**...

Celle-ci ne peut donc se faire qu'après une étude complète de la structure métallographique de l'objet et une bonne connaissance de la répartition du carbone en son sein, suivant les méthodes courantes d'archéométrie. Ce n'est qu'à la suite de ces observations, qui détermineront les zones les plus pertinentes pour le prélèvement, que les datations par carbone 14 pourront avoir lieu.

Modélisation : Entreposage et stockage des matières nucléaires

Les chercheurs remettent parfois l'objet en conditions contrôlées de corrosion. En remplaçant l'oxygène 16 par de l'oxygène 18, ils repèrent l'endroit où cet élément est à l'origine de la corrosion dans les couches de rouille. Il leur est aussi possible de prévoir la vitesse de dégradation sur des durées très longues : plusieurs siècles. Ces expériences sont les seules à même de valider les mécanismes de corrosion simulés numériquement dans des modèles. Ces études d'altération et de corrosion trouvent une application dans le milieu nucléaire, pour les projets de stockage des déchets radioactifs, comme le futur laboratoire souterrain de Bure. Un colis de déchets est comme une poupée russe, constitué de plusieurs conteneurs dont l'un est en acier. Les chercheurs simulent et modélisent la corrosion de cet acier en laboratoire. Puis ils comparent leurs données avec celles relevées sur des objets archéologiques (armes, épées, clous) enfouis depuis des millénaires, pour prévoir la tenue des colis dans le futur.

Interviews

Suivre des échantillons du chantier archéologique au laboratoire, c'est le quotidien de ces chercheurs. Ils nous racontent leurs missions et découvertes inattendues...

Philippe Dillmann



© C. Dupont/CEA

Directeur de l'équipe de recherche sur les matériaux ferreux

« Parfois, on a des belles surprises ! »

Les Savanturiers : Pouvez-vous nous décrire l'activité du laboratoire ?

Philippe : Nous menons des études sur les archéomatériaux, pour comprendre comment on les fabriquait (des Gaulois jusqu'aux périodes médiévales) et aussi comment et à quelle vitesse ils se dégradent. Deux aspects complémentaires qui se basent sur la science des matériaux. Les différents outils dont nous disposons au laboratoire nous permettent de comprendre l'objet en grossissant petit à petit : à l'œil nu, loupe binoculaire, microscope optique, puis analyser sa composition chimique avec un microscope électronique à balayage et l'agencement des atomes entre eux par microdiffraction X ou grâce au rayonnement synchrotron. Il faut ensuite reconstruire le puzzle.

Parlez-nous de quelques-unes de vos missions...

J'ai effectué un très grand nombre de missions sur les sites archéologiques ; les cathédrales restent parmi les plus impressionnantes. À Beauvais, nous sommes mon-

tés à 49 mètres de hauteur pour récupérer des échantillons placés là au XIII^e siècle. Un autre exemple au Danemark : 500 ans après J.C., les guerriers sacrifiaient des épées et pointes de lances sur un site sacré ; des milliers d'objets nous attendent ! Nous travaillons parfois avec d'autres laboratoires. Par exemple sur une barque trouvée dans le Rhône, **ArcNucléart** se charge de la restauration du bois quand nous nous occupons par exemple des clous.

Avez-vous eu des résultats surprenants ?
Oui : des métaux trouvés dans des bandages de roues de chars sont la preuve d'échanges commerciaux inattendus et à très longue distance. En Inde, la colonne de Delhi, érigée 500 ans après J.C., ne s'est pratiquement pas corrodée, grâce au phosphore qu'elle contient. Parfois, on a des belles surprises !

Avec qui partagez-vous ces résultats ?
Les résultats sont exploités par des archéologues et des historiens pour reconstituer les sociétés anciennes, aussi par les conservateurs et restaurateurs de musées ;

mais également pour comprendre comment les matériaux utilisés aujourd'hui vont se comporter sur 1 000 à 2 000 ans dans le futur. C'est cette interdisciplinarité qui est intéressante. Nous comparons nos résultats, obtenus naturellement sur le long terme, avec d'autres laboratoires étudiant la corrosion sur le court terme, pour aider à produire un modèle fiable de corrosion. Ainsi, pour le stockage des déchets radioactifs, qui sont vitrifiés et enfermés dans des colis multibarrières dont l'une des enveloppes est en acier. Nous devons savoir comment celle-ci va se corroder.

Formation :

- Bac S
- Ingénieur chimiste
- Master à l'UTC – université de technologie de Compiègne
- Thèse sur les objets ferreux étudiés par synchrotron

Enrique Vega Ingénieur d'étude en archéométrie

« J'ai été bercé par les récits de Jules Verne... »

Les Savanturiers : Quel est votre rôle au sein du laboratoire ?

Enrique : L'archéométrie concerne toutes les techniques physico-chimiques mises en œuvre dans les études archéologiques. J'accompagne les recherches depuis le laboratoire. Je suis en charge de tout le matériel et des équipements d'analyse nécessaires pour mener à bien une campagne sur le terrain ; j'en assure le développement et la maintenance, met en place la logistique et le protocole d'analyse des résultats.

Allez-vous tout de même sur les chantiers archéologiques ?

Oui, régulièrement. En Ariège, sur le site d'une usine sidérurgique médiévale, nous avons installé un petit laboratoire : grâce à un spectromètre portatif j'analyse sur place un grand nombre d'échantillons et sélectionne ceux que l'on amènera au laboratoire pour

des analyses poussées. J'effectue aussi des prélèvements sur les cathédrales gothiques en France et en Belgique. Je participe aussi à des reconstitutions expérimentales (plateforme sur le site des mines d'argent de Melle).
Racontez-nous une de vos missions...
L'architecte maître d'œuvre de la restauration des vitraux de la Sainte Chapelle de Paris nous a autorisé à expertiser les **barlotières** en fer. On ne savait pas si elles étaient d'origine ou positionnées lors d'une étape de restauration. L'analyse a démontré qu'elles dataient bien du XIII^e siècle ; ce qui correspond à la construction. C'est une information importante pour la restauration.

Côté laboratoire, avez-vous fait des découvertes intéressantes ?

Le phosphore n'est pas le bienvenu dans les métaux car il les rend cassants ; pourtant, on l'a retrouvé dans des échantillons, ce qui nous a interpellés. Comment les artisans travaillaient-ils le fer ? Grâce à l'archéométrie expérimentale qui reconstitue le geste tech-

nique, nous avons montré que les forgerons travaillaient ce fer à une température exceptionnellement basse.

Pourquoi avoir choisi cette thématique ?
En archéométrie, le travail en équipe est primordial. Il y a l'interaction entre le physicien-chimiste et l'archéologue. Et comme l'archéologie est au croisement de plusieurs disciplines, nous travaillons aussi avec des historiens, des géologues... Ce large horizon stimule beaucoup la curiosité et fait écho aux rêveries de ma jeunesse bercée par les récits de Jules Verne...

Formation :

- Bac S
- Licence Physique fondamentale
- Maîtrise de physique appliquée
- DEA Physique appliquée à l'archéologie
- Thèse sur la corrosion et l'analyse archéométrique

Delphine Neff

Ingénieur-chercheur



© C. Dupont/CEA

« Les objets archéologiques sont comme des éprouvettes de laboratoire. »

Les Savanturiers : Quel est votre sujet d'étude ?

Delphine : Je m'occupe de l'étude de la corrosion du fer à très long terme ; et cela sur deux volets : le stockage des déchets radioactifs et la conservation et la préservation des objets archéologiques que l'on retrouve dans les musées. Les échantillons étudiés présentent deux types de **faciès** correspondant à deux grandes classes de milieux de corrosion. Ceux en atmosphère nous servent pour les déchets et la restauration des monuments historiques (tirants de cathédrales) ; ceux dans les sols (donc à l'abri de l'oxygène) pour la préservation des objets et le comportement des colis de déchets sur le très long terme.

Allez-vous chercher ces objets archéologiques ?

Oui, l'idéal est d'aller les chercher nous-mêmes sur le terrain. Cela nous donne des indications sur le contexte de corrosion (la saturation en eau par exemple) et nous permet de récupérer et de ramener au labo-

ratoire les échantillons dans les meilleures conditions, en particulier ceux qui craignent la remise à l'air. Nous travaillons sur différents objets ; de très anciens provenant de lingots de fer trouvés dans des épaves au large de Sainte-Marie-de-la-Mer datant de 2 000 ans aux plus récents prélevés dans les renforts de béton armé du château d'eau du centre CEA de Saclay.

Comment procédez-vous de retour au laboratoire ?

Les objets archéologiques sont comme des éprouvettes de laboratoire. Nous caractérisons les produits de corrosion, les différentes phases minéralogiques et tentons de comprendre les phénomènes de corrosion, le rôle de la couche de rouille pour protéger le métal, ce qui s'est passé durant toute la durée de l'altération. À partir de toutes les données sur ces analogues archéologiques, nous mettons en place et validons des modèles de corrosion, qui décrivent les mécanismes, retracent les phénomènes et prévoient le comportement à long terme des matériaux.

Avez-vous un site de référence ?

Nous avons prélevé des centaines de clous de charpente enfouis sur un ancien site de sidérurgie datant du XVI^e siècle, parmi les premiers hauts fourneaux, en Normandie. L'étude de ces échantillons dans leur état initial, et après remise en corrosion dans des conditions **anoxiques**, nous donne des indications représentatives et applicables au stockage géologique des déchets.

Formation :

- Bac S
- École d'ingénieur Polytechnique d'Orléans
- DEA Physique appliquée à l'archéologie
- Thèse sur la corrosion à très long terme

Les news

Mission à Angkor

Du IX^e au XIV^e siècle, Angkor, au Cambodge, est la capitale de l'empire khmer, connue pour ses temples en grès majestueux, ses statues, ses inscriptions et ses réseaux hydrauliques. Jusqu'à présent, les différentes recherches ont essentiellement porté sur l'**épigraphie**, l'analyse architecturale et l'aménagement urbain de cet immense complexe archéologique.



© D.R.



© D.R.

Depuis 2002, l'équipe du **LAPA** s'intéresse au rôle du fer dans l'empire khmer, cherchant des réponses à 3 problématiques : quelles étaient les techniques de production mises en œuvre ? Quels étaient les réseaux de production à l'échelle de l'empire khmer ? Quels réseaux commerciaux ont approvisionné la capitale en fer ? En plus de l'usage du fer pour la fabrication d'armes et d'outils, il était utilisé sous forme de crampons ou d'agrafes dans la structure des temples. En janvier 2014, les chercheurs se sont rendus sur ce site d'Angkor. Les observations de terrain ont permis de documenter les quantités de fer mises en jeu en fonction des différentes époques et de mieux cerner l'usage qui en est fait dans l'architecture khmère. Les crampons retrouvés dans les temples seront datés afin d'affiner la chronologie de la période angkorienne.

En savoir +

- Retrouvez ces 3 chercheurs sur www.cea.fr/le-cea/publications/les-savanturiers/
- À découvrir le film « Angkor, capitale disparue de l'empire khmer » diffusé par Arte et sur www.youtube.com/watch?v=VLHyd6ThTxU

Lexique :

ArcNucléart : Laboratoire chargé de l'étude, la conservation et la restauration des objets en matériaux organiques (bois, cuir, fibres).

Anoxique : Sans dioxygène.

Barlotières : Barres de soutien des vitraux.

Épigraphie : Étude des inscriptions réalisées sur des matières non putrescibles telles que la pierre, l'argile ou le métal.

Facès de corrosion : Type de corrosion spécifique à un milieu donné (air, eau et sol par exemple).

LAPA : Laboratoire archéomatériaux et prévision de l'altération – CEA/CNRS.

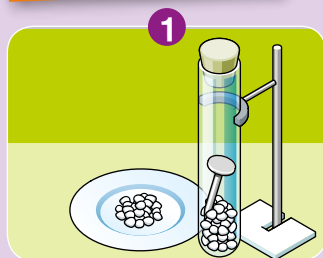
Expérience corrosive

L'équipe du Laboratoire archéomatériaux et prévision de l'altération étudie la corrosion des objets ferreux pour mieux comprendre les procédés et les techniques anciennes et ainsi mieux restaurer et conserver les objets archéologiques. Certaines circonstances peuvent favoriser la corrosion du fer, comme vous le montre cette expérience.

Matériel :

- 4 aiguilles ou 4 clous en fer neufs bien décapés (ils sont souvent vernis pour éviter la corrosion) ;
- 4 tubes à essais (ou éprouvettes) avec 4 bouchons ;
- de l'eau distillée ;
- de l'eau chaude bouillie ;
- du chlorure de calcium (en pharmacie) ou 1 véritable craie blanche réduite en poudre ;
- du sel cristallisé ;
- de l'huile.

C'est à vous !



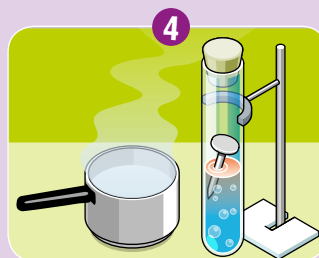
Dans le 1^{er} tube, introduire un clou et le chlorure de calcium (ou la craie réduite en poudre). Refermer bien ce tube car il faut que le clou soit seulement au contact avec de l'air sec.



Dans le 2^e tube, introduire un clou et de l'eau salée. Laisser la tête du clou dépasser de l'eau salée car il doit être en contact avec l'eau salée et aussi avec l'air. Refermer bien ce tube.



Dans le 3^e tube, introduire un clou, de l'eau salée puis une couche d'huile. Il faut que le clou soit bien recouvert d'eau salée. Refermer bien ce tube.



Dans le 4^e tube, introduire un clou et de l'eau chaude bouillie, en faisant attention de ne pas vous brûler. Refermer bien ce tube.

Maintenant vous avez 4 éprouvettes prêtes et bien refermées. Laissez-les de côté pendant au moins 48 h voire une semaine.

Conclusion

On observe que certains clous se recouvrent de rouille.

Le fer ne rouille pas dans l'air sec (tube 1) ou dans l'eau privée d'air (tube 3). Pour que le fer rouille, il faut de l'eau et de l'air en même temps. On observe ainsi que l'action simultanée de l'eau et du dioxygène de l'air favorise la corrosion du fer (tube 4). Quant au sel (tube 2), il accélère le phénomène de corrosion.

Jeux de mots

Voici quelques mots et expressions avec le mot « fer » :

- **Âge du fer** : Période de l'Histoire, de - 800 ans avant J. C. à 0, caractérisée par l'usage du fer.
- **Bras de fer** : Jeu de musculation. Il se joue à deux personnes assises face à face.
- **Dame de fer** : C'est ainsi que l'on appelait Margareth Thatcher, chef du gouvernement britannique des années 80.
- **Rideau de fer** : Frontière fortifiée de barbelés qui traversait l'Europe pendant la guerre froide. Le mur de Berlin en était une partie.
- **Il faut battre le fer quand il est chaud** : Il faut réagir vite.
- **Avoir deux fers au feu** : Mener deux projets en même temps.
- **Croire à quelque chose dur comme fer** : Croire très fortement.

Sites :

CEA jeunes : www.cea.fr/jeunes

Laboratoire archéomatériaux et prévision de l'altération : iramis.cea.fr/sis2m/Phoce/Vie_des_labos/Ast/ast_groupe.php?id_groupe=167

Retrouvez les Savanturiers :

www.cea.fr/le_cea/publications/les_savanturiers/



Editeur : Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, RCS Paris B 775 685 019
Directeur de la publication : Xavier Clément
Ont participé à ce numéro : Philippe Dillmann, Florence Klotz, Lucia Le Clech, Stéphanie Leroy, Delphine Neff, Enrique Vega.
Infographies : Antoine Levesque
Création et réalisation : NPO* - www.nepasoublier.fr - Février 2014
ISSN 2271-6262

Nous remercions Fabienne Chauvière d'avoir accepté que nous lui empruntions le titre de son émission.