

# CALCAIRE ET CHAUX

## 6-1 INTRODUCTION

L'homme va découvrir la chaux peut-être en même temps que le plâtre. Les circonstances de cette découverte ne sont évidemment pas connues. A-t-il, comme pour le plâtre, découvert la chaux en calcinant des pierres de son foyer ? Mystère. C'est possible mais ...

Pourquoi ? La transformation du gypse en plâtre est une déshydratation qui se fait à relativement basse température vers 180°C.

La calcination des calcaires pour les transformer en chaux se fait à beaucoup plus haute température. On parle ici de 900 à 950°C, température qui doit exister au cœur de la pierre. La chaleur d'un feu de bois à l'air libre ne permet pas d'expliquer aussi simplement cette découverte.

En effet dans un feu à l'air libre la température des braises (là où se trouvent les pierres du foyer) est de l'ordre de 350 à 400°C. Celle de la flamme est de l'ordre de 900°. C'est vraiment limite pour calciner du calcaire. Il faut donc conclure que nos ancêtres avaient trouvé une solution pour élever la température du feu de bois. L'hypothèse d'un incendie violent et long, fortement attisé par le vent serait plus plausible. Ou alors c'est peut être en créant un des tout premiers fours qu'ils ont calciné les pierres. Nous reparlerons de production de chaleur à la fin de ce cahier.

Cette remarque étant faite nos ancêtres découvrent la chaux il y a environ 12000 ans, et vont l'utiliser immédiatement dans l'habitat.

## 6-2 LA CHAUX

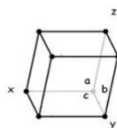
Le terme désigne une matière sèche, poudreuse et hydrophile, de couleur blanche ou blanchâtre, obtenue par calcination du calcaire.

Les calcaires utilisés peuvent être de composition variable mais ce sont des roches sédimentaires toutes basées sur le calcium (Ca).

L'une des roches les plus connues de cette famille est le carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3$  qui nous donnera l'occasion de montrer de jolies cristallisations.

Il peut cristalliser dans le système

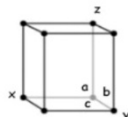
**Rhomboédrique**



Dans ce cas on l'appellera **Calcite**

Ou dans le système

**Orthorhombique**



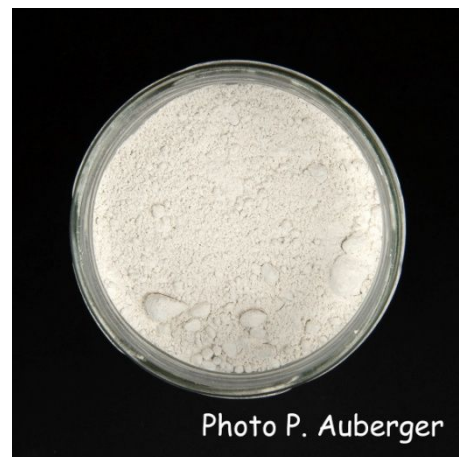
Dans ce cas on l'appellera **Aragonite**

Ces minéraux sont incolores mais peuvent prendre de nombreuses teintes en fonction des impuretés qu'ils contiennent.

La trace est toujours blanche voir incolore et l'éclat vitreux ou nacré.

La chaux  $\text{CaO}$  est un oxyde de Calcium obtenu par calcination de  $\text{CaCO}_3$  qui va perdre  $\text{CO}_2$  autrement dit du gaz carbonique.

Il existe de nombreuses variétés de chaux en fonction des compositions chimiques qu'elles peuvent avoir et qui vont les orienter vers des applications différentes.



## 6-3 LE CALCAIRE DANS LA NATURE

Le calcaire est formé principalement par l'accumulation dans le fond des mers des coquilles d'animaux marins. C'est une roche carbonatée avec une dominante **Calcite** ( $\text{Ca CO}_3$ ) qui peut également contenir du carbonate de magnésium appelé **Dolomie** ( $\text{Mg CO}_3$ ).

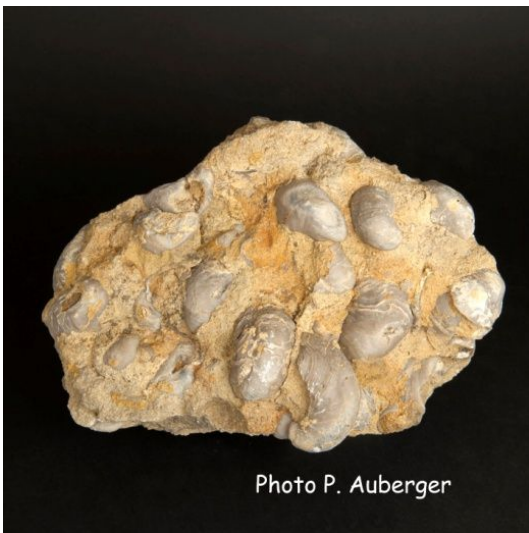
C'est une roche sédimentaire dite « bioclastique » (d'origine biologique).

Les épaisseurs de dépôts peuvent atteindre des centaines de mètres.

Le lessivage de ces roches va permettre des recristallisations spectaculaires qui font le bonheur des collectionneurs.

En effet les combinaisons possibles sont innombrables.

Nous allons ici en passer quelques unes en revue.



*Deux fossiles communs  
des roches du  
Sinémurien matières  
premières de la chaux.*

*A gauche Gryphea  
arcuata*

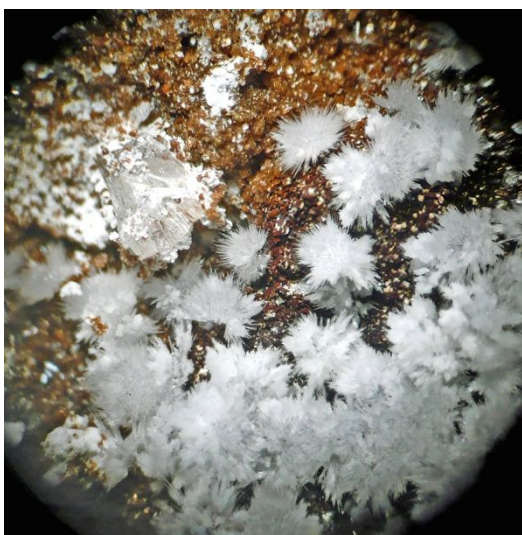
*A droite Plagiostoma  
giganteum*

Photo P. Auberge



Photo P. Auberge

Après dissolution de ces roches de base et recristallisation nous obtenons les jolis cristaux qui font la joie des collectionneurs et dont voici quelques exemples.



*Aragonite de Steinbach (68) le diamètre des touffes est de 2 mm.*

*Cette autre aragonite est d'origine espagnole*



Photo P. Auberge



Photo P. Auberge

*La calcite peut se présenter sous une forme mammelonnée, celle-ci vient de Salins les Bains (38).*

*Il ne faut pas se tromper même si ici elle forme des petites boules elle n'en reste pas moins cristallisée dans le système rhomboédrique.*

*Origine Curebourse(Cantal)*



Photo P. Auberge



Collection privée

Photo P. Auberge

*Une très belle pièce de collection le grand cristal a une longueur supérieure à 6 cm*

*Ces cristallisations dites « en dent de cochon » sont les plus courantes : Origine Ardèche*



*L'intérêt de cette photo est quelle montre la structure interne du cristal. Origine Beaunotte (21)*

*Ces cristaux pluri centimétriques à droite montrent des traces de dissolution. Origine Givry (71), mais ceux du bas de la même origine et plus petits sont parfaits*



## 6-4 LES USAGES ANCIENS DE LA CHAUX

Une des premières applications concrète de la chaux connue à ce jour se trouve dans les fouilles des cités Anatoliennes de **Çayönü** et **Nevalı Çori** (Turquie orientale actuelle). Ces sites sont datés d'environ 10 000 ans av notre ère. La chaux était utilisée pour consolider les sols et les fondations.

7 500 av notre ère. Les peuples de l'actuelle Jordanie utilisaient un enduit de granulat calcaire lié à la chaux pour enduire les murs, les sols et les âtres de leurs maisons.

3 000 av notre ère. Les égyptien (encore eux) utilisaient la chaux pour tanner les peaux.

2 800 ans av notre ère. Les celtes introduisaient la chaux dans l'agriculture pour l'amendement des sols.

2 000 av notre ère. La chaux est devenue omniprésente sur les sites de construction en Europe.

Depuis elle sera le mortier de base de toutes les constructions du monde antique au monde moderne jusqu'à l'invention du ciment au milieu du 19<sup>ième</sup> siècle.

500 av notre ère. Les chinois utilisent la chaux pour la construction de la grande muraille. Elle est présente aussi bien dans la stabilisation des fondations que dans le jointoiment des moellons.

Au même moment à Rome les femmes se déteignent les cheveux à la chaux vive et les pigments minéraux liés à chaux recouvrent les murs des maisons. Les peintures à base de chaux font leur apparition.

## 6-5 LA CHAUX DU MOYEN AGE A NOS JOURS

Les premiers savons à base de chaux sont utilisés vers 400 de notre ère.

L'usage de la chaux ne connaîtra pas de modification spectaculaire. Les fours à chaux se multiplient et presque toutes les cités d'une certaine importance localisées dans une région propice possèdent leur four à chaux. Les toponymes, les lieux- dit « la chaux » « les fours à chaux » « chaufour » sont les témoins de cette époque.

On allait au four très proche acheter des blocs de chaux vive.

La construction d'une maison s'accompagnait invariablement de la création d'une fosse dans laquelle la chaux est éteinte, cette réaction est très vive, elle s'accompagne de bouillonnement et d'une forte élévation de température (elle peut atteindre 70°C). On brasse bien pour mélanger. On peut utiliser la chaux immédiatement pour réaliser un mortier en mélangeant avec du sable. Par



contre pour les enduits il faudra laisser reposer un certain temps (12 mois seraient un minimum) avant de le mettre en œuvre. Cette préparation sera la base des peintures « à fresco ».

*Maçonnerie bressanne traditionnelle.*

Photo P. Auburger

*L'enduit de Saint Sébastien de Ceillac est à base de chaux, le cadran solaire est réalisé « a fresco »*



Tout va changer au 18<sup>ième</sup> siècle. Les chimistes vont s'intéresser à la chaux.

Tout d'abord ils vont essayer de comprendre pourquoi certaines chaux durcissent à l'air et d'autre à l'eau.

Ces travaux vont conduire à l'invention du ciment. En effet en ajoutant au calcaire dans des proportions très précises des argiles silicatées et contenant de l'aluminium on obtient le ciment. C'est le chimiste Vicat qui est à l'origine de cette invention en France. Il ne déposera pas de brevet et c'est finalement en 1824 que l'anglais Joseph Aspdin dépose son brevet sur les ciments Portland. Le nom vient d'un calcaire très dur qui se trouve dans cette région de l'Angleterre.

Le ciment apporte une plus grande vitesse de prise, une plus grande dureté et a une excellente cohésion avec l'acier ce qui permettra plus tard de développer le béton armé.

Malgré tout on assiste aujourd'hui à un retour en force de la chaux, pour la restauration du bâti ancien ou pour des constructions modernes avec des matériaux traditionnels.



*Ci- dessus présentation des différentes techniques d'enduit traditionnels réalisé à la chaux par des artisans du patrimoine. Lavoir de Saint Clément sur Guye (71)*

## 6-6 LA CHAUX DANS LE MONDE MODERNE

Les chimistes du 18<sup>ième</sup> siècle vont comprendre une différence fondamentale entre les types de chaux.

En effet depuis toujours dans des proportions variables suivant les localisations, une partie de la chaux éteinte à l'eau va durcir à son contact et devenir rapidement inutilisable.

Les chimistes en question vont découvrir que c'est la présence d'argiles siliceuses qui lui donne la capacité de durcir dans l'eau.

Dès ce moment on fera la distinction entre Chaux aérienne (qui durci lentement à l'air) et chaux hydraulique (qui durci rapidement dans l'eau). D'où les utilisations qui vont réserver les chaux hydrauliques aux travaux de gros œuvre ou de second œuvre du bâtiment et les chaux aériennes aux travaux de décoration ou aux enduits.

La chaux, à la suite de ces travaux, va également étendre son champ d'application car elle deviendra la base de la chimie du calcium.

### USAGE DE LA CHAUX AERIENNE

La métallurgie est la première consommatrice de chaux aérienne (elle en consomme près de la moitié).

En sidérurgie elle est utilisée comme fondant et élément de purification des aciers lors de la transformation de la fonte en acier dans les convertisseurs.

Elle est très importante dans la métallurgie de l'aluminium ou elle sert comme premier agent d'attaque de la bauxite, elle est aussi employée dans celle de la plupart des métaux non ferreux.

Son second domaine d'application est l'agriculture où en plus de corriger l'acidité et la texture des sols elle a de précieuses capacités antibactériennes et anti fongiques.

Elle est également utilisée comme agent dépolluant notamment dans le processus de traitement des fumées ou elle absorbe les gaz acides comme le dioxyde de soufre et le gaz carbonique (chaux vive).

Dans le traitement de l'eau, elle permet de rectifier le PH des eaux trop acides pour la consommation. La chaux vive précipite le carbonate de calcium des eaux trop calcaires. Elle est aussi désinfectante

La chaux entre en faible quantité dans la production du verre, nous en reparlerons dans un des prochains cahiers.

On la retrouve dans la chimie et dans la pharmacie dans de nombreuses applications.

Pour citer quelques autres applications on retrouve la chaux dans les sucreries, les tanneries, les savonneries, les papeteries.

Elle sert à fabriquer le béton cellulaire par réaction de la chaux avec de l'aluminium qui crée des bulles dans le mélange avant durcissement.

Dans le domaine du bâtiment elle est la base de nombreux enduits, en effet sa couleur très blanche et sa structure qui reflète la lumière en font le support idéal de nombreux enduits et de badigeons.

*Partie d'un nuancier de fabricant d'enduit.*





Un de ces enduits, le **tadelakt**, est commun en Afrique du Nord. Le tadelakt traditionnel est réalisé avec de la chaux de Marrakech en une seule passe. L'analyse chimique de cette chaux montre la présence de chaux aérienne, de chaux hydraulique et de minéraux divers. Les *incuits* et les *surcuits* font office de charge à l'enduit. Cela permet d'en appliquer une épaisseur plus conséquente que des chaux aériennes plus pures. L'enduit est mélangé avec des pigments avant d'être appliqué. Pendant le séchage, l'enduit est recouvert de savon et serré avec un galet pour polir sa surface et la rendre étanche. C'est l'enduit type des salles de bains et des hammams de l'Afrique du nord.

*Salle de bain d'un Riad de Marrakech réalisé en **tadelakt**.*

Le **stuc** en est la version européenne qui sur une base de chaux aérienne et de plâtre obtient des effets marbrés en incorporant des sables de marbre, de la craie ou même de la brique pillée. Il est utilisé dès l'antiquité.

## USAGE DE LA CHAUX HYDRAULIQUE

Elle est réservée au bâtiment ou elle a régné pendant longtemps avant d'être supplantée par le ciment plus résistant.

Toutefois le maçonnerie de la brique est toujours lié à la chaux soit pure soit en la mélangeant avec le ciment (mortier bâtard).

## 6-7 MAÎTRISE DE LA TECHNOLOGIE

Les fours à chaux les plus anciens qui nous sont parvenus sont relativement récents, celtes ou gallo romains.

Ils sont soit creusés à flanc de coteau soit maçonnés. Ils sont en général à usage unique. Le combustible et le calcaire à calciner sont souvent recouverts d'une maçonnerie qui sera démontée pour récupérer la chaux vive.

Le procédé va évoluer et assez rapidement la brique qui est beaucoup plus résistante à la chaleur va faire son apparition pour tapisser l'intérieur du four. A ce moment le four sera réutilisé et il évoluera petit à petit jusqu'à devenir métallique et permettre un travail en continu.

## FOUR A CHAUX DE POLEYMIEUX AU MONT D'OR

Ce four qui vient d'être restauré est un exemple des anciens fours à chaux d'intérêt local tel qu'ils se construisaient au 18<sup>ième</sup> ou au 19<sup>ième</sup> siècle.

Il est construit à proximité immédiate de la carrière. La maçonnerie utilise également la configuration du terrain. Sa construction a été motivée par le chantier d'une grosse ferme à proximité et son usage s'est poursuivi jusqu'à l'arrivée des chaux industrielles et du ciment. Il est tapissé de brique à l'intérieur.



La chaux produite servait indifféremment aux constructions, à l'amendement des sols ou à la désinfection des étables.

## FOURS A CHAUX DE VENDENESSE LES CHAROLLES



Ces fours ont été construits à la fin du 19<sup>ième</sup> siècle sur le même plan que ceux de Bourg en Bresse et de Montluçon aujourd'hui démolis. Ils sont témoins du début de l'industrialisation de la fabrication de la chaux.

Ils sont localisés à proximité immédiate d'une carrière de calcaire du Sinémurien et d'une voie ferrée reliant Mâcon à Moulin.

Le calcaire était amené jusqu'aux fours à l'aide d'une berline tractée par un cheval. Les fours sont remplis d'alternance de couches de pierres et de charbon provenant des mines de Blanzly. Au bas du four un feu de bois servait à lancer la combustion.

La température atteinte était de 1 000°C.

Le four travaillait en continu avec un chargement par le haut et une extraction par le bas. Une pierre mettait entre 3 et 4 jours pour être transformée en chaux vive.

A la base un dégueuloir permettait de récupérer le calcaire calciné. La chaux était éteinte sur place, séchée et mise en sac. Cette chaux aérienne était plutôt destinée à l'agriculture. Le reste était utilisé dans les fermes comme produit de nettoyage ou désinfectant.

Ces fours sont restés en activité jusqu'à l'arrêt de la voie ferrée en 1953 et abandonnés définitivement en 1961/62.

La restauration commence en 1999 et les fours sont ouverts au public en 2002. Une association fait visiter le site en été les dimanches après midi et ils sont ouverts pour les journées du patrimoine.

Des panneaux explicatifs permettent de faire des visites libres du site.

## LES FOURS A CHAUX MODERNES

La structure des fours est métallique. L'intérieur est tapissé de produits réfractaires de qualité.

On utilise le coke, le gaz ou le fuel comme combustible. Plusieurs configurations sont possibles. Dans tous les cas les pierres avant d'être calcinées sont préchauffées par les gaz d'échappement. Le chargement des pierres et du combustible se fait automatiquement, ainsi que le déchargement de la chaux vive.

Les fours à flux parallèles travaillant en alternance permettent des productions de l'ordre de 200T par jour avec des cycles de cuissons de l'ordre de 10 à 12 minutes.



*Photo, les quatre fours à chaux de Wuelfrach Photo Google Earth.*

Les fours à tambour rotatif travaillent en continu. La plus grande installation d'Europe se trouve en Allemagne à WUELFRACH.

Cette usine possède 4 fours rotatifs pouvant produire 1000t par jour de chaux. La longueur de ces fours est d'environ 200m dont 100m pour la partie tournante.

## 6-8 RECYCLAGE DE LA CHAUX

Il n'est pas envisagé de recycler la chaux pour en faire un nouveau mortier, mais tous les gravats contenant de la chaux peuvent être recyclés dans d'autres applications : empierrement, stabilisation des sols etc.

Par contre la chaux vive est très fortement utilisée dans les processus de recyclage ou de dépollution notamment des sols, des ordures ménagères etc.

## 6-9 POUR EN SAVOIR PLUS

Les fours à chaux de Vendennes-lès-Charolles: <http://foursachaux.free.fr>

Contact : **Pour réserver une visite guidée :**

Josette Beurrier (vice-présidente)

03 85 88 39 78

## 6-9 PARLONS UN PEU DE CHALEUR

L'homme c'est très vite rendu compte que le feu pouvait l'aider à vivre une foi qu'il a surmonté sa crainte. On considère que la domestication du feu se généralise il y a 400000 ans. Même si des foyers bien plus anciens pourraient reculer cette époque jusqu'à 800000 ans. ATTENTION les dates de la préhistoire sont en perpétuelle évolution, à titre d'exemple la date de l'apparition du Chopper a été reculée de 400000 ans en 2017. DONC PRUDENCE.

### PETITE HISTOIRE DE L'EVOLUTION DES MOYENS DE PRODUIRE DE LA CHALEUR.

C'est le bois qui a été le premier et pendant très longtemps l'unique combustible.

Sa combustion peut être décomposée en 3 étapes.

#### Le séchage

A partir de 100°C jusqu'à 250°C. En effet un bois parfaitement sec contient encore 17 à 20% d'humidité. A ce stade il y a consommation d'énergie. Cette vapeur s'échappe sous forme de fumée blanche.

#### La pyrolyse et la carbonisation.

La pyrolyse est la décomposition sous l'effet de la chaleur des composés organiques du bois dont la cellulose qui va rendre son carbone disponible pour l'oxydation et créer la chaleur. La combustion est une réaction d'oxydation.

Si le bois est sec, et si l'apport d'air est suffisant les fumées, noires au début, vont s'enflammer. Les flammes vont se développer rapidement et atteindre une température de 800° à 900°C. Les braises, elles, auront une température au alentour de 350/400°C

Plus l'apport d'oxygène est important plus les températures atteintes seront hautes.

### OBTENTION DU FEU PENDANT LA PREHISTOIRE.

Le feu est obtenu au tout début par conservation d'une braise résultat d'un incendie naturel puis par deux procédés : l'utilisation d'un briquet pyrite de fer et silex, ou le frottement de deux morceaux de bois.

Une autre source de chaleur que l'homme préhistorique a pu connaître, c'est la lave dont la température varie de 500° à 1200°c.

### LE FEU ET LA TECHNOLOGIE

On obtient du plâtre à partir du gypse à 180 /200°C. L'hypothèse d'une découverte fortuite est réaliste à partir du moment où l'homme commence à contenir le feu dans un foyer.

C'est un peu plus compliqué pour faire de la chaux. Il faut atteindre 900/950°C au cœur de la pierre c'est peut être encore possible dans l'hypothèse d'un feu nu mais c'est tout à fait la limite.

RAPPEL : Pour un feu nu, la température des braises est aux alentours de 350° C et la température de flamme plafonne vers 900°C. On peut augmenter ces températures en fermant le foyer et en améliorant la ventilation ce qui est le cas dans un four. Elles peuvent dans ces conditions atteindre 1500°C. Dans ce cas la combustion sera aussi beaucoup plus complète.

### LA METALLURGIE

L'accès à la métallurgie nécessite l'usage d'un four même rudimentaire.

Le plomb, un des premiers métaux utilisés, fond à 327°C. Mais la galène, principal minerais de plomb, ne peut pas être grillée en dessous de 1000° C, c'est hors de portée d'un feu de bois nu.

Tous les fours vont être réalisés de la même manière, un combustible, un produit à transformer, et une soufflerie le tout dans une maçonnerie plus ou moins verticale qui sert à guider le flux d'air, à contenir et concentrer la chaleur.

Donc les premiers fours vont atteindre et dépasser 1000°C et s'attaquer à la métallurgie du plomb du cuivre et des autres métaux à bas point de fusion.



On va également utiliser ces fours pour cuire les poteries. A petit feu vers 800°C céramiques classiques, vers 1200°C le grès et à grand feu 1300°C et plus pour la porcelaine. Toutes ces techniques sont encore utilisées de nos jours. (J'ai vu à Katmandou cuire des poteries destinée à usage unique dans un silo de paille à l'air libre).

En améliorant la ventilation on peut atteindre les 1400 °C nécessaires à l'obtention du verre, on peut en conclure que cette température a été atteinte dès 5000 ans avant notre ère.

Le combustible va également évoluer, on utilisera exclusivement le bois au début. L'usage du charbon de bois plus efficace correspond aux débuts de l'âge du fer, le charbon de terre apparait au 11<sup>ème</sup> siècle mais son usage est limité. C'est au 18<sup>ème</sup> siècle qu'il participe au développement de l'industrie notamment comme combustible des chaudières à vapeur. A

la fin de ce siècle le développement du coke obtenu par pyrolyse du charbon va permettre son apparition dans la sidérurgie.

## LES FOURS MODERNES.

Le principe est resté le même, y compris pour les hauts fourneaux de la sidérurgie où la maçonnerie a fait place à un corps métallique protégé par des enduits réfractaires.

Il faudra attendre la découverte de l'électricité pour que les fours changent radicalement de physionomie avec l'apparition des fours à résistance électrique.

Et après ? Il faudra attendre 1897 (Henri Moissan invente le four à arc électrique) pour que la température d'un four atteigne 2000°C. 6000 ans pour gagner 600°C.

Aujourd'hui les fours peuvent avoir des tas de sources d'énergie, le soleil, le bois, le charbon de bois, le charbon, l'électricité, le gaz pour ne citer que les plus courantes.

L'électricité dans des fours à induction haute fréquence permet d'atteindre 3000°C sur de l'acier en faisant jouer les interactions entre l'électricité et le métal (courants de Foucault). Ce procédé se retrouve maintenant dans nos cuisines à une échelle plus modeste (plaques à induction).

Il va sans dire que la structure des ces fours n'a rien à voir avec celle des premiers fours de l'humanité.

### **AUTRES TEMPERATURES REPERE**

Une cigarette 1200°C. Mention légale « FUMER TUE ».

Les fours à fusion flash développés dans les années 1945/1950 qui servent à griller les métaux sulfurés (cuivre, plomb, nickel). Ils fonctionnent à une température d'environ 1250°C.

Lampe à souder au butane environ 700°C à 1700°C.

Le gaz de ville 1900°C.

La fameuse réaction de vos premières expériences de chimie  $O_2+H_2$  plus allumette = 2500°C + H<sub>2</sub>O.

La soudure à l'arc 3000°C

Chalumeau autogène ou oxyacétylénique 3100°C.

A titre indicatif, le record de la plus haute température obtenue par l'homme est de 4000 milliards de degrés obtenu par le Collisionneur d'ions lourds relativistes (RHIC) du Laboratoire national de Brookhaven (Angleterre), 250 000 fois plus chaud que le centre du Soleil. Cette température a été obtenue pendant une micro fraction de seconde sur quelques atomes d'or le tout contenu dans un gigantesque champ électromagnétique. Heureusement car à ces températures c'est la fusion nucléaire et c'est tout le laboratoire, voir plus, qui brule si la chaleur n'est pas contenue.

### **TEMPERATURE DE FUSION DE QUELQUES METAUX OU MINERAIS**

ETAIN 231°C

PLOMB 327.5°C

ZINC 419°C

ALUMINIUM PUR 660°C

ARGENT 961°C

GALENE 962°C

OR 1064°C

DISULFURE DE MOLYBDENNE 1185°C

SILICIUM 1414°C

FER PUR 1535°C

CHROME 1800°C

VANADIUM 1910°C

MOLYBDENE 2623°C

Et enfin un dur à cuire le TUNGSTENE 3422°C