

La Métallurgie

(... Pour La Route Des Canons...)

... Histoires de métaux, de fours, et autres transformations chimiques qui ont chamboulés les modes de vie au fil du Temps...

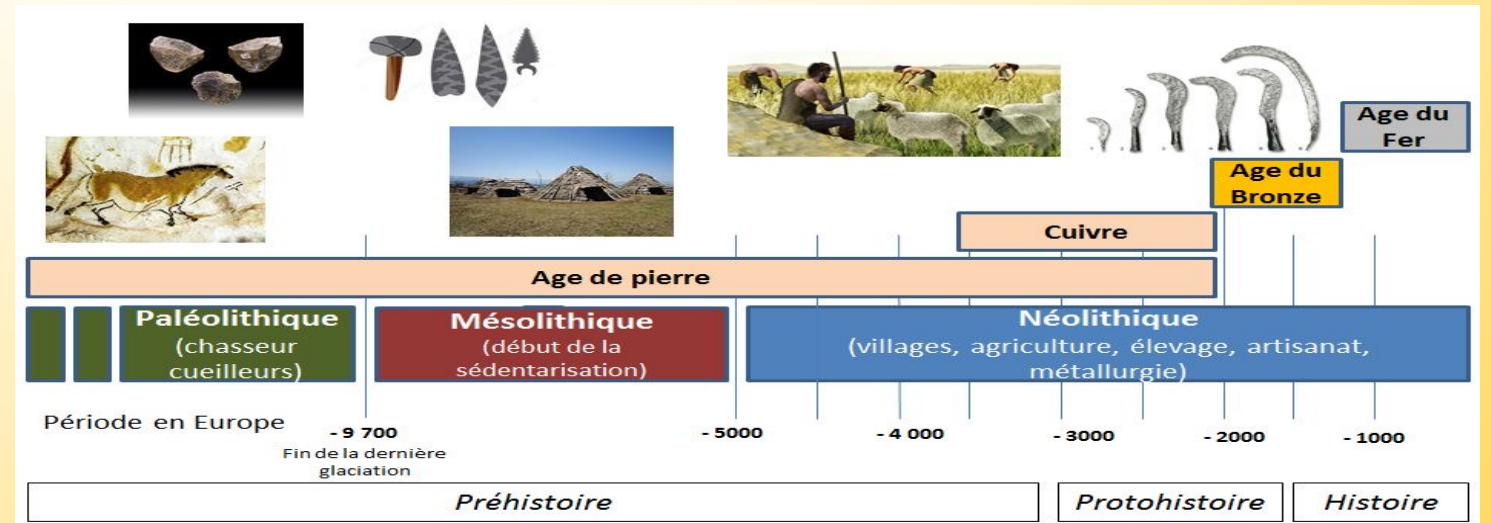


Un peu d'Histoire...

... Et je dirais même plus... de Préhistoire...

Le découpage de la préhistoire fait émerger un "système des trois âges" :
=> L'âge de la Pierre, l'âge du Bronze et l'âge du Fer.

- Néolithique. -6000. / -2300.
- Âge du Bronze. -2300. / -800.
- Âge du Fer. -800. / -50.
- Antiquité -50. / 500.



La Métallurgie (... Vulgarisation pour les adhérents de la RDC...)

Le Néolithique. -6000. / -2300

Le Néolithique est la dernière période de la Préhistoire.

Son nom même signifie l'âge de la pierre nouvelle, en référence à la technique de la pierre polie, l'une des grandes innovations de cette période. Désormais le polissage va permettre d'utiliser d'autres pierres que le silex.

L'Homme se sédentarise, développe l'agriculture et l'élevage.

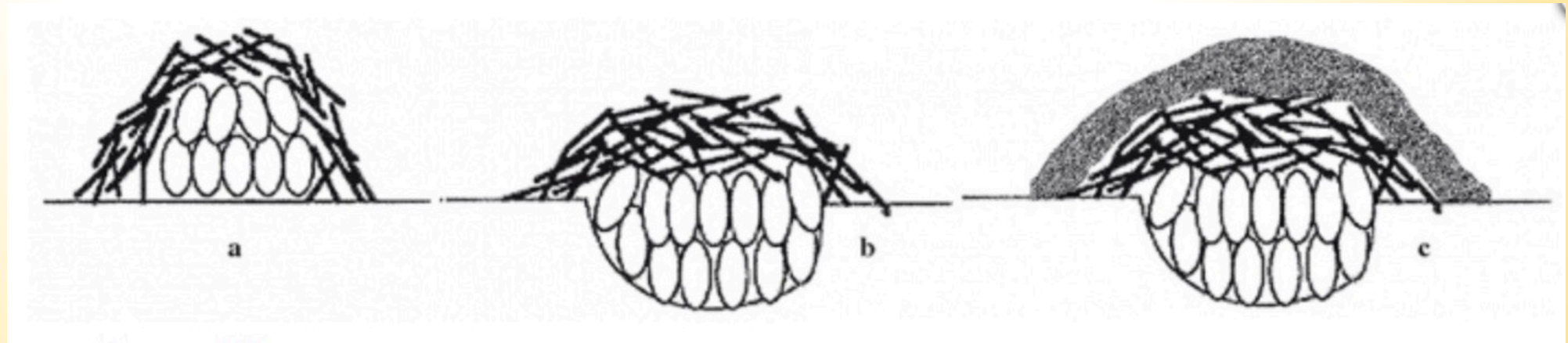
Si la technique de la terre cuite est connue avant le Néolithique, pour faire des statuettes, par exemple, c'est à cette période qu'elle se répand et se généralise pour la fabrication de récipients en terre cuite.

La céramique est la toute première technique artisanale qui passe par une transformation chimique de la matière par l'utilisation des fours.



La Métallurgie (... Vulgarisation pour les adhérents de la RDC...)

Les fours au néolithique



Les poteries étaient cuites à même le sol ou dans une fosse aménagée. Beaucoup de poteries étaient noires : Le principe consiste à empiler des poteries sur un lit de combustible déposé directement sur l'aire de cuisson ou dans une excavation. L'ensemble est ensuite recouvert de bois, puis le foyer embrasé. Aussitôt que les flammes retombent, on recouvre de terre ou de sable, afin que la poursuite de la cuisson et le refroidissement s'effectuent « à l'étouffée », sans apport d'oxygène.



l'Histoire du Cuivre

Le cuivre était (Avec l'or ou l'argent) le premier métal utilisé à grande échelle par l'homme.

Les premiers travailleurs du cuivre ont vite constaté qu'il pouvait être facilement martelé en feuilles et que celles-ci étaient façonnées à leur tour en formes, qui devenaient de plus en plus complexes à mesure que leurs compétences se développaient.

Point de fusion 1 085 °C



L'Étain

À l'état non raffiné, l'étain ressemble à de minuscules granulés gris-noir rugueux.

Il a été assez facilement repéré par les hommes comme un minerai utile.

En fusion à « seulement » 232°C , ce métal non ferreux est facilement malléable pour la réalisation de petits objets ou récipients.



Point de fusion 232°C



Petite introduction sur les alliages

Un alliage est un produit métallique, composé à partir d'un ou plusieurs métaux auxquels sont incorporés des éléments chimiques.

Un métal pur a des caractéristiques mécaniques relativement faibles. Le fait d'ajouter d'autres éléments permet d'obtenir un nouveau matériau, qui devient donc un alliage, aux caractéristiques améliorées : bien souvent plus dur, l'alliage obtenu permet également d'améliorer d'autres caractéristiques (Comme le comportement à la corrosion ou la facilité de mise en œuvre : coulabilité par exemple).

Les éléments d'alliages ou « additifs » sont le plus souvent des métaux (Cuivre + Etain = Bronze / Cuivre + Zinc = Laiton), mais peuvent également être d'autres éléments chimiques : (Fer + Carbone = Acier ou fonte)



La Métallurgie (... Vulgarisation pour les adhérents de la RDC...)

Age de Bronze

Le Bronze est le premier alliage métallique créé par l'Homme vers -2000 av. JC. Le bronze a donné son nom à une période de notre histoire, tant il a révolutionné les usages.

Au sens métallurgique du terme, le bronze désigne tout alliage de cuivre (dont la composition est supérieure à 65 %) et d'étain, ce dernier étant l'élément d'addition principal

Point de fusion du cuivre : 1085 °C - Dureté 3 sur l'échelle de Mohs
Point de fusion de l'étain : 231,9 °C - Dureté 1,65 sur l'échelle de Mohs

Point de fusion du Bronze : 890 °C - Dureté 4 sur l'échelle de Mohs



La Métallurgie (... Vulgarisation pour les adhérents de la RDC...)

Age de Bronze

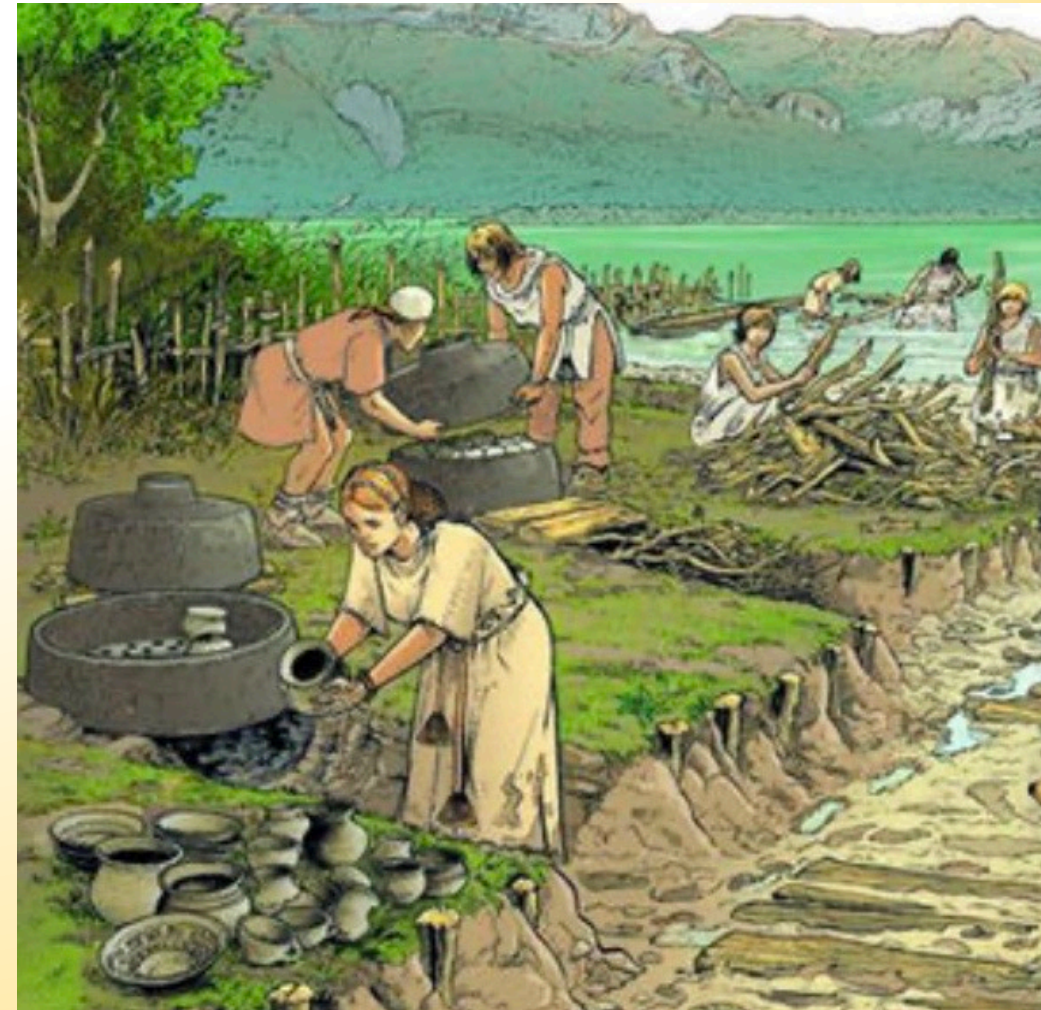
la métallurgie du bronze nécessite un savoir-faire parfait de l'art du feu. Les hommes du néolithique la maîtrisent correctement avec la cuisson de la céramique.

Il y a d'ailleurs beaucoup de similitude entre le four du potier et le four du bronzier.

Les peuples utilisent la résistance de ce nouvel alliage pour créer divers armements, outils et objets du quotidien pour parer à la fragilité des poteries et des accessoires en bois. Ce matériau a aussi une grande qualité, il est « facilement » réparable.

Le bronze fait ses premiers pas en Grèce et Mésopotamie vers 3000 av. J.-C.

Il se développe dans toute l'Europe 1000 ans plus tard, principalement sous l'impulsion des cultures guerrières nordiques qui déferlèrent sur l'Europe.



La Métallurgie (... Vulgarisation pour les adhérents de la RDC...)

Age de Bronze

Face à la demande croissante de cuivre et d'étain (peu présents à l'état natif), des routes commerciales vont rapidement voir le jour.

Les premières exploitation de Cuivre provenaient d'Anatolie.

Les routes commerciales transitaient majoritairement par l'est sur les axes du Rhône et du Danube ainsi que sur le pourtour méditerranéen.

La route de l'étain reliait la Bretagne (Grande Bretagne actuelle) et l'Armorique (Bretagne)

Les échanges se font, à l'ouest, par l'Atlantique, entre la péninsule Ibérique et les îles Britanniques



La Métallurgie (... Vulgarisation pour les adhérents de la RDC...)

L'Age de Fer

Le minerai de fer

Le fer se trouve à l'état naturel dans des roches (minerais) contenant des oxydes de fer. À partir de l'Âge du fer (1200 avant J.-C.), on parvenait à l'extraire en le chauffant, pour fabriquer outils, armes et ustensiles.



Deuxième métal le plus courant après l'aluminium, le fer figure à la quatrième place des éléments de l'écorce terrestre ; on estime qu'il constitue 5 % de son poids.

Dans notre région, on trouvait du minerai de fer à fleur de terre que l'on faisait fondre grâce au charbon de bois des châtaigniers locaux et que l'on forgeait à la force des cours d'eau. « On a recensé jusqu'à 140 forges à la fin du XVIIIe siècle dans un triangle Angoulême-Périgueux-Limoges »



Un peu de Chimie

Le fer est un métal abondant, relativement peu coûteux à produire. On peut trouver des minerais contenant une forte proportion de fer dans le monde entier, mais celui qui est le plus couramment utilisé pour l'extraction du fer est l'hématite.

L'hématite est une forme naturelle d'oxyde de fer la plus courante, de composition chimique : Fe_2O_3 . Soit 2 atomes de Fer et 3 atomes d'Oxygène

Elle contient environ 70 pour cent de fer en masse. Cela signifie qu'avec une extraction parfaite, en prenant un kilo de minerai, on obtient 700 grammes de fer pur. Mais, ce n'est pas si simple...

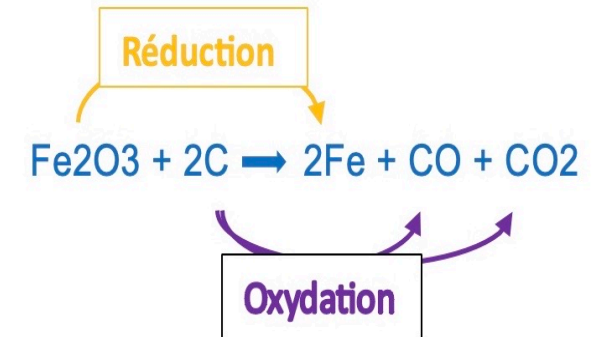
Pour la transformation du minerai (Hématite), il faut de la chaleur (Feu ou Four), et du charbon (C, carbone).

Quand on chauffe des oxydes de fer avec du carbone, l'oxygène de la molécule du minerai passe du fer au carbone.

Et en même temps, le carbone est oxydé en un mélange de monoxyde de carbone et de dioxyde de carbone.

L'hématite, Fe_2O_3 , est alors réduite en fer

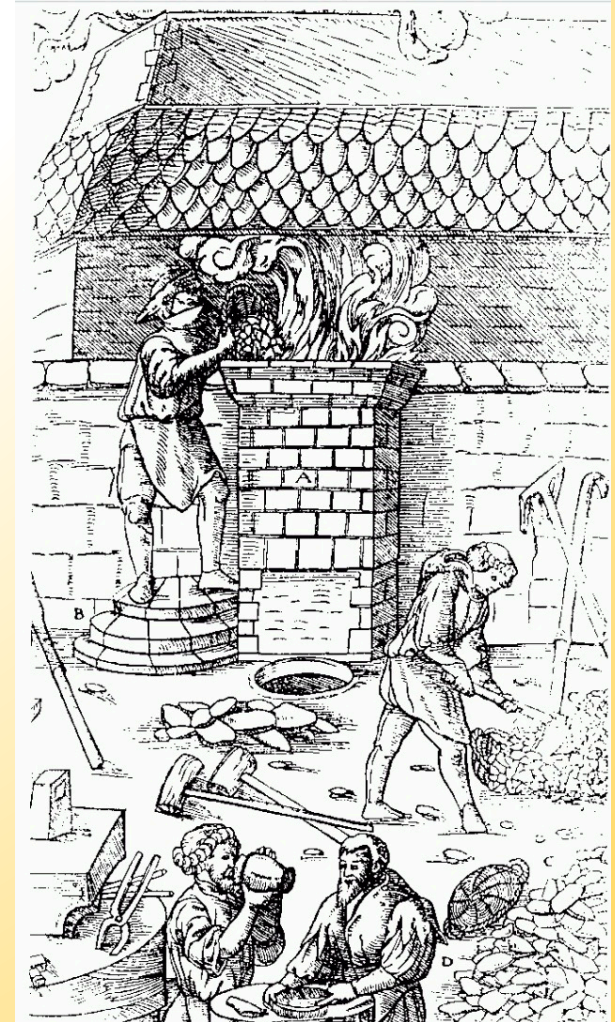
Les Réactions : Réduction du minerai de Fer par le Carbone



Les premiers bas fourneaux

Le premier outil de réduction du minerai de fer utilisé a été le bas fourneau au début de l'âge de fer.

Dans sa forme la plus primitive, le bas fourneau est un trou dans le sol d'environ 30 cm de diamètre, rempli de charbon de bois et de minerai. Le feu est généralement attisé au moyen d'un soufflet. Au bout d'une dizaine d'heures, on démolit le four et on récupère une loupe incandescente, de la taille du poing mélange hétérogène de fer plus ou moins réduit et de scories. Bien que la température atteinte, entre 700 et 900 °C, y soit suffisante pour la réduction du minerai de fer, on est encore loin de la température de fusion du fer (1 536 °C).

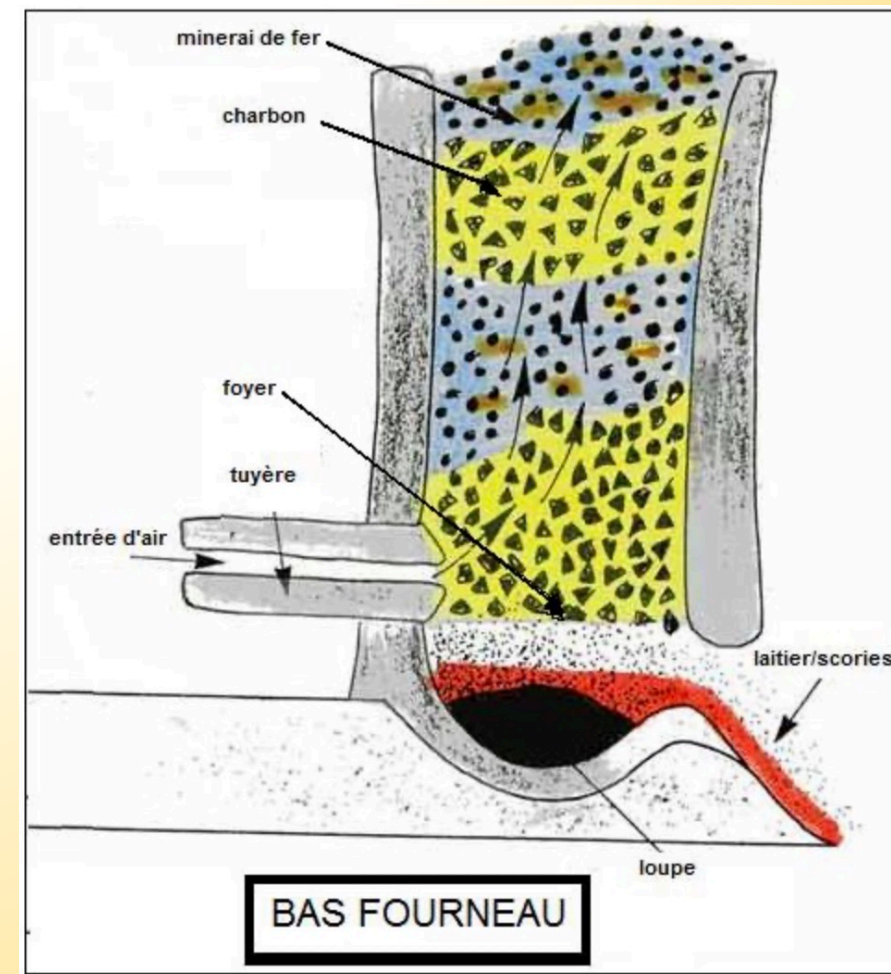


Le bas fourneau surélevé pour des pièces forgées

Peu à peu, les métallurgistes ont surélevé la construction et l'ont doté d'une ouverture latérale à sa base pour faciliter l'alimentation en air. Une courte cheminée facilitera le rechargement du four pendant son fonctionnement, tout en activant le tirage. Des températures de 1 000 à 1 200 °C sont ainsi atteintes et les scories, devenues liquides, peuvent être extraites par l'ouverture.

On attise alors le feu en renforçant le tirage naturel par augmentation de la hauteur en adossant, par exemple, la construction à un talus. De même, des soufflets permettent une alimentation en air plus efficace et mieux contrôlée.

Grace à ces améliorations, ils produisent une loupe pesant de quelques kilogrammes à plusieurs dizaines de kilogrammes à l'issue de campagnes de 4 à 20 heures. Cette loupe est ensuite débarrassée des impuretés (charbon et laitier) par un martelage alterné avec plusieurs réchauffages, et finalement forgée pour obtenir les objets souhaités.



Principe :

Le bas-fourneau est d'abord complètement rempli de charbon de bois. Ce charbon est allumé par en dessous, via l'orifice prévu pour l'écoulement des laitiers.

Une fois la combustion lancée, cet orifice est soigneusement colmaté pour conserver la chaleur.

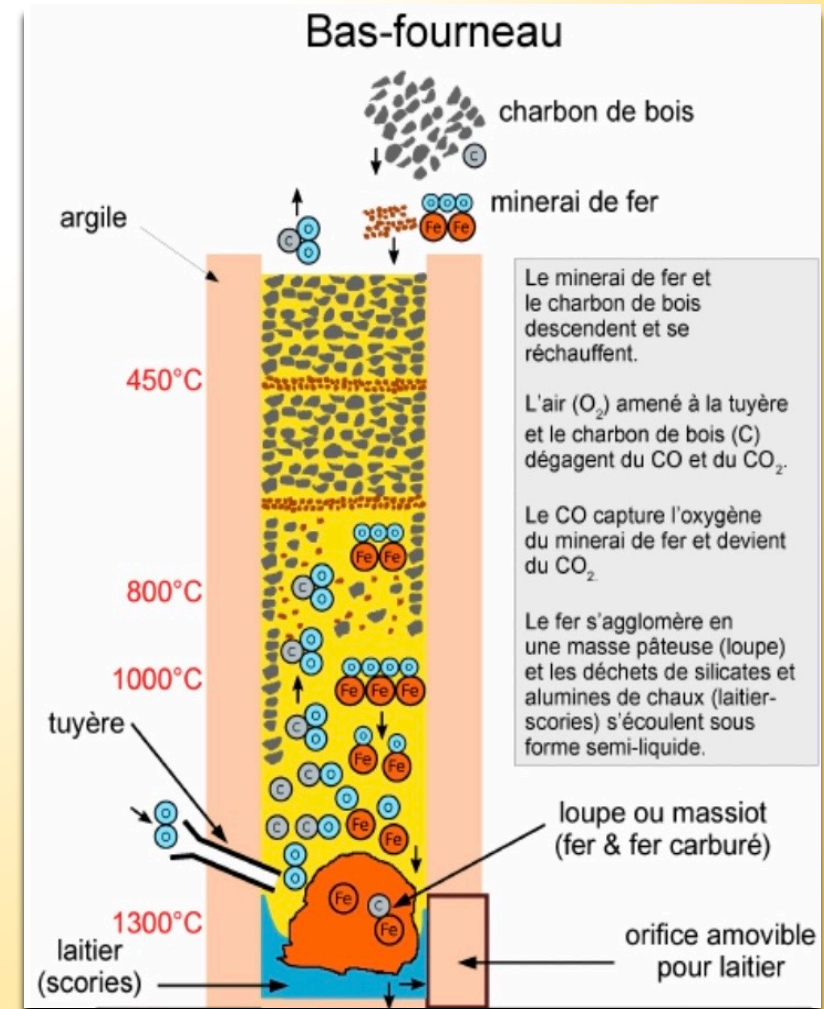
Ensuite, le bas-fourneau sera rempli en alternance par des couches de charbon de bois et de minerai de fer.

Avec la combustion, le niveau descend lentement dans le fourneau et on replace dans le fourneau une couche de charbon surmontée de minerai. L'opération est répétée continuellement jusqu'à épuisement du minerai.

Il est important de bien peser les couches de charbon de bois et de minerai de fer.

Pour obtenir la température nécessaire à la réduction, il va falloir enrichir la combustion en oxygène (Et souffler, souffler, ...).

La vitesse de descente (et donc de combustion) du charbon de bois dans le fourneau sera liée à cette ventilation



Le fonctionnement du bas-fourneau

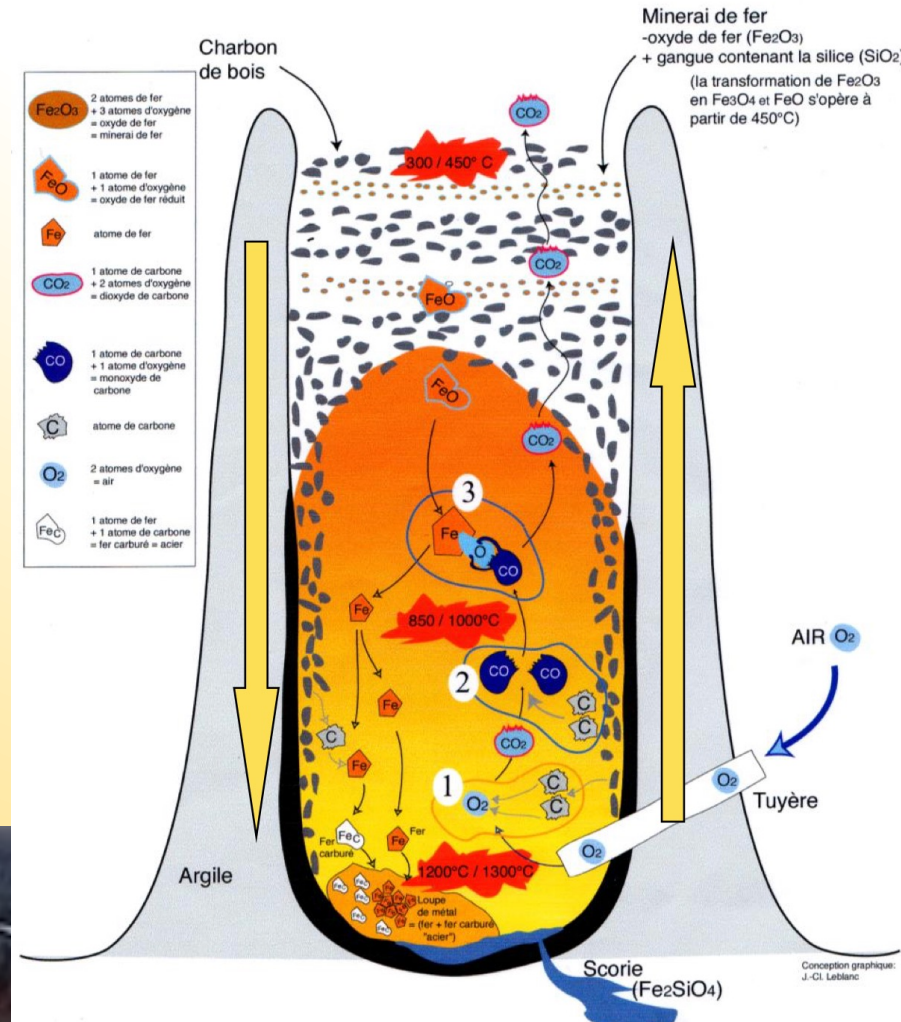
Il faut trouver un équilibre subtil entre une granulométrie assez fine des solides pour un bon rendement et une structure assez perméable pour laisser les gaz circuler.

Marche descendante des solides



Les solides sont introduits par le haut du fourneau

Sous l'effet de leur poids, ils descendent vers les parties inférieures.



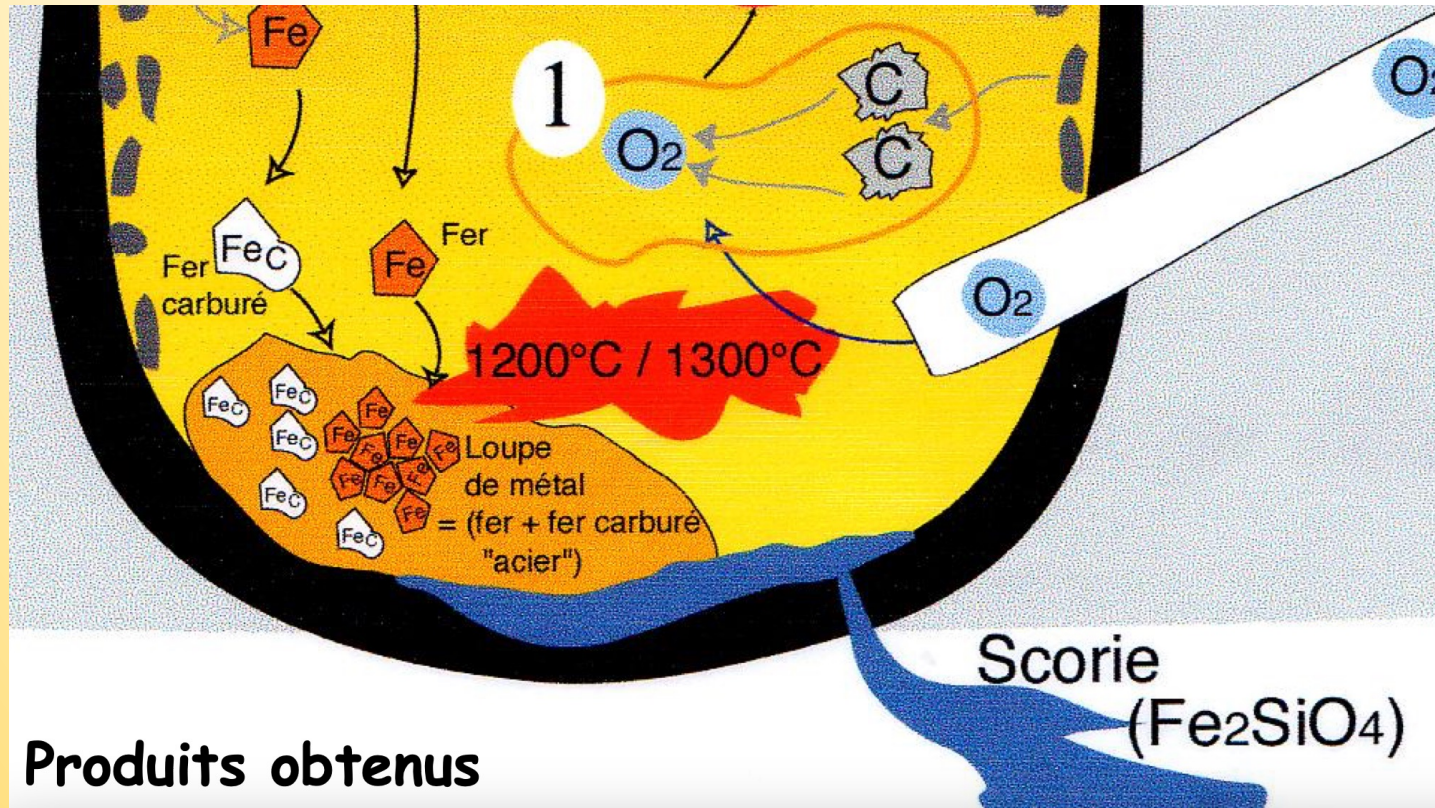
Sous l'effet de la température, les gaz (O_2 , CO , CO_2) ont tendance à monter.

L'air est injecté à la partie inférieure du fourneau.



Marche ascendante des gaz





A la base du bas-fourneau , il se forme :

- Une loupe de métal constituée essentiellement de fer et fer carburé
- Des scories ou laitier.

La température atteinte est insuffisante pour obtenir du fer liquide puisque la fusion du fer survient à 1536°C.



Principe (Suite) :

Après quelques heures de combustion, une masse pâteuse de fer se forme au bas du fourneau. C'est le moment de percer le fond du fourneau pour permettre à une première partie du laitier/scoories de s'écouler.

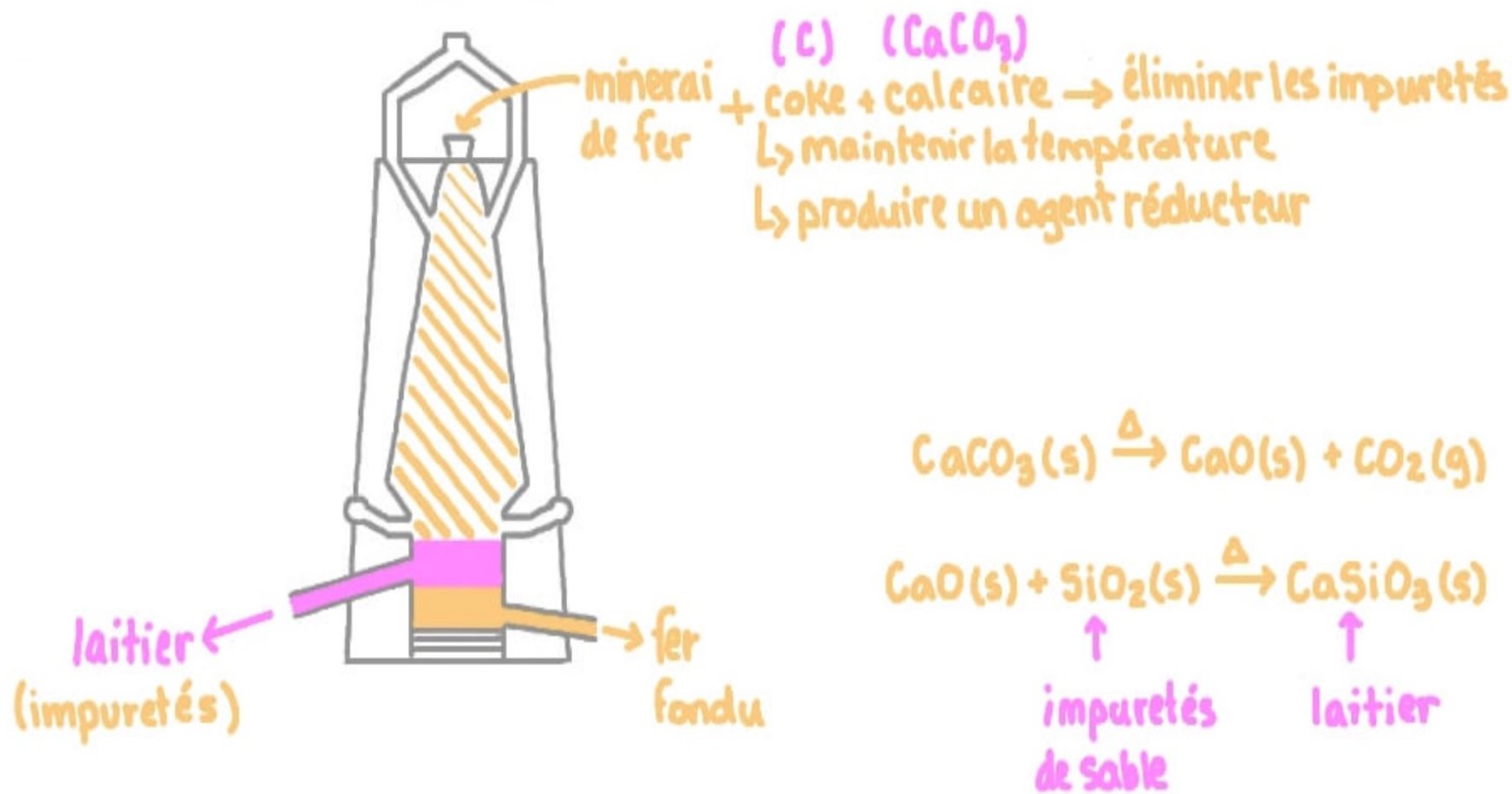
La loupe se constitue au bas du fourneau.

Le bas du fourneau est à nouveau ouvert pour permettre au reste du laitier de s'écouler. Le fourneau est alors complètement démantelé car la loupe adhère aux parois. Ce type de fourneau est donc à usage unique.

Il faut environ 1,1 kg de minerai de fer, 0,630 g de charbon, 0,055 g de calcaire pour obtenir 1 kilo de fer.

Le calcaire est utilisé comme liant ou fondant pour la formation du laitier. Le laitier permet de retirer les impuretés néfastes de la loupe.





CaCO₃ = Carbonate de calcium
(Composant du calcaire)

CaO = Oxyde de calcium
(Chaux vive)

SiO₂ = Silice

CaSiO₃ = Wollastonite
(Laitier)



Invention du haut fourneau en Chine pour réaliser des pièces moulées

Les Chinois commencent à faire fondre le fer dès le Ve siècle avant notre ère.

Le fer, issu d'une loupe obtenue au bas fourneau, est alors fondu dans des fours assez semblables au cubilot.

Le cubilot est un four vertical, une sorte de grand cylindre dans lequel la loupe (Fe) est en contact direct avec le charbon ou le coke.

Lorsque le fer chaud entre au contact avec le charbon de bois, il absorbe le carbone contenu dans le combustible jusqu'à s'en saturer. On obtient alors de la fonte, plus facile à fondre que le fer, homogène et débarrassée des impuretés présentes dans la loupe. Les européens ne maîtriseront cette technologie du haut fourneau qu'au XIV.

Point de fusion du Fer : $1536^{\circ} C$

Point de fusion de la fonte : $1260^{\circ} C$



Si mouler du cuivre et du bronze est bien maîtrisé, en Europe, il ne sera possible de couler de la fonte en quantité qu'à partir du milieu du XIV^{ème} siècle.

A cette période l'augmentation des dimensions des fours rend indispensable l'utilisation de l'hydraulique pour actionner les soufflets et permettre ainsi d'atteindre des températures supérieures à celles obtenues dans les bas fourneaux et la découverte d'un nouveau métal : la fonte qui va pouvoir être moulée.

Le fer est un minerai connu et travaillé en Europe depuis 800 avant J.-C. (date du début de l'Âge du fer), mais la mise au point des hauts-fourneaux vers 1340 provoque un changement dans la métallurgie du fer.

En effet, dans la première moitié du 14^e siècle, dans la région de Liège en Belgique, de nouveaux types de fours sont élaborés pour accroître la production de fer. Avec l'augmentation de la taille des fours, c'est le procédé chimique de la transformation du minerai en fer qui est modifiée : les hauts-fourneaux ne permettent plus de produire du fer, mais de la fonte, un alliage de fer riche en carbone.

Facile à couler et à mouler à l'état liquide, elle se révèle très solide mais parfois cassante à l'état solide.



Bas fourneau

Dans un montage en forme de tube, de cheminée, on empile du charbon de bois et de minerai de fer.

On lance la combustion du charbon de bois et pour faire monter la température, avec des soufflets, on pousse de l'air.

Vers 1100°C, la roche qui enserme le minerai fond et s'écoule. A la fin de la combustion du charbon de bois, on démolit le four et on récupère une sorte d'éponge de fer.

On va chauffer ce morceau de « fer », et le battre pour éliminer les impuretés.

Haut fourneau

Ici aussi c'est un tube vertical.

On empile du minerai de fer préparé (enrichi par séparation de tout ce qui peut être séparé mécaniquement) et du coke (charbon préparé).

On lance la combustion. Afin d'augmenter la température de combustion on insuffle de l'air très chaud (C'est grâce à la récupération de la chaleur des fumées sortantes que l'on peut obtenir cette température pour l'air rentrant).

La température élevée fait fondre la roche qui contient le minerai (cela devient le laitier).

Les réactions à l'intérieur du haut fourneau associent le fer au carbone et produisent de la fonte.

Le haut fourneau donne une production en continu de fonte.

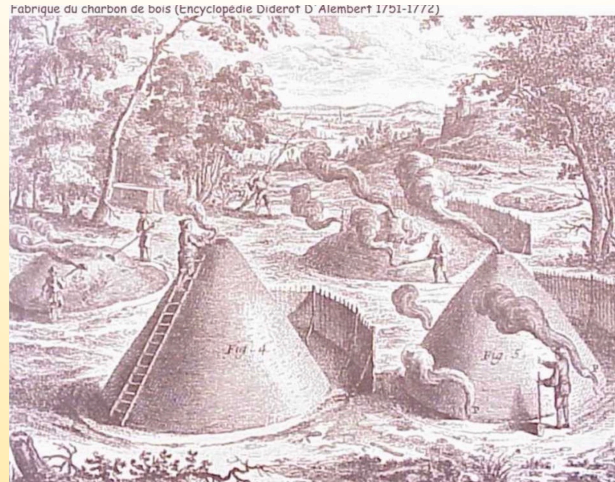


Et le Charbon...

L'industrie sidérurgique de l'époque a besoin de bois : pour obtenir 50 kg de fer, il faut 200 kg de minerai et 25 stères de bois.

En quarante jours, une seule charbonnière déboise une forêt sur un rayon de 1 km. Ceci ne pose pas de problème tant que les défrichages sont utiles au développement de l'agriculture, mais au XIII^e siècle une limite est atteinte : les forêts gardent un rôle nourricier important, le bois est indispensable à la construction et au chauffage et la noblesse tire des revenus de l'exploitation forestière.

Dès lors, les défrichages sont de plus en plus contrôlés et l'exploitation forestière de plus en plus règlementée. Le prix du bois monte.



Les besoins en métaux étant en hausse (Fer et Monnaie), l'industrie minière se développe pour récupérer de la houille



Le Coke

C'est le risque de pénurie de charbon de bois qui oblige l'industrie métallurgique anglaise à rechercher une autre matière première. L'idée est d'utiliser le charbon de terre (Houille). Or, à l'état brut celui-ci est impropre aux utilisations de cette industrie.

On développe alors à l'aide de grands fours la transformation de houille en Coke (t° jusqu'à 1000° sans Oxygène pendant 20h). En France, les premiers essais au coke n'ont lieu qu'en 1769.

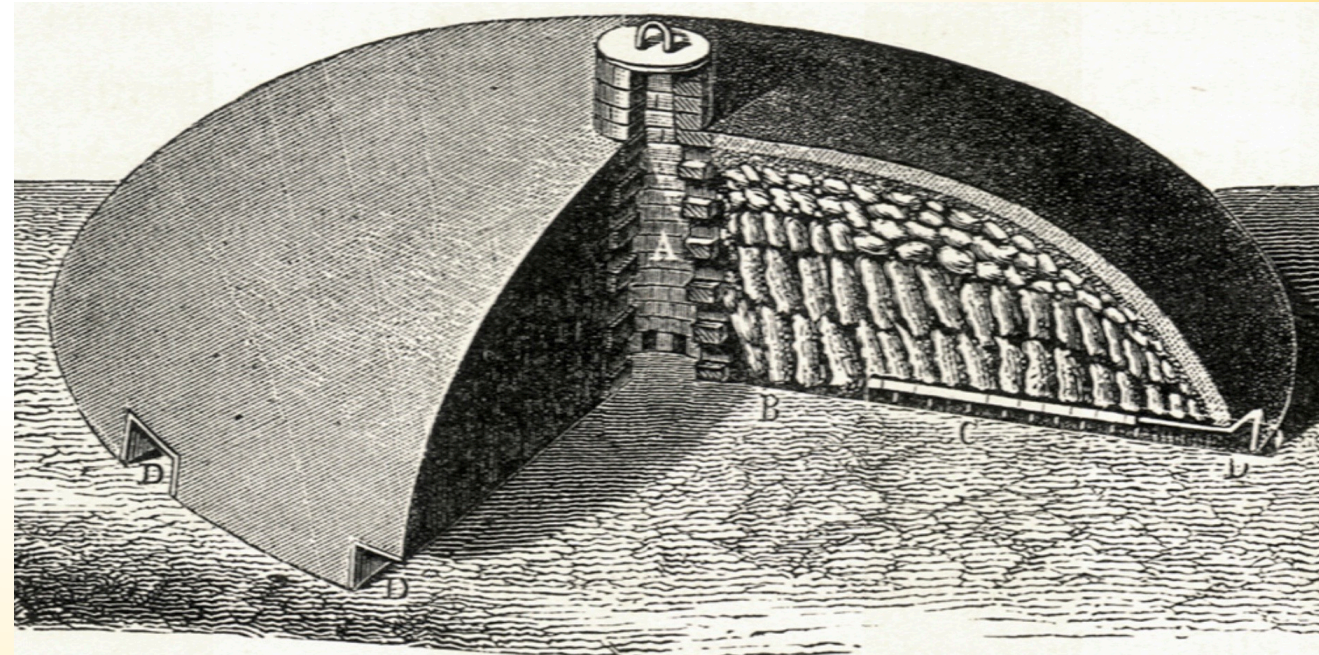


Fig. 2. — Meule à coke.

Grace à son fort pouvoir calorifique et sa teneur en Carbone sans impuretés, plus résistant à l'écrasement que le charbon de bois, il va le remplacer rapidement et sera principalement utilisé dans les hauts fourneaux où il permet d'atteindre des températures très élevées.



La Métallurgie (... Vulgarisation pour les adhérents de la RDC...)

Gestion des déchets...

Les minerais de fer étant toujours associés à une gangue d'oxydes et de silicates, ceux-ci forment des scories qui s'agglomèrent par fusion sous l'effet de la température (Le laitier). La fonte présente une densité de 7 alors que le laitier est autour de 3, ainsi les deux liquides en fusion initialement réunis se séparent par densité, la fonte restant à la base du four et le laitier (liquide silicaté fondu) « surnageant » sur la partie supérieure, ce qui permet de l'éliminer facilement soit :

- Par une sortie qui permet l'écoulement du liquide en fusion vers une fosse à eau où il subit un refroidissement très rapidement (trempe) et se solidifie pour donner un matériau vitreux. Une fois broyé finement le laitier vitrifié de haut fourneau peut être un constituant principal du ciment et introduit comme additif au béton.
- Par une sortie qui l'envoie dans une fosse où le laitier refroidit lentement. Le produit obtenu est une roche poreuse mais résistante, généralement utilisée en remblai (Ballast des voies de chemin de fer par exemple, ou en briques de construction).



La Métallurgie (... Vulgarisation pour les adhérents de la RDC...)

Et la Sidérurgie dans tout ça ?

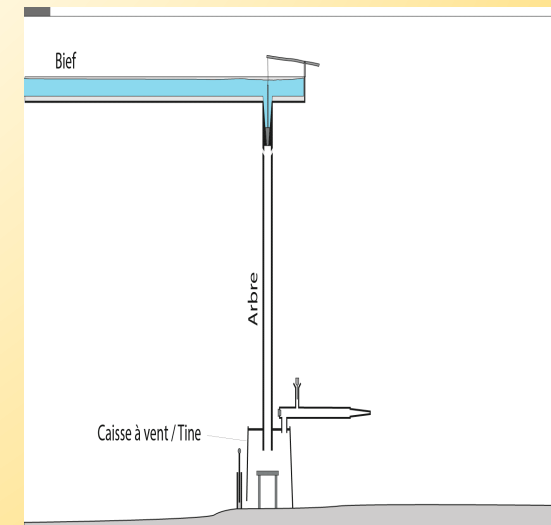
le fer est le métal le plus utilisé au monde... En fait sa production représente 95% du volume de la production mondiale de métal.

Son utilisation intensive depuis des siècles a fait que la branche de la métallurgie qui s'occupe de l'extraction et de la transformation de ce métal ait sa propre entité, et nous parlons donc de sidérurgie pour y faire référence. La sidérurgie est donc la métallurgie du fer et de l'acier.

Pendant des siècles, la métallurgie du fer et de l'acier n'a cessé d'être améliorée (Technologie de fabrication). Il convient de souligner l'importance de la péninsule ibérique en tant que région sidérurgique et l'invention de la forge catalane en Catalogne, dont l'utilisation s'est ensuite étendue partout dans le monde.

Mais ce n'est qu'au XIXe siècle que l'industrie sidérurgique connut son plein épanouissement, lorsque l'amélioration des fours permit de fabriquer à grande échelle de l'acier pas cher.

À la fin de ce siècle, il avait déjà remplacé le fer forgé dans presque toutes ses applications.



Principe forge Catalane



La Métallurgie (... Vulgarisation pour les adhérents de la RDC...)

La Fonderie

La fonderie est l'un des procédés de formage des métaux qui consiste à couler un métal ou un alliage liquide dans un moule pour reproduire, après refroidissement, une pièce donnée (forme intérieure et extérieure) en limitant autant que possible les travaux ultérieurs de finition

La coulée est une opération fondamentale dans la mise en forme des métaux, et pour contenir le métal liquide et le former à la demande, il est nécessaire d'utiliser un moule.

Les premiers moules seront réalisées pour recevoir du cuivre en fusion entre 4000 et 5000 ans avant J.C. d'abord en sable ou en argile, l'homme utilisera rapidement la pierre gravée, en versant le métal en fusion dans une empreinte formée dans celle-ci.

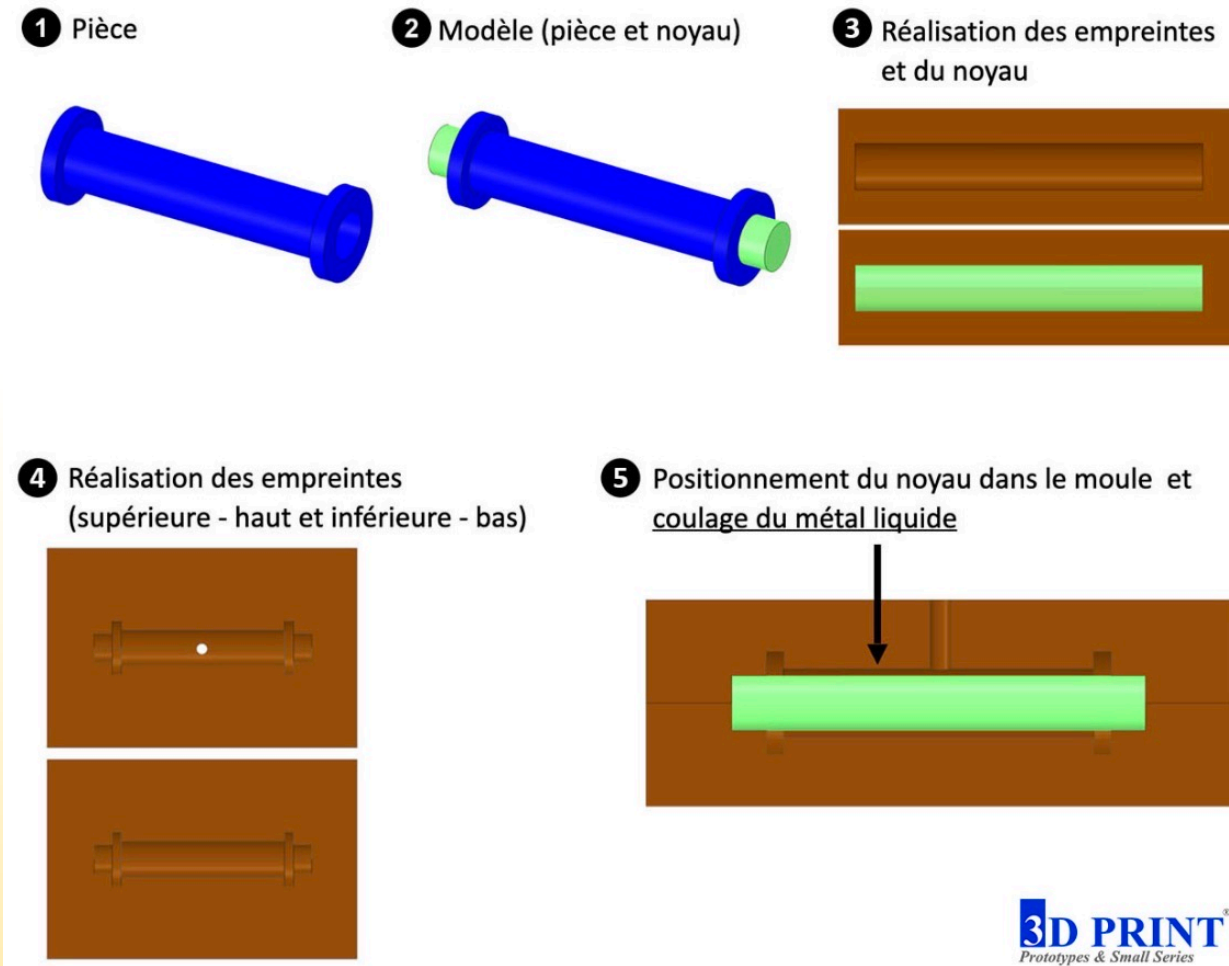
Avec l'arrivée du Bronze, L'homme va perfectionner sa technique en fermant le moule. Le modèle de l'objet est réalisé en cire que l'on recouvre d'argile que l'on fait cuire, la cire en fondant laisse son empreinte à l'intérieur, il ne reste plus qu'à verser du métal en fusion, de laisser refroidir et de casser le moule pour récupérer l'objet.

On coulera alors de petits objets, mais aussi de très gros, comme une statue de 2 tonnes et mesurant 1,30 m. qui a été retrouvée en Iran, montrant ainsi la compétence acquise par les fondeurs au 2ème millénaire av J.C.



Principe des moules à noyaux

1. A partir de la pièce à réaliser, un modèle est fabriqué. Il peut être en différents matériaux : bois, résine, métal...
2. Le noyau (en vert) correspond aux zones vides de la pièce (cavités et/ou trous) empêchant le métal de remplir toute l'empreinte.
3. Le noyau est posé sur des supports en partie basse du moule afin qu'il tienne dans le moule.
4. Une fois que le moule est refermé, le métal liquide est coulé.
5. Une fois la pièce refroidie, elle est récupérée après destruction du moule.
6. Une étape de finition est nécessaire (ébavurage et/ou reprise en usinage).



La Métallurgie (... Vulgarisation pour les adhérents de la RDC...)

Les canons

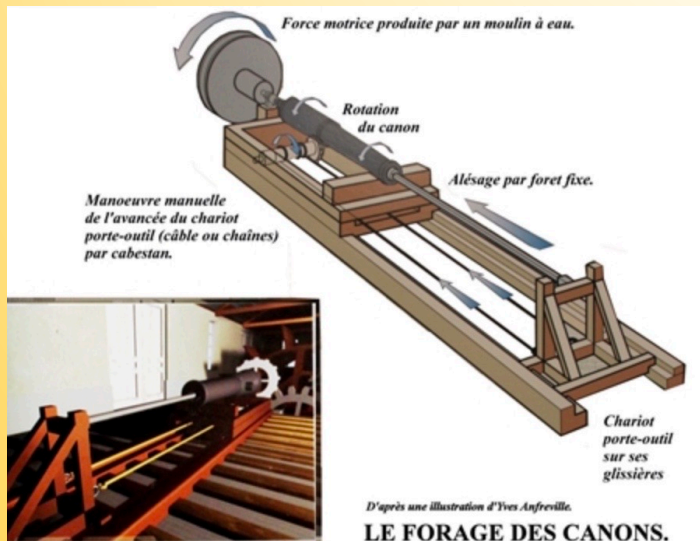
vers 1470, les canons, alors en cuivre ou en bronze furent produits d'une seule pièce par fonderie par des artisans, souvent les mêmes qui réalisaient les cloches. Le bronze restera longtemps la matière des futs des canons. Ces alliages cuivreux furent remplacés par le fer à partir du 17^{ème} siècle car il permettait d'alléger la masse des systèmes d'artillerie et surtout leurs coûts (facilité de transport, plus gros calibre possible).

Si leurs efficacités étaient toute relative, du moins au début, ils avaient surtout un effet psychologique indéniable en effrayant hommes et chevaux (bruit, flammes, ...). Le canon va peu à peu protéger villes et châteaux, être utilisé dans les batailles en plaines et surtout, équiper les navires. La maîtrise des canons était cependant encore très mauvaise (trop de poudre utilisée, peu de précision, faible cadence de tirs de 6 à 10 coups/heure, ...).



L'arrivée de l'Usinage

Jean Maritz (1680-1743) invente une machine à forer les canons. La pièce d'artillerie coulée pleine tourne à la rencontre d'un burin de forage immobile. Cela améliore la fabrication des canons de bronze par une fiabilité meilleure et une longévité accrue. Ce procédé se fait d'abord verticalement pour utiliser le poids du fût.



Maritz améliore sa technique en pratiquant l'alésage des canons à l'horizontale : la précision et la régularité du forage de la pièce sont bien meilleurs, accroissant l'efficacité du tir.

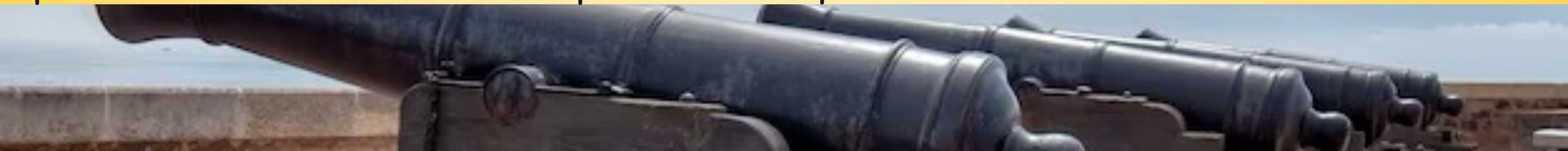


L'importance du projectile

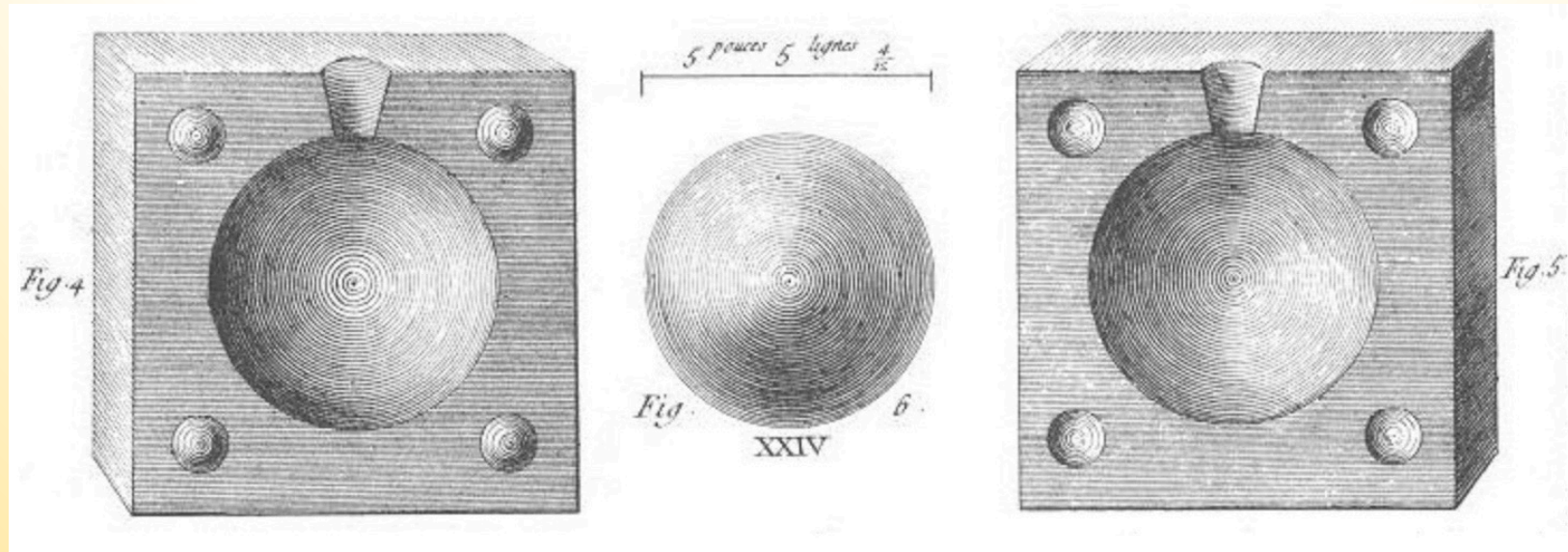
Les premiers boulets de canons étaient en pierre.

A partir de 1470 en Europe il vont être progressivement remplacés par la fonte. En effet, cette dernière, par sa densité 3 fois plus élevée, permettait une diminution des calibres et donc un allègement des pièces d'artillerie. De plus, la fonte était nettement plus performante à l'impact. L'utilisation de la fonte a également permis une certaine standardisation de la taille des boulets et donc du calibre des canons.

Les boulets étaient chargés par l'avant du canon et utilisaient une poudre noire. Ces boulets ont disparu dans les guerres modernes au profit des obus, chargés par la culasse et utilisant une poudre chimique.



Le moulage du projectile



La production de la fonte en moule métallique n'est pas récente car déjà au XV^e siècle, on produisait des boulets de canons en fonte dans des moules métalliques en deux parties.



L'acier

Au sens métallurgique, Un **acier** est un alliage métallique constitué principalement de fer et de carbone. Il se distingue des fontes par sa teneur en carbone comprise entre 0,02 % et 2 % en masse. C'est essentiellement cette teneur en carbone qui confère à l'acier ses propriétés.

L'histoire de l'acier est indissociable de celle du fer. En l'espace de quelques millénaires, un processus sommaire et très artisanal est devenu une industrie aux investissements colossaux capable de sous-tendre une révolution industrielle, politique et économique.

Au moyen âge, on désignait sous le terme « acier », les alliages qui prennent la « trempe », c'est-à-dire qui durcissent lorsque l'on trempe dans l'eau le métal chauffé au rouge. Le terme de « fer » désignait le métal qui ne durcit pas par trempe. Il faut attendre la fin du XVIIIe siècle pour que la distinction entre « fer », « acier » et « fonte » se fonde sur le taux de carbone contenu dans l'alliage.



La Métallurgie (... Vulgarisation pour les adhérents de la RDC...)

La métallurgie ensuite...

L'histoire du haut fourneau est le fruit d'innovations ayant permis d'atteindre les hautes températures nécessaires à la fusion du métal.

Les 3 innovations majeures furent :

- L'utilisation des énergies hydrauliques pour le soufflage de l'air de combustion
- Le remplacement du charbon de bois par la houille (Coke) au début du XVIIIe siècle
- Le préchauffage de l'air de combustion vers le milieu du XIXe siècle

Les hauts fourneaux contemporains : En 1974, le haut fourneau 4 d'Arcelor Dunkerque, avec ses 14 m de diamètre au creuset, s'adjuge le record européen avec plus de 10 000 tonnes de fonte/Jour. A l'intérieur du creuset la température est de 2 000 degrés.

Piloter ce process expose l'automatisme et l'instrumentation à des conditions extrêmes. 1100 capteurs directement sur le haut fourneau lui-même et 700 autres dans les ateliers périphériques comme le système d'épuration des gaz et le traitement du laitier. En comparaison, une grosse berline de luxe utilise une centaine de capteurs...

La durée de vie de l'enveloppe réfractaire d'un haut fourneau est de 10 ans.



La Métallurgie (... Vulgarisation pour les adhérents de la RDC...)

La métallurgie ensuite...

Ce n'est cependant véritablement qu'avec la révolution industrielle, le développement des sciences et des moyens de mesure (composition chimique, microstructure, dureté, ...) que la métallurgie connaîtra un essor considérable.

Dans beaucoup de secteurs, l'acier en viendra à remplacer la pierre (ponts, construction d'usines, ...) ou le bois (construction navale, mobilier intérieur, ...).

Certaines métallurgies (aluminium, zinc, ...) apparaîtront plus tard car nécessitant de l'électricité pour leur production par électrolyse. D'autres (titane, ...) verront leur usages liés au développement d'industries spécifiques (aéronautique, médical).

De nombreux procédés de transformations (moulage sable, fonderie sous pression, moulage en coquille, ...) ou d'assemblage (soudage, collage, ...) se développeront pour s'adapter aux contraintes des nouvelles pièces complexes.



Merci de votre Ecoute et Participation

La route des canons
Préparé par Pascal Faucon

