

RAPPORT ARCHÉOLOGIE EXPÉRIMENTALE

INTRODUCTION À LA RÉDUCTION DE MINÉRAI DE FER



Du 10 au 12 Juin 2025

Arts du feu 1ère et 2ème année

Laura Baj, Mika Miossec : élèves en spécialité céramique

Sacha Gauthier, Julie Petit : élèves en spécialité métal

Sous la direction de Christophe Colliou, docteur et chercheur au CRAHAM

SOMMAIRE

SOMMAIRE	2
REMERCIEMENTS	3
INTRODUCTION	4
I. Histoire de la réduction de minerai de fer	5
A) La réduction dans son histoire	5
B) Le processus chimique en œuvre	7
C) Les traces archéologiques	9
II. Le four, son fonctionnement	10
III. Expérimentation de la réduction de fer par le procédé direct	12
A) Préparation du four	12
B) Lancement du four	13
C) Mise en œuvre du procédé de réduction	16
D) Refroidissement du four	19
CONCLUSION	21
BIBLIOGRAPHIE	22

REMERCIEMENTS

Nous tenions à remercier Christophe Colliou pour son cours plus qu'intéressant et instructif, ainsi que sa transmission de savoirs lors de la réalisation de cette initiation. Merci d'avoir pris le temps de nous montrer et de nous expliquer ces techniques anciennes et d'avoir partagé avec nous ses connaissances, ses questionnements et ses anecdotes ; et grâce à qui nous avons disposé de l'ensemble du matériel nécessaire aux expérimentations.

Nous remercions également nos professeurs d'atelier, Martine Bailly et Marie-Anne Loeper-Attia, d'avoir permis l'organisation de cette semaine d'archéologie expérimentale. Une approche tangible et concrète de la recherche scientifique qui nous sera utile pour les projets futurs, tant au sein de l'INP que dans notre vie professionnelle.

INTRODUCTION

La semaine d'archéologie expérimentale s'est déroulée du 10 au 12 juin 2025 au sein de l'atelier Arts du Feu métal, dans les locaux de l'Institut National du Patrimoine. Notre équipe se composait de quatre élèves de première et de seconde année, deux personnes de la spécialité céramique et deux de la spécialité métal.

L'objectif de ces quelques jours était de s'initier à la réduction de minerai de fer telle qu'elle était effectuée dans la métallurgie ancienne du fer. Ainsi, nous avons d'abord commencé par de la théorie en étudiant l'histoire de la métallurgie ancienne et ces procédés techniques, puis nous sommes passés à la pratique pour tenter de reproduire ladite technique, à la manière de nos ancêtres.

Étant donné le peu de temps dont nous disposions, nous n'avons pas pu poursuivre notre expérimentation jusqu'à l'étape de forgeage afin d'obtenir une barre de fer à partir de la loupe que nous avons obtenue par réduction.

Nous avons pu réaliser cette expérimentation avec la collaboration de Christophe Colliou, directeur de Meta-lab et du bureau d'étude Metascan, créé en juin 2018, ainsi que docteur de l'Université de Rouen et chercheur en collaboration avec le CRAHAM (Centre de Recherches Archéologiques et Historiques Anciennes et Médiévales).

I. Histoire de la réduction de minerai de fer

A) La réduction dans son histoire

Le fer est le dernier métal découvert dans l'histoire de la métallurgie ancienne, après le cuivre et le bronze, pour ses propriétés chimiques afin de pouvoir créer des outils et des armes. Dû à la complexité de sa métallurgie, il est utilisé plus tard que l'or et le cuivre.

Dans la chronologie occidentale, pour l'emploi du fer, le I^{er} âge du fer, dit Hallstatt, s'étend de 800 à 450 avant notre ère et le 2nd âge du fer, dit La Tène, de 450 à 50 avant notre ère.

Il s'agit d'un métal qui n'existe pas à l'état métallique sur la surface terrestre, outre le fer météoritique qui est très rare. En effet, les minerais de fer exploités sont des oxydes de fer, tel que l'hématite (Fe_2O_3), ou des carbonates de fer (FeCO_3).

Pour obtenir du fer métallique, il faut procéder à l'extraction des impuretés présentes dans le minerai. Il faut réduire le fer pour qu'il passe de l'état ionique à l'état métallique. La réduction de minerai de fer peut se réaliser selon deux techniques :

- Par procédé direct en bas-fourneau
- Par procédé indirect en haut-fourneau

Le minerai extrait est préalablement trié pour éliminer la matière exploitable et permettre le bon déroulement de la réduction. Il subit alors un grillage pour en fragiliser la structure, puis un concassage, permettant de le réduire en poudre.

La **réduction directe (- 1 000 au début du XX^e siècle)** par bas-fourneau est une technique à faible rendement. En effet, le métal reste à l'état solide et conserve donc nombre d'impuretés. Le résultat obtenu par réduction directe est une loupe (ou massiot) qui correspond à un agglomérat de fer, d'impuretés de carbone et de diverses scories (résidu solide provenant de la fusion de minerais métalliques). Celle-ci est épurée par une étape de cinglage, soit un travail de compactage de cette loupe, permettant de retirer les impuretés restantes et ainsi d'obtenir une éponge de fer sous forme de lingot que l'on pourra ensuite forger. Le martelage, aux prémices de la technique, s'effectue avec un outil en bois afin d'éviter les ondes de choc pouvant faire éclater le métal.

C'est une technique de production de fer qui est encore employée au Japon dans la fabrication d'armes rituelles.

La température atteinte en sortie de tuyère est aux alentours de 1 300°C, afin d'atteindre la température de soudabilité du fer, sans s'élever à sa température de

fusion et de tomber dans sa phase liquide à partir de $1\,537^{\circ}\text{C}$ ¹. Ainsi, le métal est conçu dans sa phase solide, par réduction du minerai de fer.



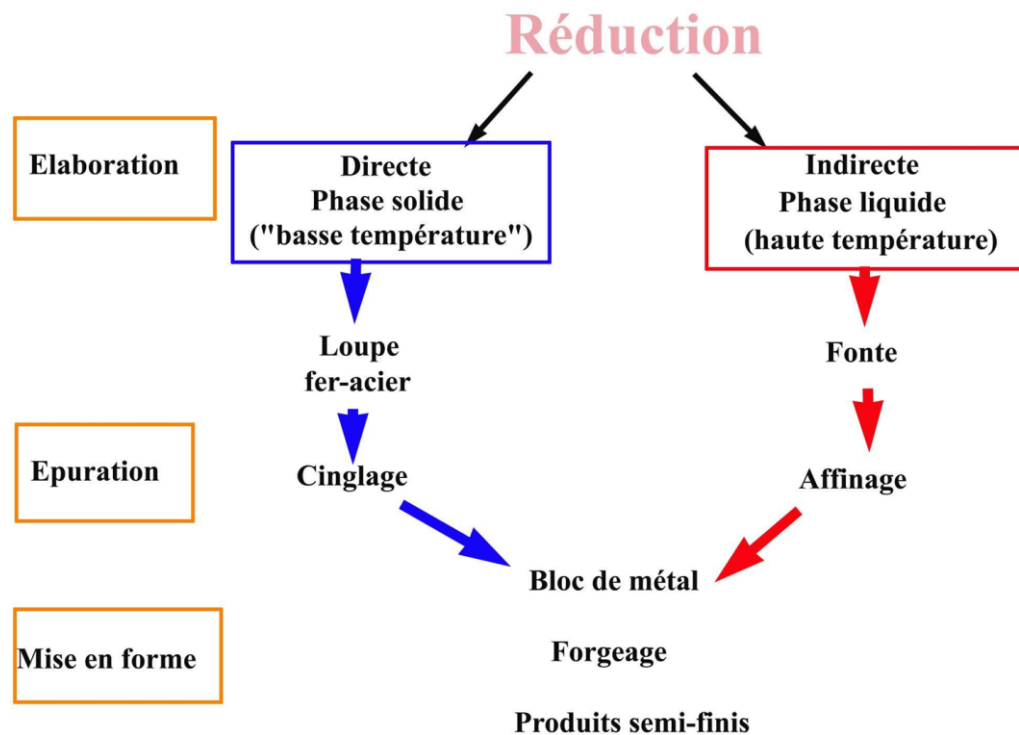
Fig. 1 : Agricola, bas fourneau, système à réduction directe (XVI^e s.)

La **réduction indirecte (1 300 à 2 000)** s'effectue dans un haut-fourneau, correspondant aux premiers balbutiements de la métallurgie moderne. C'est une technique qui demande une technologie plus avancée, car elle consiste en la fonte du fer. Il faut alors atteindre son point de fusion élevé (1537°C).

On procède ensuite à un affinage de cette fonte avant de la couler en lingotière sous sa phase liquide.

Pour le procédé de réduction indirecte, l'utilisation de charbon de bois, de bois ou encore d'autres combustibles est possible. Or, pour le procédé de réduction directe, le charbon de bois est le seul combustible utilisable.

¹ Colliou, Christophe. *Introduction à la métallurgie ancienne*.



*Fig. 2 : Schéma récapitulatif des deux types de réduction du fer
©Colliou Christophe, Introduction à la métallurgie ancienne.*

Durant notre semaine d'archéologie expérimentale, nous avons effectué une réduction du minerai de fer par le procédé direct avec l'utilisation d'un bas-fourneau.

B) Le processus chimique en œuvre

Le principe même de la réduction de fer repose sur l'extraction du fer du minerai de fer. En effet, il s'agit, sur le plan chimique, d'une oxydo-réduction, autrement dit une réduction du nombre d'atomes d'oxygène lié au fer qui sont arrachés par le monoxyde de carbone produit lors de la combustion du charbon dans le four.

Au départ, nous avons le minerai qui est composé d'oxydes et de carbonates de fer (principalement sous forme de Fe_2O_3 , appelé hématite, Fe_3O_4 , appelé magnétite et FeO , appelé wüstite). Le minerai est introduit dans le four avec le charbon de bois qui va brûler mais de façon incomplète et produire du monoxyde de carbone (gaz hautement réducteur). Des gaz réducteurs vont donc se générer. Dans la zone de combustion et en présence d'air, le carbone va se transformer en dioxyde de carbone ($\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$). Ensuite, le dioxyde de carbone réagit avec le carbone chaud pour donner du monoxyde de carbone ($\text{CO}_2 + \text{C} \rightarrow 2\text{CO}$). C'est ce dernier qui est le principal agent réducteur dans le four.

Nous procédons ensuite à une réduction successive des oxydes de fer.

- 1 On a tout d'abord la réduction de l'hématite (Fe_2O_3) en magnétite (Fe_3O_4) ;
 $3 \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO} \rightarrow 2 \text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO}_2$
- 2 On a ensuite la réduction de la magnétite (Fe_3O_4) en wüstite (FeO) ;
 $2 \text{Fe}_3\text{O}_4 + 2 \text{CO} \rightarrow 6 \text{FeO} + 2 \text{CO}_2$
- 3 Enfin, la wüstite (FeO) se réduit en fer métallique (Fe) ;
 $6 \text{FeO} + 6 \text{CO} \rightarrow 6 \text{Fe} + 6 \text{CO}_2$
- 4 Dans la partie basse du four, le fer s'agglomère en une masse pâteuse (loupe) et les déchets (scories) s'écoulent sous la forme d'un semi-liquide.

Toutes ces réactions se déroulent du haut vers le bas du fourneau, en suivant la montée de température comme l'indique le schéma ci-dessous².

À noter : le CO_2 émis à chaque étape remonte en haut du four, il n'est donc pas impliqué dans le reste des réactions concernant la transformation du minerai.

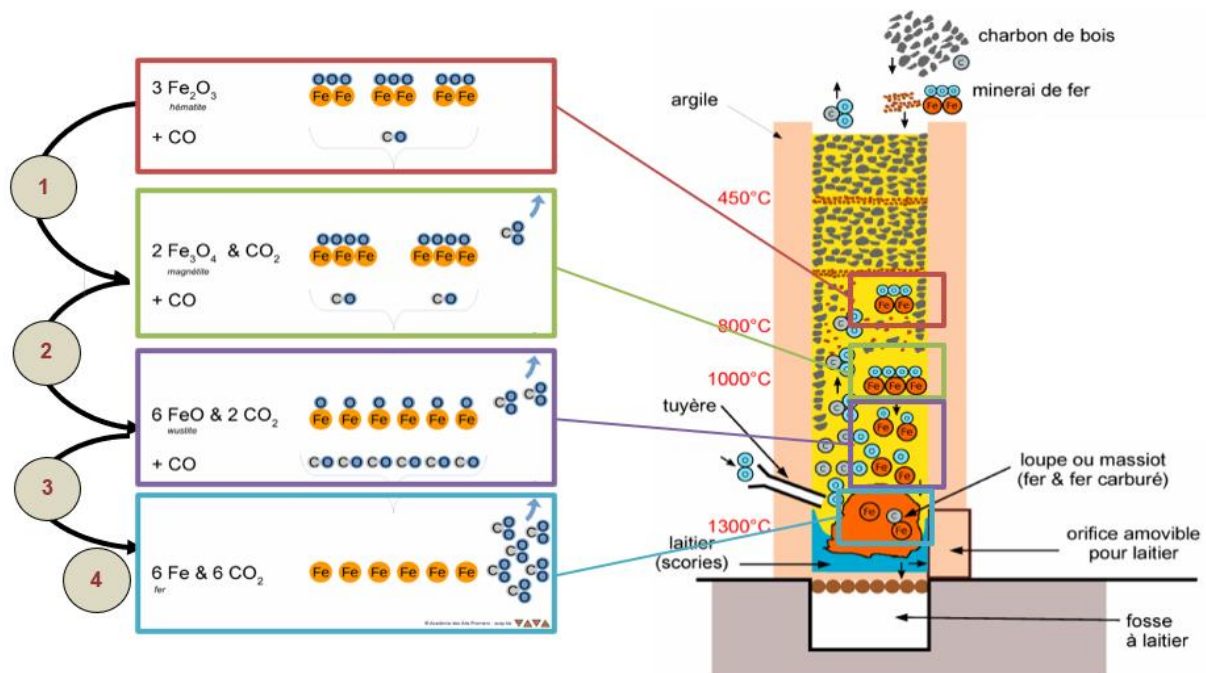


Fig. 3 : Schéma du processus chimique lors d'une réduction directe dans un bas-fourneau

Le bas fourneau réalise donc une réduction du minerai solide à un état solide sans passer par l'état liquide (d'où le nom « réduction directe ») ; il n'y a donc pas de fusion du fer (« réduction indirecte »). Cela est produit grâce au dioxyde de carbone

² Schéma personnel, inspiré et composé de schémas de l'Académie des Arts Premiers (https://www.acap.be/acap/index2.php?s=1&l=f&tb=tb_arts_feu&tb2=tb2_metal&m1=fer&m2=reduction_fer&m1tc=false&idform=).

(CO) produit par le charbon de bois. Le procédé direct permet d'obtenir un fer malléable et utilisable après forgeage. Or, ce procédé n'atteint pas les températures et la productivité d'un haut fourneau.

Comme le montre le processus chimique mis en œuvre, il est important de bien contrôler la proportion charbon/minerais pour assurer une réduction efficace et limiter les pertes en oxyde non réduit.

C) Les traces archéologiques

Lors des fouilles archéologiques, les traces de métallurgie sont notamment des restes de scories, majoritairement identifiées comme de la fayalite (Fe_2SiO_4)³. Ce déchet de la métallurgie permet de savoir l'opération qui a été menée dans le fourneau présent sur le site archéologique, à une époque donnée.

La scorie de forge est un élément hétérogène qui se compose d'une matrice homogène et de vides.

Les emplacements de production renseignent sur la technologie atteinte, la matière première disponible utilisée.

Le même type de fourneau peut être présent dans différents pays ou époques. De plus, certaines cultures réemploient leurs fourneaux existants, alors que d'autres les détruisent après utilisation dans un rituel⁴.

Le charbon de bois était le seul combustible utilisé dans la métallurgie ancienne. Pour l'obtenir, il fallait concevoir des meules de bois recouvertes de terre, nommées charbonnières, auxquelles on mettait le feu pour « charbonner » le bois sans le brûler.

Les sites qui ont été employés comme ateliers pour de la métallurgie sont repérables dans le décor environnemental. Tous les lieux ne peuvent correspondre. Le choix d'implantation dépend de la matière présente aux alentours, mais surtout et principalement de la terre. En effet, elle agit considérablement sur la réussite d'une réduction et sur son rendement. Il faut une argile ne possédant pas ou très peu de retrait pour éviter tout système de fissuration du four⁵.

Aujourd'hui, notamment en vue aérienne, il est possible de distinguer ces sites d'exploitation sur les champs où la terre est labourée, révélant des traces du passé. Si des taches noires ressortent, il s'agit de charbonnière en meule. En effet, en raison de carbonatations successives, des résidus de charbons de bois et de cendres s'accumulent progressivement dans le sol d'exploitation en plusieurs niveaux. Si ces tâches sont rouges, alors il s'agit vraisemblablement des ateliers de production. Cette coloration est induite par une importante présence de minerais de fer devenus oxydes. C'est notamment le cas de l'hématite qui se transforme en oxyde de fer (III), passant d'une teinte noire à rougeâtre.

³ Une espèce minérale silicate riche en fer qui se forme à partir de 1208°C.

⁴ Cas en Afrique, film de N.Echard "Noces de feu", 1968, au Niger.

⁵ Selon les travaux de C. Colliou.

II. Le four, son fonctionnement

Le four présent à l'école et qui sert à notre expérimentation a été construit par des élèves de l'atelier Arts du feu durant le cours d'archéologie expérimentale de l'année 2017. Nous avons choisi de le réutiliser étant donné son bon état de conservation au fil du temps et par le peu de temps disponible dans notre programme. Cependant, nous avons dû changer et renforcer quelques parties essentielles de la structure du four afin de garantir le bon fonctionnement de la réduction.

Le four a été construit en briques réfractaires, scellées avec de l'argile frais et enduites de barbotine afin d'étanchéifier la fournaise lors de la cuisson. Dû à l'utilisation de briques rectangulaires, sa forme n'est pas optimale pour préserver la chaleur dans les coins, espaces inutiles lors de la réduction. Il possède plusieurs ouvertures, chacune ayant sa propre utilité.

Sur la face dite « avant », on trouve une première porte qui sera scellée après le démarrage de la cuisson du charbon, à l'aide de briques de même composition que le four, et fermée à la barbotine. Les briques de la porte sont disposées en quinconce afin de pouvoir les attraper à la pince, facilitant la réouverture de cet accès. Celle-ci s'effectue à la fin du processus de réduction du minerai de fer, pour l'évacuation de la loupe de fer.

Sur le dessus du four, se trouve le gueulard, une ouverture qui permet l'évacuation des gaz et qui sert également au chargement du charbon de bois et du minerai de fer.

Sur la face dite « arrière » du four, se trouvent plusieurs éléments : nous distinguons deux petites portes sur la partie basse du four qui sont fermées à l'aide de boules d'argiles chamottées tout le long de la cuisson. Avant le retrait de la loupe, elles seront réouvertes afin d'évacuer les déchets de silicates et d'alumines qui s'écoulent sous forme semi-liquide du four, qu'on appelle « scories ».

De plus, nous retrouvons l'emplacement de la tuyère juste au-dessus des deux portes. Cette dernière a été remplacée par nos soins, car ce cylindre creux ne s'utilise généralement que pour une seule cuisson. Ainsi, nous avons dû la rendre cohésive au four grâce à l'apport de barbotine, appliqué autour des deux substrats et formants alors un « joint » cohésif.

La tuyère permet l'insertion d'un tuyau à deux branches confectionné par Christophe Colliou. Le tuyau a été placé directement dans la tuyère, et pour rendre étanche l'ensemble, un tissu imbibé de barbotine a été placé sur la jonction. La première section de ce tuyau à deux branches trouve en son bout une lunette qui permet d'observer l'avancée du processus de réduction. Il est alors possible de surveiller la formation de la loupe et que les scories n'obstruent pas l'entrée de la tuyère. Quant à l'autre branche, son ouverture permet l'entrée du comburant, qui est fixé en son bout.

Le comburant est l'air. Il peut être pulsé dans le four, mécaniquement ou manuellement.

L'outil manuel, nommé soufflet, est encore utilisé dans certaines manufactures. En outre, l'apport d'air par l'action humaine est fatigant et ne permet pas une ventilation régulière et homogène. En effet, le comburant doit être apporté de manière continue, c'est pourquoi le souffleur électrique, aussi dit « esclave mécanique » par Christophe, est désormais bien plus répandu. On parle alors d'une ventilation forcée.

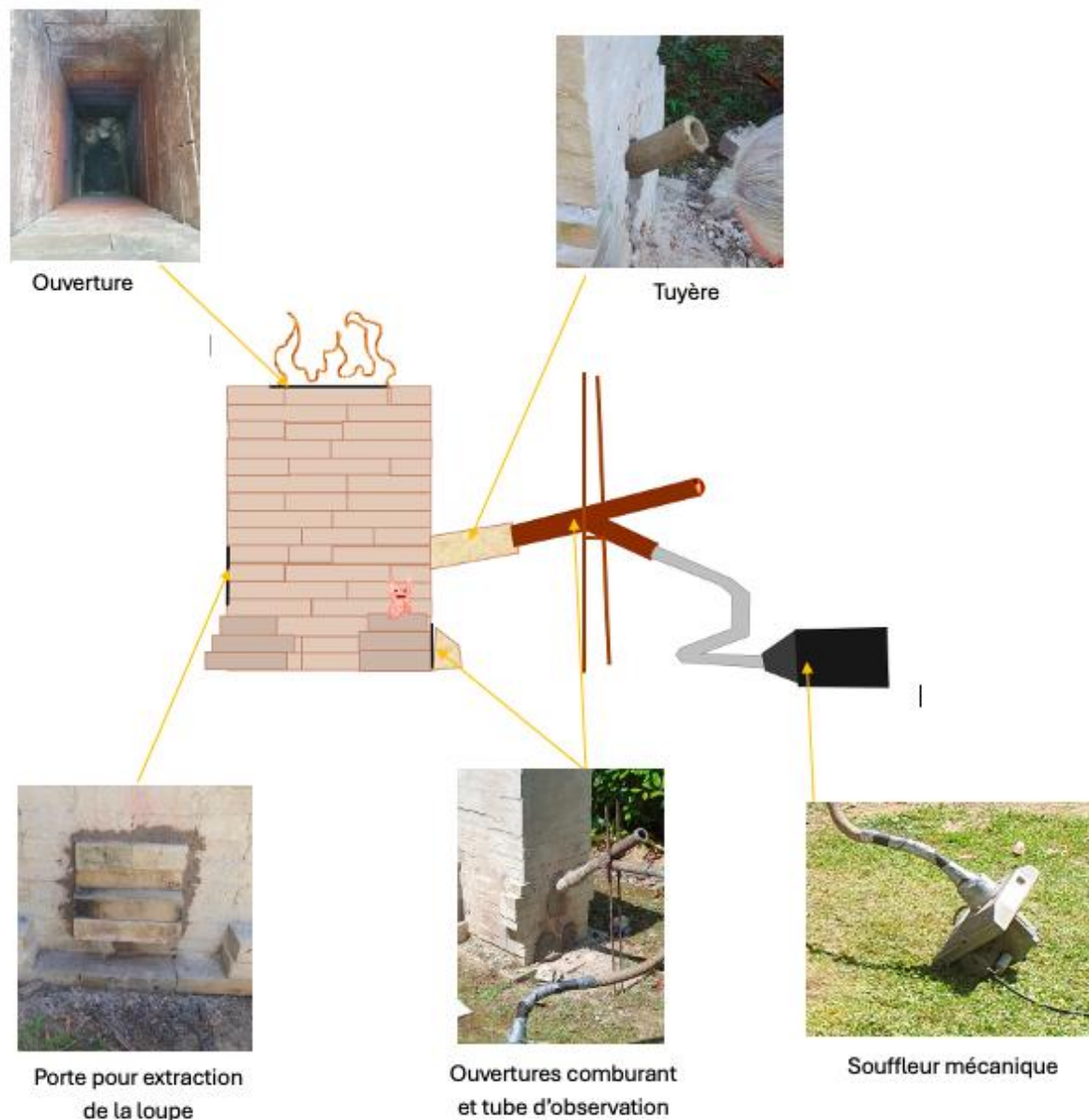


Fig. 4 : Schéma explicatif du four utilisé durant la semaine d'archéologie expérimentale

III. Expérimentation de la réduction de fer par le procédé direct

A) Préparation du four

Bénéficiant d'un four déjà construit lors du précédent cours d'archéologie expérimentale encadré par Christophe Colliou, nous nous sommes contentés de le nettoyer afin de le remettre en état de fonctionnement pour notre expérimentation.

Après l'avoir débarrassé des restes de charbon et des toiles d'araignée, nous avons préparé un enduit à partir d'une argile très chamottée et d'eau, soit de la barbotine, en vue de la consolidation ultérieure du four et d'optimiser son étanchéité.



Fig. 5 : Intérieur du four après nettoyage

La tuyère actuellement présente dans le four était trop endommagée pour pouvoir être réutilisée, nous l'avons donc remplacée par une nouvelle. Celle-ci fut confectionnée à la main⁶, selon une technique spécifique qui s'appuie sur celles produites aux époques anciennes.

La nouvelle tuyère a été installée dans l'emplacement prévu et son pourtour, enduit de barbotine, a été placé pour son maintien au reste du four.

⁶ Par François PEYRAT



Fig. 6 : tuyère posée et enduite de barbotine

B) Lancement du four

Dans un petit four adjacent, servant pour l'étape de forgeage, nous avons procédé à l'allumage des premières braises de charbon de bois à l'aide d'un chalumeau. Pour rapidement atteindre une chaleur suffisamment haute, nous avons utilisé une ventilation forcée.

Les braises rouges ont ensuite été transférées à l'intérieur du four principal afin de faire chauffer la structure progressivement.

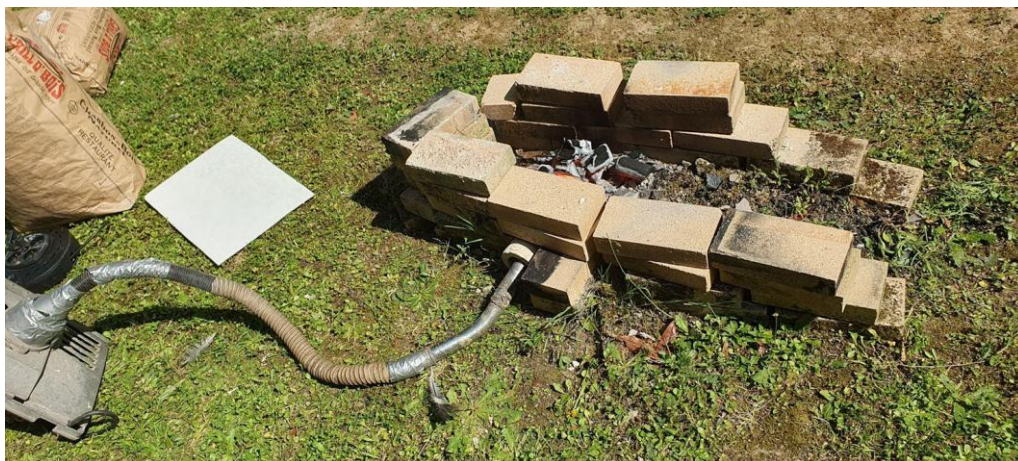


Fig. 7 : Braises chauffées au chalumeau dans un second « four »

Pendant ce temps, nous avons ajouté le système d'observation et de ventilation mécanisée à la tuyère et nous nous sommes attelés à sceller l'ouverture principale du four avec des briques. Le tout a été enduit de barbotine pour une bonne cohésion.



Fig. 8 : Ouverture principale scellée à l'aide de brique et de barbotine



Fig. 9 : Les trous de sorties de scories encore ouvert avant bouchage

Nous avons alors laissé le four monter en température, surveillant la couleur des braises par les trous des scories volontairement laissés ouverts pour le moment. Quand il fut assez chaud, l'un de nous est allé remettre de la barbotine sur les endroits où il y avait des fissures pour consolider le four et le rendre le plus hermétique possible.

S'ensuivit la mise en place de la ventilation mécanique, aussi appelée « esclave mécanique ». Ce système, propre à notre époque, nous évitait l'emploi d'un soufflet manuel communément utilisé pour cette opération. Cela permettait une meilleure homogénéité de la ventilation et nous évitait un travail fatigant de longue haleine.



Fig. 10 : Soufflet manuel



Fig. 11 : Soufflet mécanique

Une petite partie des braises a été retirée par les trous de scories pour faciliter la formation de la loupe, et ces dernières ont été bouchées avec des boules d'argile chamottée.

Nous avons ensuite rempli le four aux trois-quarts avec du charbon de bois pour qu'il monte encore en température. Dans le même temps, nous continuions d'enduire les fissures qui pouvaient apparaître sur la surface du four avec la chaleur.

Il s'agissait désormais de faire passer le four à une température plus conséquente en faisant se consumer la bulle de monoxyde de carbone qui se forme habituellement lors de la chauffe du four. Cette dernière fut explosée dans un bruit sourd à l'aide d'un chalumeau.

Généralement, les réductions sont effectuées durant la nuit, permettant de savoir à la couleur des flammes alors visibles, le stade atteint. Elles seraient passées de jaune au bleu-blanc, après explosion de la bulle de monoxyde de carbone.

Le dégagement gazeux de monoxyde de carbone (CO) qui s'opère pendant la réduction de minerai de fer est extrêmement dangereux, voire mortel. Pour nous protéger, nous avons mis en place un petit fanion permettant d'indiquer le sens du vent et ainsi de nous placer à l'opposé. De même, lorsque nous approchions du four pour observer ou réapprovisionner en minerai et en charbon de bois, nous retenions notre respiration.

Le four avait atteint la température nécessaire à notre expérimentation de réduction de minerai de fer selon le procédé direct, il était temps de commencer la réduction de minerai de fer.

C) Mise en œuvre du procédé de réduction

En premier lieu, il fallait évaluer le rythme du four, c'est-à-dire la vitesse à laquelle le four consommait le charbon, et à quel rythme ce dernier baissait de 2 niveaux de briques⁷. Dans notre cas, cela correspondait à un intervalle de temps compris entre 5 et 20 minutes entre chaque chargement en minerai et charbon dans le four. (cf. *Tableau rythme du four ci-dessous*)

Pour les quantités, nous avons suivi la charge traditionnelle de minerai⁸ de 250g pour 500g de charbon de bois. Nous avons estimé un rendement à un demi. Nous avons reproduit l'opération de réapprovisionnement un total de 19 fois, soit jusqu'à ce que nous n'ayons plus de charbon de bois à notre disposition. A la 11^e passe, nous sommes passés à 350g de minerai pour 500g de charbon de bois pour augmenter les chances d'obtenir une belle loupe de fer. La dernière passe ne s'est constituée que de minerai, car nous n'avions plus de charbon de bois à notre disposition.

NOMBRE	HEURE	QUANTITÉ
1	12h35	250 g de minerai 500 g de charbon de bois
2	12h46	
3	12h55	
4	13h05	
5	13h09	
6	13h17	
7	13h25	
8	13h28	
9	13h35	
10	13h46	
11	14h00	
12	14h13	350 g de minerai 500 g de charbon de bois
13	14h21	
14	14h28	
15	14h30	
16	14h48	
17	15h01	
18	15h12	
19	15h19	250 g de minerai

Lors du versement du minerai, une précaution supplémentaire était nécessaire pour éviter sa perte. En effet, il s'agit d'une matière dense, nous nous plaçons donc

⁷ Moment défini pour l'ajout du minerai ; en surveillant l'avancement à l'aide du reflet d'un miroir.

⁸ Provenant des mines de Saint-Clair-de-Halouze.

dans le sens contraire du vent pour empêcher le minerai de s'envoler, ainsi que pour notre propre sécurité.

Nous avons alors laissé le four redescendre en température, le temps qu'il consomme tout le charbon de bois restant.

Une fois cela fait, il s'agissait maintenant d'ouvrir les trous permettant la coulée des scories. Le minerai utilisé étant de bonne qualité, il n'y a eu que très peu de déchets à évacuer.



Fig. 12 : Ouverture du four

Il était temps de rouvrir la porte du four pour en sortir le fruit de notre travail. Pour ce faire, la barbotine de scellement a été retirée à l'aide d'une truelle, puis les briques ont été déposées une à une en les attrapant avec une tenaille (ou « forceps »). Il fallait encore déblayer le charbon de bois pour ne serait-ce que voir la loupe. Une intense chaleur émanait de l'âtre, il fallait donc se protéger.

Le moment tant attendu était enfin arrivé. Christophe Colliou se chargea lui-même de cette étape cruciale qui demandait d'être très précautionneux. Il récupéra la loupe avec la tenaille, puis la posa sur des planches de bois⁹. Il fallait alors marteler¹⁰ doucement cette loupe encore chaude pour homogénéiser le fer et retirer le plus d'impuretés possibles. Malheureusement, nous avons tardé à la sortir du four à cause de la chaleur, elle était donc trop froide pour être compactée comme il se devait. Il y avait un risque de la faire éclater. L'amalgame de la loupe n'était donc pas à l'image de ce qui pourrait être fait.



Fig. 13 : La loupe de fer tout juste sortie du four



Fig. 14 : La loupe compactée à l'aide d'un persuadeur

Pendant le compactage, on donne une forme à la loupe ce qui fait se briser la battiture, soit la croûte d'oxydation du fer qui s'est formée à la sortie du four. Des morceaux de loupe, contenant beaucoup de scories et de vides adjoints au métal brut, se séparent de la masse globale. Ils sont appelés gromps¹¹. Ces éléments sont concassés une nouvelle fois pour récupérer les petits morceaux de fer avant d'être jetés, car devenus inexploitable.

Cette opération permet d'obtenir une éponge de fer qui peut ensuite être épurée par un travail de forge avec un étirement et un repli du métal.

⁹ Pour pouvoir compacter la loupe sans créer d'ondes de choc.

¹⁰ Avec le persuadeur, un maillet en bois à manche long, originellement conçu pour ajuster la position des bottes de paille. Celui que nous avions était une création de Christophe Colliou et de son équipe.

¹¹ Terme polonais désignant un déchet associé à la loupe (ou massiot) lors des diverses phases de compactage. Ils se caractérisent par une forte proportion de métal enveloppé dans une gangue scorifiée informe.

D) Refroidissement du four

Le lendemain, après une nuit de refroidissement, nous avons pu peser notre éponge de fer et récupérer à l'aide d'un aimant tous les morceaux de fer qui avaient pu se détacher pendant l'étape de compactage.



Fig. 15 : Four le lendemain de la réduction

Le four était encore chaud, mais il nous fallait le nettoyer en retirant tout le charbon de bois, et le système d'observation, puis en le rabâchant pour les prochains qui auront l'opportunité de réaliser cette expérience.

En résultat, en comptant notre éponge de fer et tous les petits morceaux exploitables que nous avons récoltés dans les scories, nous avons obtenu une masse de fer de **3,120 kg**.



Fig. 16 : Loupe de fer après refroidissement

En calculant la quantité de minerai que nous avons utilisé durant la réduction de minerai de fer, soit **5,55 kg**, et la perte que cela représente en comparaison de la masse de l'éponge obtenue, soit **2,43 kg** de minerai perdu, en scories et en fumée lors du versement, il nous a été possible d'établir le rendement effectué : **56,21%**. Cela constitue un rendement très important, avec peu de déchets (d'où la non-coulée de scories lors de l'ouverture du four). En effet, le minerai que nous avons utilisé était un minerai de haute qualité comportant très peu d'impuretés.

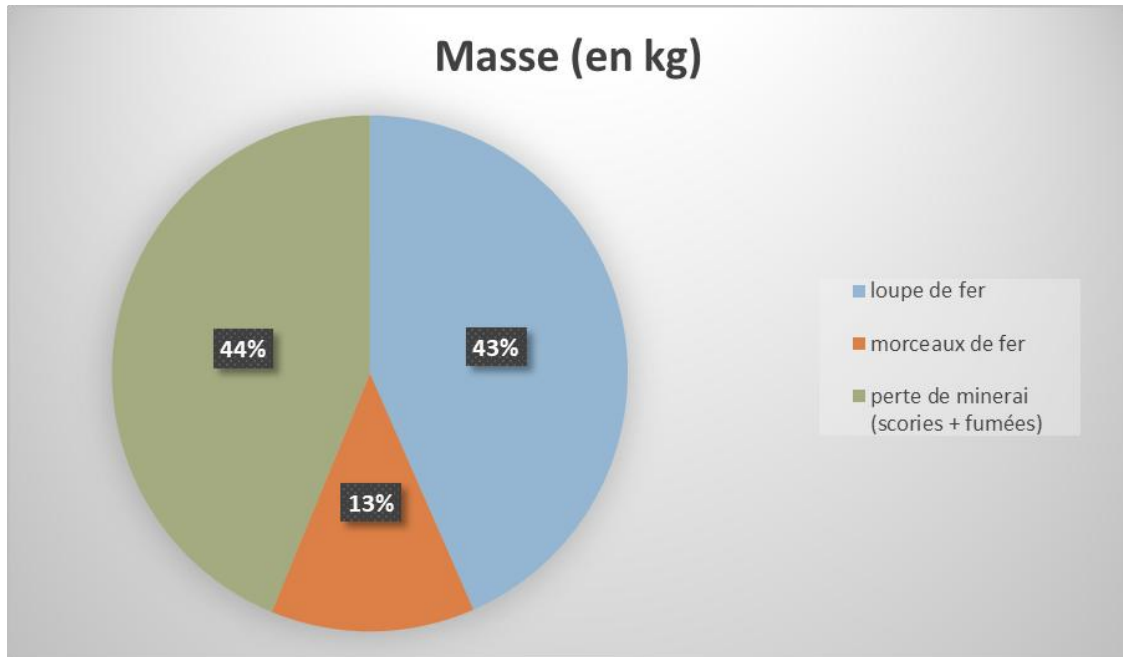


Fig. 17 : Diagramme montrant le rendement de notre réduction de minerais de fer

Calculs :

$$\text{Loupe de fer} \square \frac{2,410}{5,55} \times 100 = 43,4\%$$

$$\text{Morceaux de fer} \square \frac{0,710}{5,55} \times 100 = 12,7\%$$

$$\text{Perte de minerai} \square \frac{3,210}{5,55} \times 100 = 56,2\% \text{ et } 100-56,2 = 43,8\%$$

CONCLUSION

Les trois jours consacrés à la réduction du minerai de fer ont été une véritable immersion dans le monde de l'archéologie expérimentale. En pratiquant cette technique dans le four artisanal de l'école, nous avons pu découvrir les défis et les subtilités dans la reconstitution expérimentale d'une méthode ancienne.

Cette expérience nous a également permis de relier la technique à son contexte historique et matériel, en comprenant l'importance du minerai de fer et le savoir-faire nécessaire pour transformer la poudre en agglomérat métallique. Bien que l'expérimentation ait été courte et n'ait pas inclus le travail du métal, elle nous a offert une perspective enrichissante et un respect renouvelé pour les gestes et méthodes des artisans anciens.

Nous pouvons désormais nous considérer comme de véritables sorciers du feu, diplômés par les soins de Christophe Colliou.

BIBLIOGRAPHIE

- Colliou, Christophe. *Introduction à la métallurgie ancienne*. Cours dispensé à la Sorbonne
- Echard, Nicoles. *Noces de feu*. CNRS, 1968. CNRS Images.
- Fluzin, Philippe, Laurent Schneider et Gaspard Pagès. « Le travail du fer dans l'établissement perché tardo-antique du Roc de Pampelune (Argelliers, Hérault) : l'apport des analyses métallographiques ». *ArcheoSciences*, vol. 29, 2005, pp. 107-116. Disponible en ligne
<https://journals.openedition.org/archeosciences/569?lang=en#ftn3>
- « Réduction du fer ». In *ACAP – Arts du feu* [site Web]. ACAP.be. Disponible en ligne
https://www.acap.be/acap/index2.php?s=1&l=f&tb=tb_arts_feu&tb2=tb2_metal&m1=fer&m2=reduction_fer&m1tc=false&idform=



ET VIVE LE METAL !!!