

Les quatre roues de fer : dossier
pédagogique, première et deuxième
primaire

La découverte du fer (avant la visite)

Appréhende la matière : chaque élève amène des objets de chez lui en métal ou contenant du métal (fer, fonte, aluminium, bronze, cuivre)

1. La découverte de la matière fer - métal - classement

1.1 Classe les objets devant toi

1.2 Explique pourquoi tu les as classés de la sorte

2. Observe

L'ouïe	La vue	Le toucher	Le gout (ex : boire dans un verre en aluminium et comparer avec du verre)	L'odorat

3. Tableau à double entrée - explique

Traduire oralement le tableau en phrases

	gris	cassant	dur	lourd	brillant
fer	+	-	-	-	+
fonte	+	+	+	+	-
acier	+	-	+	-	+

Exemple : le fer est gris, il n'est pas cassant, dur et lourd mais il est brillant

4. Lexique

Métal : matière naturelle, à transformer par l'homme pour faire des objets, en chauffant, on peut lui donner une forme, brillant, lisse, conducteur de chaleur

Fer : métal gris, métal pur, se détériore au contact de l'air, perd son brillant et devient orange-brun, rouille

Fonte : mélange de fer et de carbone. Plus sombre que le fer. Beaucoup de fer (95%) et un peu de carbone (=pointe du crayon) (5%). Dur, conserve la chaleur mais est très cassant, rouille.

Acier : fer amélioré, on y a ajouté un tout petit peu de carbone. Il est plus dur que le fer, brillant et gris, rouille s'il n'est pas protégé.

Carbone : élément naturel, présent dans les végétaux et dans l'air. Mine du crayon.

5. Observe et essaye d'expliquer

FER = 

CARBONE = 

FER

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	6	67	68	69	70
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100

ACIER

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	6	67	68	69	70
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100

FONTE

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	6	67	68	69	70
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100

Activités à faire en classe après la visite

6. Lexique du voyage au pays du fer, de la fonte et de l'acier

Conte en annexe

À construire en classe

Exemples de catégories de mots à récolter

Les mots de la forge - les noms communs

la grande forge	la marmite	le géant	
la forge	la cloche	le tronc d'arbre	
le haut fourneau	la plaque	l'arbre à cames	
le charbon de bois	le boulet de canon	le bois	
la hotte	le moule	l'enclume	
le panier	le sable	les clous	
la boteresse	la louche	les haches	
les enfants	la gueuse	les scies	
le gueulard	le foyer d'affinage	les clés	
le tabouret	le tablier de cuir	le laminoir	
le minerai de fer	la loupe	les plaques	
le feu	le maka	les rouleaux	
le soufflet	l'eau	la tôle	
la chaleur	la force de l'eau	le forgeron	
la fonte	le moulin à eau	le fondeur	
la coulée	le marteau	...	

Les adjectifs pour dire comment

<u>le fer- la fonte- l'acier</u>	<u>la grande forge</u>
dur	grande
solide	sombre
brillant	belle
gris	mystérieuse
lourd	froide
léger	remplie
chaud	vieille
très chaud	bizarre
coulant
brûlant	
fondu	
durci	
refroidi	
beau	
cassant	
utile	
....	

Les mots pour décrire les ateliers

la cire	les livres	
la bougie	les aimants	
le sèche-cheveux	le papier	
la pâte à modeler	les photos	
le moule	le kilo de fer	
le bac rempli de terre	la balance	
le minerai de fer	la hotte	
la gravure	le tabouret	
les crayons de couleurs	le sable	
le fusain	
la sanguine		
les oxydes de fer		

Les gestes et les actions dans la forge et lors des ateliers

j'ai écouté	nous avons écouté	écouter
j'ai fait	nous avons fait	faire
j'ai pris	nous avons pris	prendre
j'ai regardé	nous avons mesuré	regarder
j'ai cherché	nous avons cherché	chercher
j'ai choisi	nous avons choisi	choisir
j'ai déposé	nous avons déposé	déposer
j'ai observé	nous avons observé	observer

j'ai expliqué	nous avons expliqué	expliquer
j'ai aidé	nous avons aidé	aider
j'ai voulu	nous avons voulu	vouloir
j'ai cru	nous avons cru	croire
j'ai appris	nous avons appris	apprendre

Les gestes et les actions

j'ai pensé	nous avons pensé	penser
j'ai recommencé	nous avons recommencé	recommencer
j'ai dû	nous avons dû	devoir
j'ai pu	nous avons pu	pouvoir
j'ai entendu	nous avons entendu	entendre
je voudrais.....	nous voudrions	vouloir
je vais	nous allons	aller
il faut que, il faudrait que, il fallait que		

Les mots outils pour expliquer

alors	d'abord	il fallait que
-------	---------	----------------

et	et puis	pour que
ensuite	très	en même temps
mais	un peu	en
parce que	beaucoup	avec
pour	pas	sur
donc	tout	pendant
car	rien	tout
après	le même que	toute
avant	la même que	tous, toutes
	il faut que	bien
	il faudrait que	

Les mots du conte

--	--	--

Les objets du quotidien

--	--	--

7. Observe à partir de documents anciens

Agricola – la mine de fer

Colorie les mineurs

Comment transporte-t-on le minerai à travers la mine?

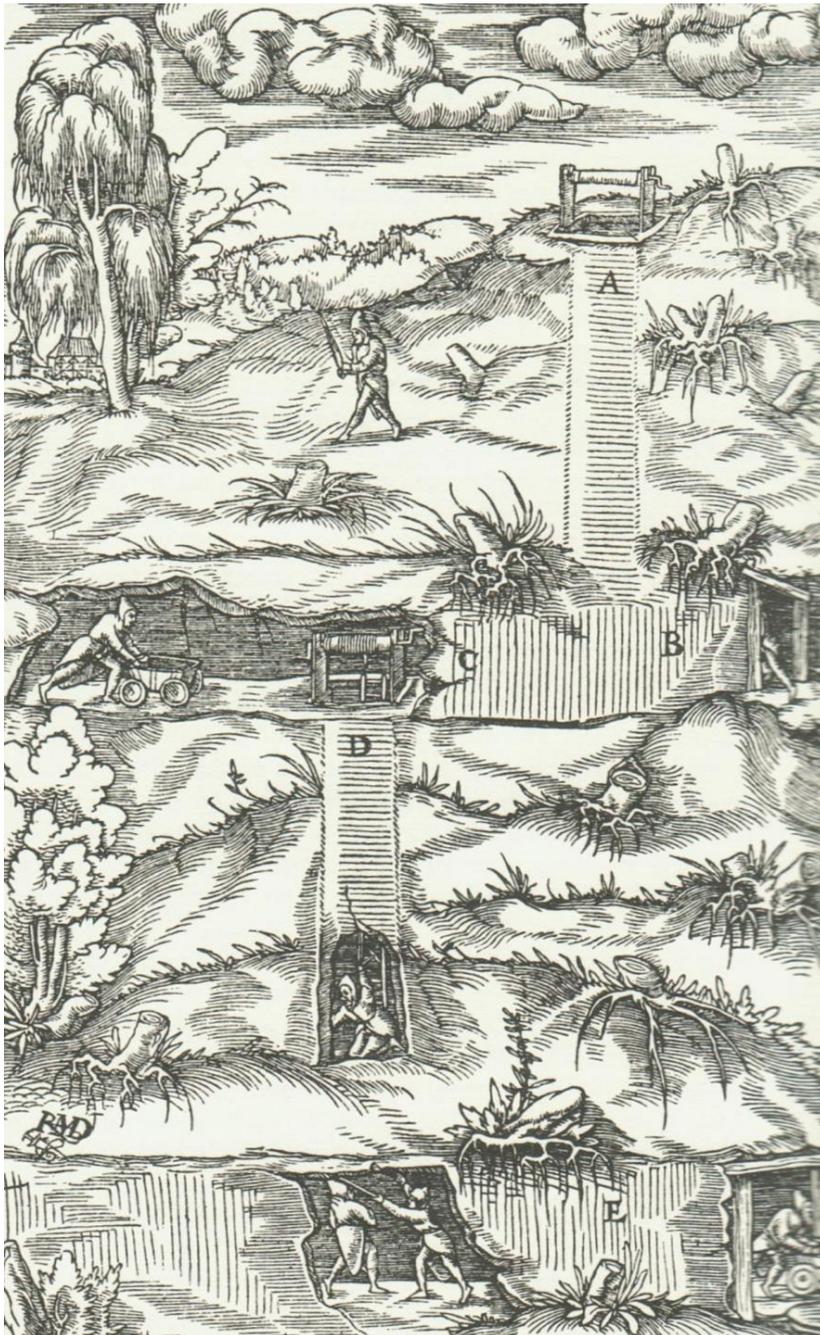


Planche de l'Encyclopédie de Diderot – le Haut-fourneau

Repère la bouche du haut-fourneau (le gueulard), le soufflet

Un haut-fourneau se situe-t-il en ville ou à la campagne?

Fig. 79.

Fig. 80.

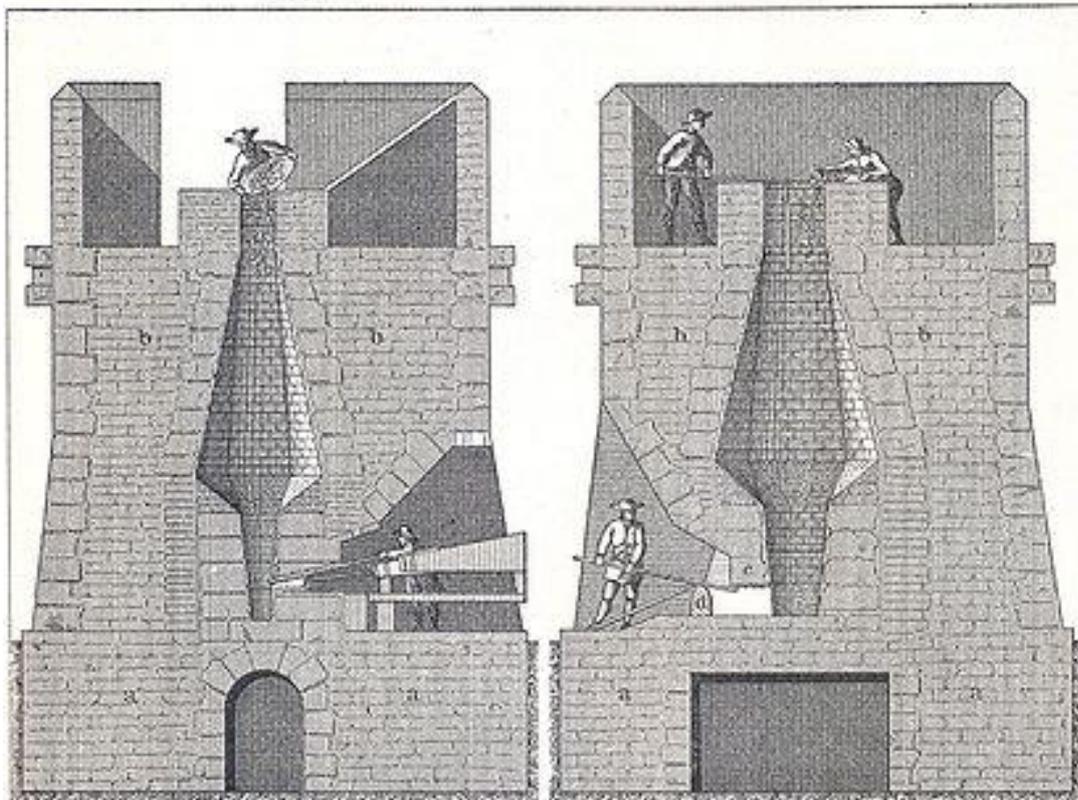
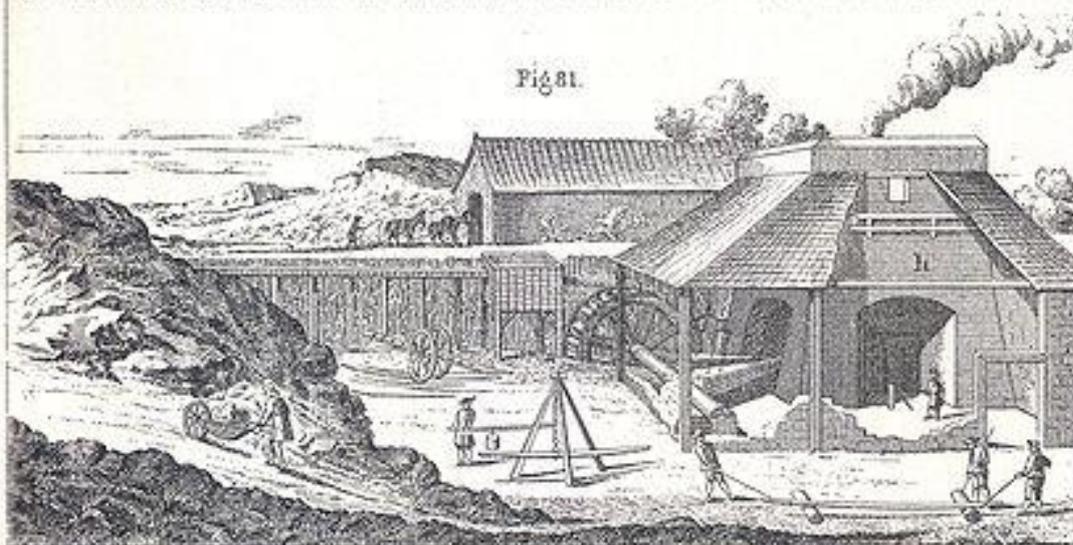


Fig. 81.



Disposition d'un haut-fourneau au commencement du xviii^e siècle.

Planche de l'Encyclopédie de Diderot – le planchée de coulée :

- repère les soufflets, la coulée, le creuset (trou par où coule la fonte), la gueuse (lingot de fonte)
- comment transporte-t-on une gueuse?

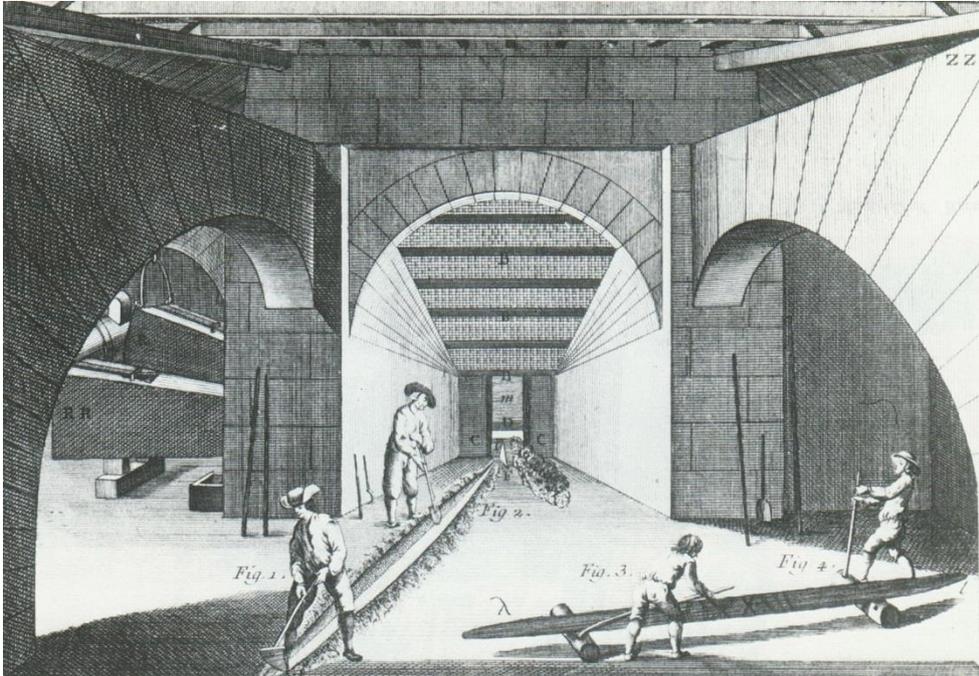
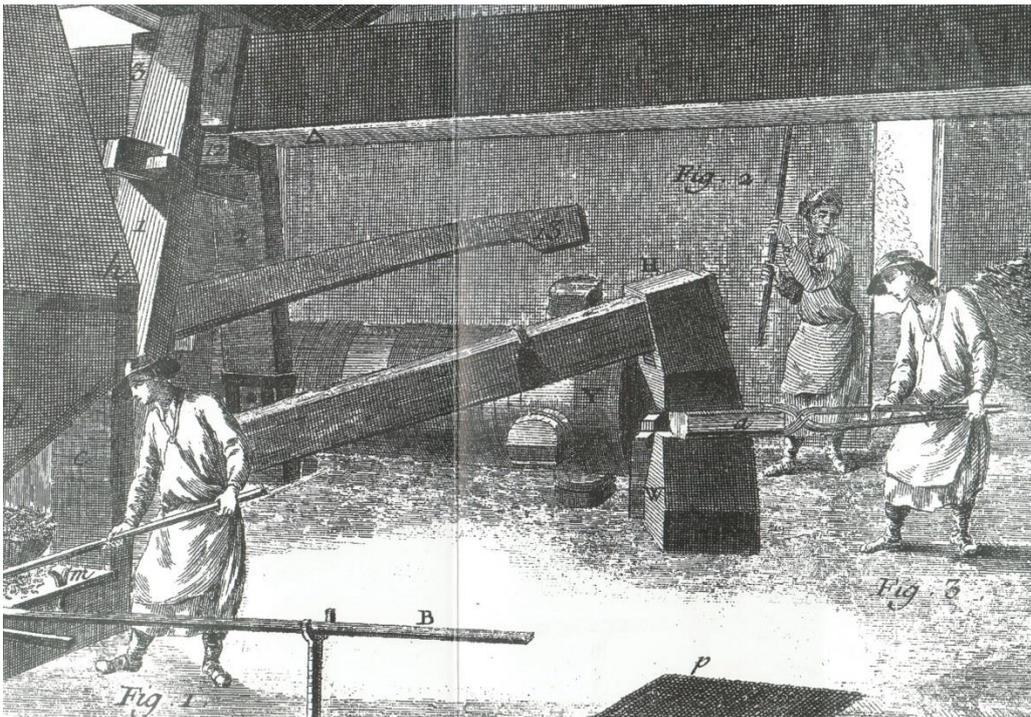


Planche de l'Encyclopédie de Diderot – le maka

Où est le maka?

Est-ce un géant qui actionne le maka?

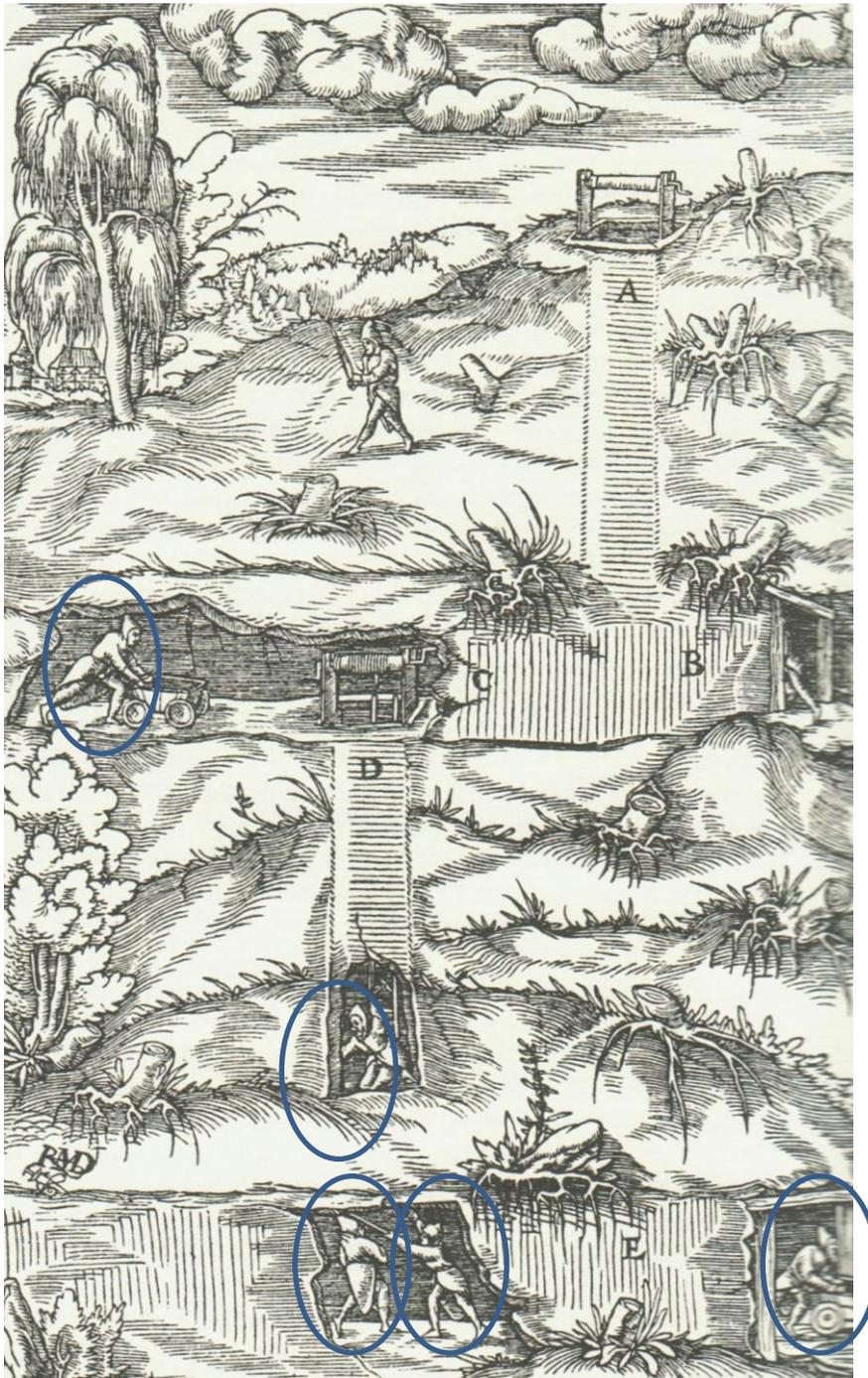


6. bis Observe à partir de documents anciens avec solution

Agricola – la mine de fer

Colorie les mineurs

Comment transporte-t-on le minerai à travers la mine? En poussant les wagons, à la force de l'homme voire des animaux



Repère le gueulard, le soufflet

Un haut-fourneau se situe-t-il en ville ou à la campagne? À la campagne, où se trouvent les matières premières utilisées dans le haut-fourneau (minerai de fer, calcaire, charbon de bois) et la source d'énergie nécessaire, le cour d'eau qui actionne le moulin)

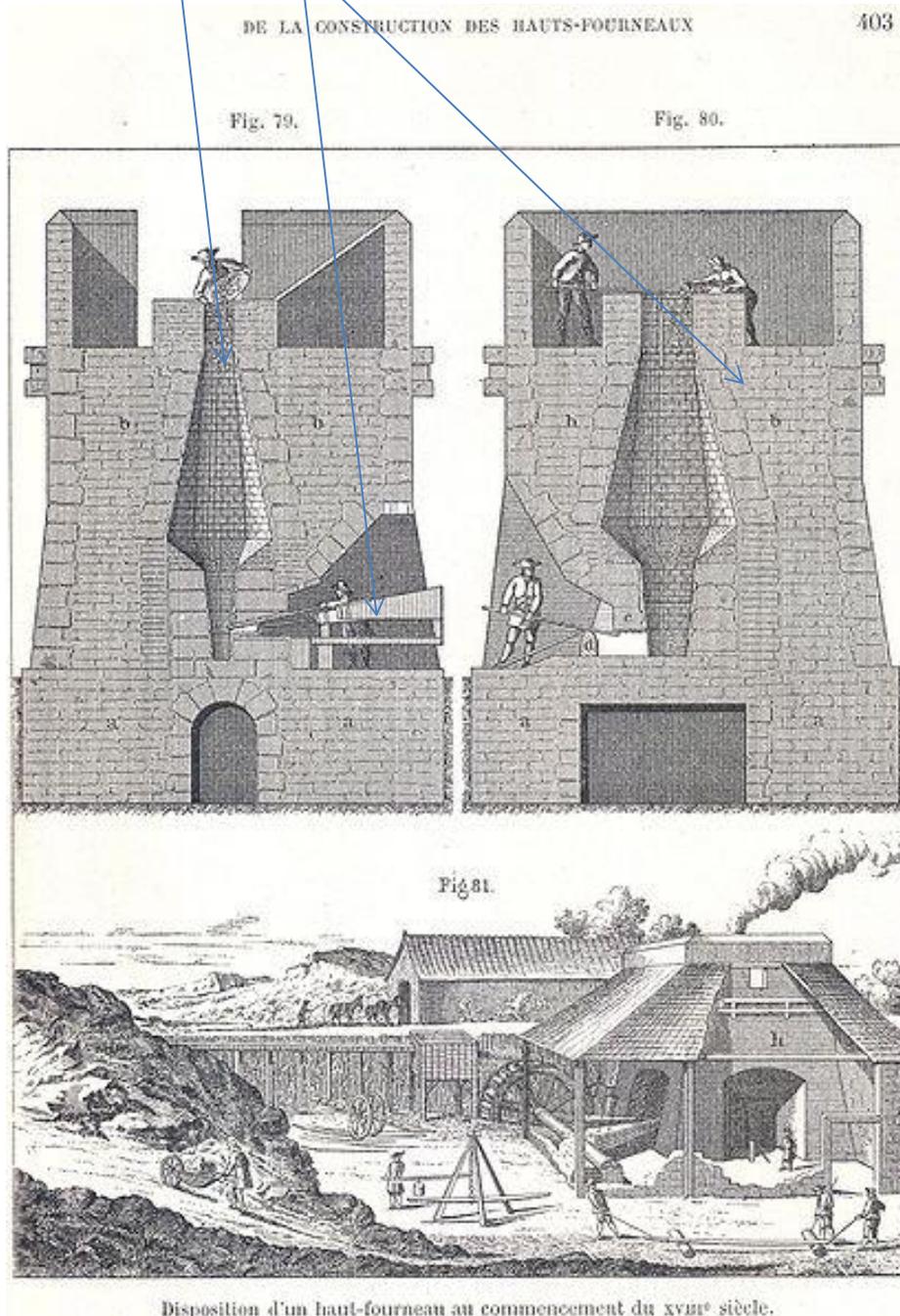


Planche de l'Encyclopédie de Diderot – le planchée de coulée :

- repère les soufflets, la coulée, le creuset, la gueuse
- comment transporte-t-on une gueuse? À l'aide de rondin de bois

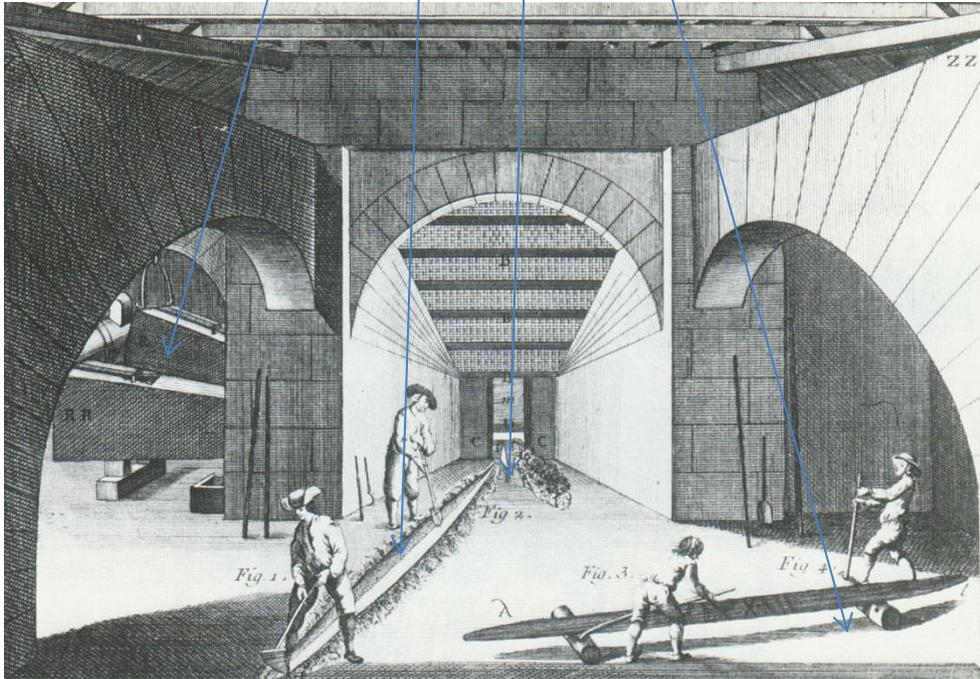
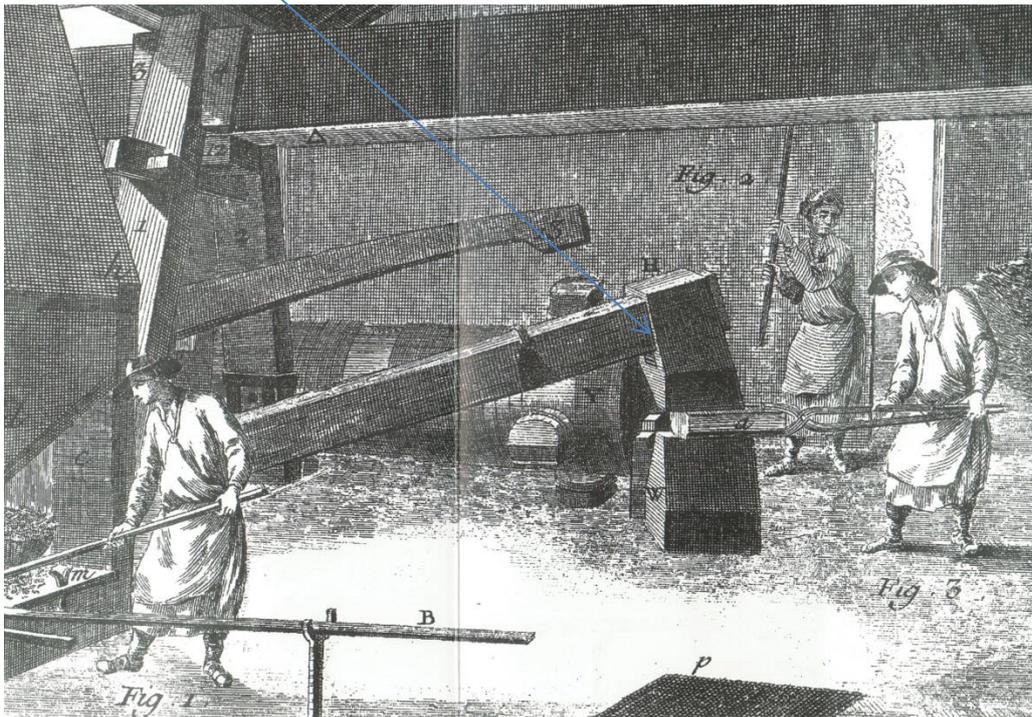


Planche de l'Encyclopédie de Diderot – le maka

Où est le maka?

Est-ce un géant qui actionne le maka? Non, c'est des cames actionnées grâce à une roue hydraulique, un moulin à eau



Autres OUTILS POUR L'EXPLOITATION EN CLASSE

1. STRUCTURATION

La structuration de la visite peut se faire à l'aide des documents remis /photocopies et CD :

Images, gravures, photos, lexique, sélection des livres, conte documentaire, synthèse des ateliers

2. PROJET DE COMMUNICATION ECRITE

OUVRIR LE MUSÉE AUX ENFANTS : LEUR DONNER LA PAROLE ET LA PLUME

2.1. ENFANTIQUETTES (voir exemple à imprimer ci-dessous)

Rédiger des « étiquettes enfants dans le musée » et les renvoyer au musée, qui les formate et les met à disposition des publics enfants.

Voir modèle « Enfantiquette » remis lors de la visite.

2.2 LE CATALOGUE DES ENFANTS VISITEURS

Le musée constitue le catalogue des enfants à l'aide des apports des classes venues en visite.

Il est consultable par les visiteurs enfants et les guide dans leur visite. pour d'autres enfants qui viennent au musée et qui n'ont pas d'animation.

Tous les types d'écrits sont envisageables : textes narratifs, informatifs, schémas annotés, dessins légendés, commentaires de livres consultés...

3. PROJET SCIENCES

Découvrir et comprendre le fonctionnement des machines simples.

Voir dossier « Poulies, leviers et machines simples » téléchargeable sur le site www.hypothese.be.

Prêt de matériel : 3, rue Fusch 4000 Liège

Exemple d'enfantiquette



Explication de la Vieille forge à destination de l'enseignant

1. La sidérurgie du passé : origine et histoire du fer

Le fer est un des éléments les plus abondants et les mieux répartis dans le monde (4% de l'écorce terrestre).

La fabrication du fer sur le continent européen date de 1700 avant Jésus-Christ. Elle est restée la même depuis cette époque jusqu'à la fin du Moyen Âge et consistait à chauffer simultanément du bois et du minerai jusqu'à obtention d'une pâte métallique qui, en refroidissant, formait un bloc de fer appelé loupe ou éponge. Cette opération se réalisait dans un bas fourneau, une petite tour de maçonnerie d'un mètre de haut environ. Cette loupe devait être ensuite martelée à chaud afin d'obtenir du fer à l'état brut par l'élimination des impuretés qui pouvaient encore s'y trouver. Les quantités produites étaient faibles et le travail pénible. Puis vint la fonte...

Vers 1350 après Jésus-Christ est née la première génération de hauts-fourneaux qui permit le développement du procédé de fabrication de la fonte. La fonte est un alliage dont la teneur en carbone est supérieure à 2,11% et dans lequel peuvent apparaître, avec la cémentite, des particules de graphite de formes diverses ; notamment en forme de lamelles, ce qui explique en particulier la fragilité des fontes. Ces particules peuvent être globularisées et la fonte dite à graphite sphéroïdale est alors ductile.

A la fin du 18^{ème} siècle, ce sont les scientifiques français Berthollet, Monge et Vandermonde qui sont à l'origine de la définition exacte de l'interaction existant entre le fer, la fonte et l'acier et qui mettent à jour le rôle tenu par le carbone au sein de cette relation. Ce n'est qu'un siècle plus tard, avec l'invention des fours de Bessemer, Thomas et Martin que l'acier pourra être produit en grande quantité.

Grâce à son caractère polyvalent, cet alliage est devenu l'élément clé de la révolution industrielle.

Le premier mode de fabrication de l'acier était celui de la cémentation, un processus qui visait à chauffer des barres de fer à l'aide de charbon de bois dans un four fermé de façon que la surface du fer acquière une importante teneur en carbone. La méthode dite au creuset initialement développée afin de retirer les scories de l'acier issues de la cémentation, permet de fondre ensemble le fer et d'autres substances dans un récipient (le creuset) composé d'argile réfractaire et de graphite. C'est par cette méthode que sont fabriqués les couteaux de Damas et de Toledo par exemple.

Parmi les procédés plus récents, on trouve celui de Bessemer, à foyer ouvert à base d'oxygène plus généralement utilisé dans la sidérurgie actuelle, le four à arc électri-

que une innovation qui offre la possibilité de produire à grande échelle de l'acier de haute qualité.

La forge à la wallonne (17^{ème} et 18^{ème} siècles)

Le plus vieux haut-fourneau du pays (1693) mesure 8 mètres. Il était installé à Gonriex, près de Couvin.

Son fonctionnement est très proche de celui des hauts-fourneaux modernes. Les ingrédients utilisés pour fabriquer de la fonte étaient :

- le minerai de fer, que l'on trouvait en abondance en Wallonie, et qui se compose de rouille (oxydes de fer = fer + oxygène) entourée de gangue (substances stériles qui entourent la rouille),
- la pierre à chaux (pierre calcaire) qui dissout cette gangue,
- le charbon de bois, dont le carbone libère le fer de l'oxygène (le charbon de terre, la houille était inutilisable telle quelle dans le haut-fourneau).

A cette époque, le charbon de bois posait de sérieux problèmes aux sidérurgistes :

- 1. sa fabrication durait entre quinze jours et trois semaines car la combustion devait être très lente pour éviter que le bois ne se réduise en cendres,
- 2. avec 1000 kilos de bois, on produisait seulement 250 kilos de charbon de bois,
- 3. un seul haut-fourneau consommait, en moyenne, 200 hectares de forêts en 6 mois et il y en avait plus de 10 dans la Principauté de Liège.



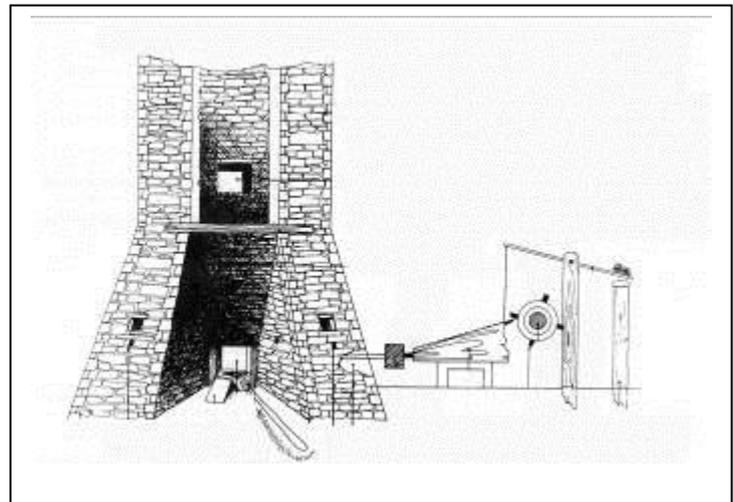
Fabrication du charbon de bois

Les grandes déforestations, dès le milieu du 18^{ème} siècle obligèrent les métallurgistes à trouver un nouveau combustible pour remplacer le charbon de bois : ce combustible, le coke, sera mis au point par un Anglais, Abraham Darby, en 1709 mais ne sera utilisé à Liège qu'en 1826 dans l'usine de John Cockerill.

Sur un côté du haut-fourneau se trouve la halle aux soufflets. Ceux-ci soufflaient une grande quantité d'air dans le haut-fourneau, ce qui permettait d'atteindre une température de 1536°C (point de fusion du minerai de fer). Ils étaient entraînés par un arbre à cames, lui-même mû par un moulin à eau.

L'ouverture supérieure du haut-fourneau s'appelle le gueulard : la "gueule" du haut-fourneau, trou par lequel il était chargé en matières premières par des femmes et des enfants qui transportaient ces produits dans des hottes ou des paniers.

Celles-ci étaient versées dans le haut-fourneau en couches alternées: charbon de bois, minerai de fer, pierre à chaux (pierre calcaire).



Coupe du haut-fourneau et de ses soufflets

Haut-fourneau (1693)

Le métal liquide qui coule du haut-fourneau est de la fonte, un alliage contenant 95% de fer et 5% de carbone. (C'est toujours la cas aujourd'hui). On produisait 3 à 6 grandes gueuses de fonte par jour (soit 1000 à 2000 kilos de fonte). La gangue du minerai est, quant à elle, transformée par la pierre calcaire en laitier qui flotte sur la fonte.

La fonte présente un inconvénient majeur dû à la présence de ces 5% de carbone. Elle est cassante à l'état solide. Pour la transformer en fer malléable, elle doit être affinée, c'est-à-dire débarrassée de cet excédant de carbone. Cette décarburation se réalisait au foyer d'affinage (aujourd'hui, elle est réalisée à l'aciérie). La gueuse était placée dans un foyer alimenté au charbon de bois. Deux soufflets, actionnés à la main, soufflaient de l'air dans le foyer. L'oxygène contenu dans l'air brûlait le carbone

et transformait donc les gouttes de fonte en gouttes de fer. Celles-ci tombaient dans le fond du foyer refroidi à l'eau et formaient des blocs, appelés loupes ou éponges d'environ 15 kilos. On les martelait ensuite à l'aide d'un « maka » (martinet hydraulique), lourd marteau actionné par un moulin à eau.

On fabriquait néanmoins des objets en fonte. Ceux-ci, étant très épais pour éviter qu'ils ne se brisent, conservaient très longtemps leur température : taques de cheminée, marmites, poêles à bois ou à charbon... et plus tard, des radiateurs.

Marteau hydraulique (1700)



A la fin du 18^{ème} siècle, les métallurgistes mettront au point les premiers laminoirs. Ils permettront d'écraser des barres de fer rouges (+/- 1200°C) pour en faire des tôles fines. Le laminoir présenté dans la forge date de 1812 : c'est le plus vieux laminoir connu au monde. Il était entraîné, lui aussi par un moulin à eau. C'est dire l'importance des nombreuses rivières wallonnes, sources d'énergie indispensables pour l'époque.



Laminoir hydraulique (1812)

Le conte : les quatre roues de fer

C'est un pays de collines rondes, pas très hautes et toutes poilues d'arbres, un pays de vallées douces où l'Ourthe sinue en roulant des épaules, vers Liège. C'est la Wallonie, un jour, il y a longtemps. Au bord de l'eau, un village. Quelques maisons, un moulin qui tourne, des cheminées qui fument, des sentiers qui grimpent et qui dévalent, une grand-route qui s'échappe et qui donne aux enfants des rêves de voyage.

Aujourd'hui comme souvent, ils sont là, les enfants, dans le clos à la sortie du hameau. C'est le printemps, et le pré est couvert de pensées et de silènes. Il y en a des milliers, tout est jaune, rose et blanc, c'est beau. Adossés au talus, les fesses dans les pensées, les enfants regardent la route : bientôt, c'est promis, ils partiront.

-Pas moi, dit Samuel. Avec mon mauvais pied, je n'irai pas loin, je le sais.

-Qu'est-ce que tu racontes, disent les autres, bien sûr que si, tu viens, on te portera s'il le faut! -Oui, et puis vous en aurez marre, et je serai bon pour rentrer à pincés... Non, ce qu'il nous faut, les gars, c'est une bonne charrette qui nous porte tous.

-Y a celle qui sert à rentrer les foinés, disent les garçons.

-Celle-là ! Elle ne tiendra pas jusqu'au prochain village, grogne Samuel. Non, il nous faut une charrette solide, avec des roues d'une grande résistance.

-Dis donc, t'es compliqué, toi, aujourd'hui !

-C'est pas ça, les gars, mais soyons réalistes, quoi, réfléchissons. A ces mots, tout le monde se tait. On pense, on cherche, on se creuse, on se gratte la tête. Qu'y a-t-il de plus solide que le bois ? La pierre. Mais la pierre, c'est lourd. Avec des roues en pierre, on n'ira pas loin. Zut, ce n'est pas si facile !

-Et si on se fabriquait des ailes ? disent les filles. Les voilà qui se mettent courir comme des folles en agitant les bras et en gazouillant comme des oiseaux : tchip tchip tchip, on vole, on vole !

Les garçons s'élancent derrière elles, sauf Samuel : pas moyen de courir avec son mauvais pied. Il boude un peu, ramasse un bâton dont il fouette les grandes herbes : HAN ! et HAN ! Tout à coup, il entend un cri de colère et de désespoir :

-Mon minerais, mon beau minerais ! Regardez : tout est par terre... Quel gâchis, mais quel gâchis ! Samuel se demande qui a parlé. Et puis il voit un homme, un petit homme de la taille d'un enfant de quatre ans. Il est complètement chauve, mais une belle barbe rousse lui caresse la ceinture. Un nain ! Ça existe, ça ? Et un nain furieux, qui postillonne et qui trépigne ? Il faut croire que oui...

-Pardon, je ne l'ai pas fait exprès, s'excuse Samuel. Il redresse le panier renversé, ramasse les pierres rouges éparpillées. Voilà, c'est réparé. Le nain ne dit rien, il semble à peine de meilleure humeur. Il charge le panier sur son dos et sans un merci, sans un au revoir, il s'éloigne de toute la vitesse de ses petites jambes.

-Hé, où allez-vous comme ça ? s'écrie Samuel.

-J'ai pas le temps de causer, mon garçon, réplique le nain. On m'attend à la forge, je suis déjà en retard ! Il accélère encore et disparaît dans un roncier. Le garçon s'accroupit. Sous les longs rameaux couverts d'épines, un tunnel s'enfonce dans le sol. Sans doute mène-t-il vers ce lieu mystérieux que le nain appelle la forge.

« Si je veux voir à quoi ça ressemble, je n'ai plus qu'à me faire tout petit, moi aussi », songe Samuel avec un fin sourire. Il se couche sur le ventre, et c'est ainsi, en s'aidant des coudes et des genoux, qu'il pénètre sous la terre, dans la forge du nain.

Samuel a toujours cru qu'il faisait froid sous terre. Rien n'est moins vrai. Dans cette caverne où il vient d'arriver et qui est aussi vaste qu'une petite église, il fait une chaleur torride, comme si mille soleils brillaient tous ensemble. C'est à cause du feu qui ronfle au milieu, un feu énorme qui peint de rouge les parois, la voûte, et les visages des nains qui s'activent tout autour. Ils sont si nombreux que Samuel ne peut tous les compter. Il y a des nains qui portent sur le dos des hottes pleines de charbon de bois ou de pierres rouges, d'autres qui ont le ventre ceint d'un épais tablier de cuir. Les premiers grimpent le long d'échelles vertigineuses et déversent leur fardeau dans une sorte d'énorme entonnoir en brique, qui crache fumée et gerbes d'étincelles. Les seconds s'occupent du liquide qui coule comme une langue rouge en bas de l'entonnoir, épais et brûlant.

-Quel spectacle, hein ! Avoue que tu n'as jamais vu ça, gamin ! L'œil brillant et peignant des doigts sa longue barbe rousse, le nain s'avance vers Samuel. Il n'a plus l'air aussi contrarié que tout à l'heure, au contraire, il rayonne de fierté. Ah, je n'aime guère m'aventurer dehors, poursuit-il, c'est dangereux pour une petite créature comme moi. Il y a des chats, des chiens, des garçons... encore que toi, tu ne sois pas si dangereux que ça, après tout, quand tu ne joues pas avec un bâton ! Samuel sourit. Ce nain est plutôt bonne pâte, finalement.

-Que faites-vous de tous ces cailloux rouges, Monsieur le nain ? demande-t-il.

-Aaah, dit le nain, tu es curieux, hein ? Eh bien, mon garçon, nous les nains, nous fabriquons du fer. Nous sommes des fondeurs et des forgerons. Viens par là, que je t'explique.

-Tu vois cet entonnoir ? Nous l'appelons le gueulard : la chaleur y monte à 1536 degrés ! Nous y versons le minerai et le charbon de bois en quantité. Le minerai fond comme de la neige et nous obtenons de la fonte. Regarde comme elle coule sur le plancher de coulée !

-On dirait de la sauce tomate, dit Samuel.

-Aaaah, la sauce tomate ! répète le petit homme en levant les yeux au ciel. Nous les nains, on adore ça ! Mais la fonte ne se mange pas, elle sert plutôt à faire des marmites et quantité d'autres belles choses. Dans ce cas, on la puise à l'aide d'une longue louche et on la verse dans des moules de sable, ici, en dessous de ces trous que tu vois dans les dalles.

-Ça, c'est ce qu'on fait avec la fonte quand elle est chaude. Mais si on n'y touche pas, et qu'on la laisse bien refroidir, alors on obtient une barre de fonte solide. On appelle ça une gueuse. Avec la gueuse, on fait quelque chose d'absolument merveilleux : du fer ! Mais pour ça, il faut la cuisiner, la gueuse. On la place dans le foyer d'affinage et on la fait rôtir à feu vif.

-Un peu comme on fait rôtir un poulet, suggère Samuel.

-Aaaah, du poulet ! Nous, les nains, on adore ça, dit le petit homme d'une voix rêveuse. Mais revenons à nos moutons : tu as raison, d'une certaine façon, le travail de la forge ressemble à de la cuisine, avec un résultat bien différent. Au centre du foyer, il montre un gros rocher biscornu.

-Elle a trop cuit, votre gueuse, dit Samuel en reniflant. Regardez, elle est toute noire !

Le nain fronçe un sourcil impérieux.

-Détrompe-toi, mon garçon, le degré de cuisson est parfait. Ce que tu vois là, c'est une loupe de fer. Battue bien chaude par notre maka, elle va se transformer en métal pur ! Recule-toi, ça va commencer !

Samuel contemple d'un œil rond le fameux « maka ». C'est le marteau d'un géant ! Il n'y a pas de géant pour le soulever et pourtant, le voilà qui se met en branle et qui retombe dans un grand fracas : CLANG! CLANG ! CLANG ! Quel vacarme terrifiant ! Pire que toute une batterie de cuisine qui dégringole ! Samuel se bouche les oreilles.

« C'est pas possible, se dit-il, il y a un truc ! Un marteau qui bouge tout seul, ça n'existe pas ! » Le maka continue de frapper, et le rocher biscornu devient de plus en plus plat, de plus en plus mou. Alors, le maka s'arrête, le bruit s'arrête, et Samuel peut entendre le rire du nain roux.

-Ha ha ha, si tu voyais ta tête, mon garçon ! Non, il n'y a pas de géant caché dans la forge. C'est l'eau qui soulève le marteau. Derrière cette paroi, une rivière souterraine fait tourner un moulin qui, à son tour, entraîne cet arbre à cames. L'arbre à cames est garni de crans qui font monter et descendre le marteau. C'est intelligent, hein ?

-L'eau a une force incroyable, poursuit le nain. C'est elle aussi qui actionne ces soufflets. Il désigne deux gigantesques sacs de cuir qui se gonflent et se dégonflent. On dirait les poumons d'un dinosaure.

-A quoi servent-ils, ces soufflets? demande Samuel.

-Ils permettent au feu de brûler plus fort, répond le nain, de manière à faire fondre le minerai, et plus tard, à réchauffer le fer pour le rendre mou et le transformer en toutes sortes d'objets. Regarde, voici des clous, des vis, des haches, des scies : avec ça, on peut construire tout ce qu'on veut ! Le fer est extrêmement solide et il s'use très peu.

-On peut aussi le presser en feuilles minces, qu'on appelle des tôles. Pour cela, on le passe dans le laminoir, sous un gros rouleau.

-Comme maman, quand elle abaisse la pâte d'une tarte, commente Samuel.

-Aaaah, les tartes ! soupire le petit homme. Nous les nains, on adore ça ! Mais reprenons : avec des tôles, on peut faire des tuyaux, des tonneaux, des bateaux, des vaisseaux spatiaux, des...

-Est-ce qu'on peut faire des cercles ? l'interrompt Samuel.

-Des cercles ? répète le nain, interloqué. Pour quoi faire, des cercles ?

-Mes amis et moi, on en a besoin pour réparer les roues d'une vieille charrette.

-Eh bien oui, j'imagine, dit le nain. On peut tout faire avec le fer, et pourquoi pas un train ou un avion, si toi et tes amis voulez voyager ?

-Quatre cercles suffiront, dit Samuel doucement. Ça coûterait combien en poulets, en tartes et sauce tomate, vous pensez ?

-Aaaah, beaucoup, j'en ai peur, dit le nain en baissant les yeux pour dissimuler la gourmandise qui y brille.

-Vous les aurez, Monsieur le nain, dit Samuel, tout content. Et maintenant, mettons-nous au travail.

C'est ainsi que, sous terre, quatre cercles sont forgés pour réparer les roues d'une vieille charrette à foin. Le nain façonne aussi de bons rivets d'acier pour les y arrimer. Samuel suit le moindre de ses gestes, il s'enivre de l'odeur qui monte des brasiers, et sa tête sonne des CLANG répétés du marteau. De temps à autre, le nain lance un ordre bref, et Samuel actionne le soufflet, ou bien il verse de l'eau sur le métal rougi pour le refroidir. Il se voit bien, un jour, œuvrer dans une forge semblable, et fabriquer des choses extraordinaires. Pas tout seul, bien sûr : avec tous ses amis ! Ses amis... quelle tête ils vont faire quand ils vont voir ça : quatre roues neuves pour leur vieille charrette ! Ça fait combien de poulets, déjà ? Combien de tartes ? Samuel hausse les épaules et sourit : ils se débrouilleront. Quand on y réfléchit, un peu de cuisine, ce n'est pas cher payé pour faire un beau voyage...