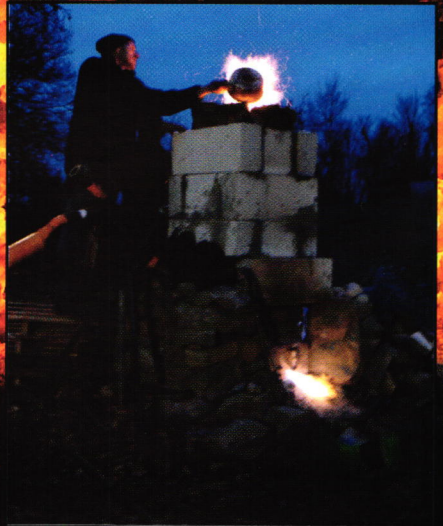




*La Forge*



*Même de nuit !!!*

# Le Bas Fourneau

Par Jean Taurines

Le fer est aujourd'hui considéré comme une matière première facile à produire et relativement bon marché. Mais il n'en a pas toujours été ainsi. Comment faisait-on avant ? Arnaud Élisabeth, forgeron d'art à Espinas, a relevé le défi. Voici son expérience.

## Histoire et principe

Le fer est le quatrième élément le plus présent sur terre après l'oxygène, le silicium et l'aluminium. Toutefois, il est important de mentionner qu'il n'est pas présent à l'état métallique mais sous des formes oxydées telles que  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  et  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

Des tablettes cunéiformes hittites signalent la production d'armes en fer vers le XVIII<sup>ème</sup> siècle avant Jésus Christ. Il est établi que vers le XI<sup>ème</sup> siècle avant Jésus-Christ la métallurgie du fer était pratiquée en Grèce, en Thrace, en Turquie, au Moyen-Orient et dans le nord de la péninsule arabique. Vers 550 avant Jésus-Christ, la fabrication du fer est connue dans toute l'Europe. On considère que l'industrie du fer débute vers le XV<sup>ème</sup> siècle avec l'apparition des premiers hauts fourneaux. C'est par opposition à cette nouvelle méthode que l'ancien procédé, qui a prévalu pendant plus de 3 000 ans, a été appelé bas fourneau.

Néanmoins, ce n'est pas tant la taille du four qui différencie les deux approches que les processus physico-chimiques mis en œuvre. La technique actuelle du haut fourneau ne produit pas directement du fer mais de la fonte qu'il faut ensuite décarburer pour obtenir du fer métal ou de l'acier. La température y est supérieure au point de fusion du fer, qui est de 1 536°C, pour permettre au minerai mélangé au coke de couler. À l'opposé, le bas fourneau se satisfait d'une température inférieure au point de fusion (environ 1 000 à 1 300°C) car il produit directement du fer métal par réduction des oxydes de fer. Pour ce faire, il est nécessaire de maîtriser le tirage du foyer dans le but de créer du

monoxyde de carbone (CO) à partir de charbon de bois. C'est ce monoxyde de carbone qui va arracher l'oxygène aux oxydes de fer contenus dans le minerai pour produire du gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) et directement du fer métal (Fe) suivant la réaction chimique  $Fe_3O_4 + 4CO \rightarrow 3Fe + 4CO_2$ . Le fer produit ne coule pas, comme la fonte des hauts fourneaux, mais est contenu dans un solide spongieux, mélange de fer métal et de scories, appelé loupe, qui se forme en bas du foyer. Cette loupe doit être corroyée par martelage répété pour en extraire les scories et obtenir un lingot de fer métal utilisable par le forgeron. L'avantage incontestable du haut fourneau sur son prédécesseur est sa capacité à produire de la fonte en continu ; en effet, le bas fourneau doit être arrêté pour en extraire la loupe. Néanmoins, les bas fourneaux ont été utilisés jusqu'à la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle en Catalogne.

### L'expérience d'Arnaud Élisabeth

Tout d'abord, Arnaud Élisabeth tient à préciser que les tentatives de fabrication de fer à partir de bas fourneaux sont nombreuses en France. Qui plus est, il travaille en relation avec des confrères ayant la même passion dans le but de partager les connaissances acquises par les uns et les autres. Toutefois, à notre connaissance, il est le premier, et à ce jour le seul, à s'être penché sur le sujet dans la région de Saint-Antonin. C'est pour cela que, suite aux principes théoriques esquissés dans le paragraphe précédent, il nous semble intéressant de présenter sa démarche et les résultats obtenus.

À ce jour, Arnaud Élisabeth a bâti quatre bas fourneaux et procédé à 26 réductions. Les quatre fours ont eu une hauteur de 1,2 m, la différence se faisant au niveau du diamètre de la cheminée et des matériaux utilisés.

Le premier bas fourneau a été bâti en 2009 à l'intérieur de la forge à Espinas avec des briques faites maison et enduit de terre. La cheminée avait une section circulaire de 50 cm de diamètre intérieur. L'unique réduction réalisée avec celui-ci a produit 100 g de fer à partir de 50 Kg de minerai, soit un rendement de 0,2%. Le minerai a été prélevé dans un filon dans la commune de Flaujac-Poujols (Lot). Une

précision importante : il ne s'agit pas de 100 g de loupe mais de 100 g de fer métal obtenu après affinage de la loupe.

Le deuxième bas fourneau, plus petit que le précédent, puisque son diamètre intérieur n'était que de 25 cm, a aussi été construit en terre en 2009 à l'intérieur de la forge. Il a permis de réaliser 3 réductions qui ont donné 500 g de fer à partir de 30 Kg de minerai, soit un rendement de 1.7%. Le minerai provenait de la région du Mont Canigou dans les Pyrénées.

Le troisième four a été construit en plein air au lieu-dit Redon (commune d'Espinas) en décembre 2010. Il avait un diamètre intérieur de 35 cm et était fait de brique, de calcaire et d'enduit de terre. Il a permis, au bout de 7 réductions successives, de produire 3 Kg de fer métal à partir de 80 Kg de minerai, soit un rendement de 3,75%. Le minerai avait plusieurs origines : Sidobre (Tarn), Puycelci (Tarn) et Pyrénées. Cette expérience a servi de base à l'association « Sous la couverture » pour fabriquer un livre d'art. Ce livre ainsi que le travail d'Arnaud Élisabeth a donné lieu à une présentation publique le mercredi 20 juillet 2011 à la salle « La clé des champs » à Espinas.

Enfin, le quatrième four a été construit en octobre 2010 à l'extérieur de la forge à Espinas. Il a été fait de briques réfractaires et de béton cellulaire et avait une section carrée de 35 cm de côté. Il a, à ce jour, permis 15 réductions donnant 5 à 6 Kg de fer métal à partir de 120 Kg de minerai, soit un rendement d'environ 4,5%. Le minerai a essentiellement été prélevé à Saint-Cirq et dans la Bouriane (Lot).

Malgré le fait que ces quatre fours n'aient pas été de taille identique et aient donné des rendements différents, le mode opératoire est resté globalement le même tout au long des 36 réductions.

Cependant, avant d'aborder la fabrication du fer proprement dite, il semble nécessaire de dire un mot sur l'obtention du charbon de bois, car, comme cela a été mentionné précédemment, le bas fourneau utilise ce combustible. Depuis de nombreuses années, Arnaud Élisabeth produit lui-même le charbon de bois nécessaire à son activité de forgeron d'art. Après avoir réalisé plus de 36 charbonnières, il maîtrise cette technique ce qui lui permet de ne plus acheter de charbon pour son activité professionnelle. Il a, tout naturellement, utilisé ce charbon pour ses expériences sur les bas fourneaux. À noter

que la qualité du charbon de bois a une influence sur la qualité du fer obtenu. Les charbons issus de bois durs, tels le chêne ou le hêtre, donnent en général un fer plus aciéré.

Le bas fourneau se présente sous la forme d'une cheminée de 1,2 mètre de haut et d'un diamètre intérieur variant de 50 à 25 cm. À 50 cm de sa base, une tuyère permet d'insuffler l'air nécessaire à la combustion. Dans toutes ses expériences, Arnaud Élisabeth a utilisé une ventilation électrique. À savoir, tout de même, que dans les temps anciens les bas fourneaux étaient construits sur des hauteurs pour en faciliter le tirage et que la ventilation était alors assurée par des soufflets mécaniques, par exemple de simples panses de brebis pressées.

La première opération consiste à chauffer le four en faisant brûler du bois pendant environ 48 heures. Une fois la bonne température atteinte, on le charge en alternant le charbon et le minerai de fer. Le four consomme, grosso modo, 1 Kg de minerai et 1 Kg de charbon toutes les 7 minutes. Pour ce faire, il est régulièrement alimenté, environ toutes les 2 minutes, par des charges de 300 g de minerai et de 300 g de charbon. Cette exigence entraîne l'organisation d'équipes se relayant jour et nuit pour approvisionner et surveiller l'installation. Arnaud Élisabeth précise : « En regardant par la tuyère, on voit les gouttes de fer tomber ». Ces gouttes s'agglutinent les unes aux autres, en incluant des scories au passage, pour former la loupe. Le processus est arrêté quand la loupe atteint la tuyère. Il faut alors ouvrir la porte basse et extraire la loupe.

La suite du travail se déroule à la forge. Il s'agit d'affiner la loupe pour en expurger les impuretés afin d'accéder au fer métal. Tout d'abord, la loupe est coupée en morceaux homogènes. Les éléments ayant grossièrement le même taux de scories sont soudés au feu. La masse ainsi obtenue est chauffée à blanc, martelée, puis divisée en deux. Les deux parties sont ensuite soudées au feu puis le processus, martelage et soudage, est répété de 10 à 15 fois. À la fin de ce long labeur, le travail du sidérurgiste est terminé et le lingot de fer métal obtenu est directement utilisable par le forgeron. Arnaud Élisabeth estime que la perte, entre la loupe extraite du bas fourneau et lingot de fer métal, est d'environ 30% à 50%. Il faut environ 4 heures pour affiner 2 Kg de loupe et obtenir 1 Kg de fer métal.

## État d'esprit

Évidemment, les quantités de fer métal produites, environ 9 Kg en 2 ans, montrent qu'Arnaud Élisabeth ne cherche pas à produire du fer pour approvisionner son activité professionnelle de forgeron d'art. Qui plus est, son but n'est pas d'améliorer le rendement, bien que celui-ci soit passé de 0,2% à 4,5% entre son premier et son dernier bas fourneau. Non, sa motivation première est de produire du fer localement. Il explique : « *C'est le cycle du feu ; je transforme du bois, récolté localement, en charbon par la maîtrise du feu ; ensuite, toujours avec le feu, je produis une loupe à partir de minerai, prélevé dans la région, et du charbon de bois ; enfin j'affine cette loupe, au feu de la forge, pour obtenir un lingot de fer métal que je peux forger* ». En tant que forgeron, Arnaud Élisabeth a travaillé ce fer et constate objectivement qu'il est différent du fer industriel produit par décarburation de la fonte issue des hauts fourneaux. Il le trouve plus dur et constate qu'il résiste mieux à l'oxydation. Pour lui, la prochaine étape consiste à découvrir un filon de fer jamais exploité, à Espinas ou dans les communes environnantes, et, par le feu, le transformer en fer métal.

Pour terminer cette brève présentation des bas fourneaux, il est édifiant d'estimer la quantité de travail nécessaire à l'obtention d'un kilogramme de fer, depuis la collecte du minerai jusqu'au lingot de fer métal en passant par la réduction et l'affinage. Ce travail est à la fois pénible, par le labeur qu'il exige, et complexe techniquement car il repose sur un savoir empirique. Quel serait le prix de ce kilogramme de fer s'il fallait rémunérer ce travail, ne serait-ce, qu'au SMIC ? Faites le calcul : vous ne jetterez plus jamais une banale boîte de conserve comme avant.

*Sources : Témoignage d'Arnaud Élisabeth le 11 février 2012.*

---

### Crédits Photos :

A. Elisabeth	P. Roux
G. Pessoto	M. Lorblanchet
M.T. Renardeux	J. Rouet