



Comme il l'avait annoncé dans le projet, le programme *Savoirs du fer* ne s'est pas concentré sur un objectif unique, mais a permis de donner une orientation nouvelle à des travaux en cours, parfois inachevés. Cependant, en orientant plus particulièrement la recherche sur les savoirs, il a permis d'appréhender les questions des techniques métallurgiques, de leur acquisition et de leur diffusion sous un angle nouveau.

Nos travaux dans le cadre de ce programme ont porté :

1. sur les savoirs et leurs transmissions dans les sociétés d'Afrique de l'ouest ;
2. sur la mécanisation de la sidérurgie dans l'Occident médiéval du XII<sup>e</sup> au XIV<sup>e</sup> siècle et les savoirs qu'elle implique ;
3. sur l'apparition d'un savoir nouveau qui a conduit à la production du fer par procédé *inf direct* à la fin du Moyen Âge et à la Renaissance ;
4. sur les savoirs de l'acier.

L'importance des travaux concernant les points 2 et 3 n'a pas permis d'aller plus avant dans la chronologie comme nous l'aurions souhaité.

## 1. LES MÉTHODES

Pour appréhender ces savoirs anciens, les sources écrites sont très insuffisantes. Dans beaucoup de régions, le fer est apparu avant l'écriture puisque les premières traces de réduction reconnues remontent au second millénaire avant J.-C. De plus, la diffusion de l'écriture n'apporte que très tardivement les moyens d'appréhender les savoirs du fer. Les hommes qui possédaient la capacité d'écrire, même s'ils furent sensibles à la possession de forges, ne se sont guère attachés à en décrire les savoirs. Dans l'Europe médiévale et moderne, il faut attendre la fin du XV<sup>e</sup> siècle en Italie pour qu'un auteur décrive la réduction du minerai en des termes relativement précis.

Il faut donc recourir à d'autres sources. Elles sont essentiellement archéologiques et ethnologiques, en particulier en Afrique sub-saharienne. L'approche archéologique a utilisé les moyens traditionnels de cette discipline (prospection et fouilles), et bien entendu les analyses physico-chimiques et les expérimentations ont tenu une place primordiale. Elles seules permettent de faire avancer notre connaissance des savoirs des métallurgistes à des époques ou dans ces sociétés qui ignorent les traités techniques.

## Savoirs du fer traditionnels en Afrique et dans l'Europe médiévale.

S'il faut situer aux alentours de 1500 avant J.-C. les premières réductions du minerai de fer en Turquie comme au Niger, très vite les savoirs essentiels de sa métallurgie, tels qu'ils ont dominé la production et l'usage pendant des siècles, se sont mis en place. Dès environ 1300 avant J.-C., à Chypre comme en Palestine, des métallurgistes savaient souder par corroyage, c'est-à-dire martelage à haute température, le fer et l'acier et produire de l'acier par cémentation. Au moment où commence notre enquête, les savoirs de base se sont lentement développés depuis plus de deux millénaires. Ils reposent sur la connaissance de la réduction directe, c'est-à-dire de la transformation du minerai en fer à une température inférieure à celle de la fusion du fer, donc sans passer par le stade intermédiaire de la fonte comme de nos jours.

Dans la chaîne opératoire, le premier des savoirs du fer repose sur la connaissance des minerais, des méthodes nécessaires à sa découverte et à son exploitation. Si le fer est quantitativement le second des métaux contenus dans l'écorce terrestre, après l'aluminium, il est le premier pour la quantité de minerais utilisables. Ces minerais affleuraient souvent et il importait de les reconnaître mais aussi d'être capable de découvrir les minerais souterrains. Dans ce domaine, l'apport de l'ethnologie est essentiel faute de textes. Dans le monde africain (Burkina Faso, Centrafrique, Burundi), la recherche et l'extraction du minerai s'effectuent sous la direction des hommes qui dirigent la réduction du minerai, distincts des forgerons. Les indices qui les guident sont d'abord visuels : aspect du terrain, couleur du sol, nature de la végétation mais aussi tactiles. Au Burkina Faso, la réaction d'une barre de fer plantée dans le sol est ressentie par les orteils de l'opérateur et fournit des renseignements jugés fiables par les artisans locaux. L'emploi de cette méthode est réservé à des experts, seuls détenteurs d'un savoir qui reste à expliquer à l'aide de la physique actuelle.

Le minerai extrait était réduit de manière directe, c'est-à-dire qu'à la différence de ce qui se passe de nos jours, le fer ne fondait pas dans le four de réduction en raison d'une température atteinte inférieure à celle de la fusion du fer. Cette opération était exprimée par des équations chimiques très simples, mais aussi très simplificatrices, puisqu'elles laissent de côté toute la gestion de l'opération.

Les reconstitutions expérimentales ont montré que la réduction du minerai de fer, pour réussir, nécessitait de connaître un certain nombre de données, qui touchent en particulier à l'alimentation en air ou encore à la nature des revêtements de fours. Le produit obtenu, la loupe ou éponge de fer, composée de métal, de scories et parfois de minerai non réduit, doit être forgé à chaud pour être transformé en lingots utilisables. Cette seconde phase apparaît comme celle qui nécessite les savoirs les plus difficiles à acquérir. Cette difficulté apparaît à travers les difficultés rencontrées par de nombreux chercheurs-expérimentateurs.

Dans le cadre du programme, nous avons mené plusieurs opérations sur le site de Fontenay (21), l'autre à Plélan-le-Grand (35). La réussite de la réduction repose sur le respect d'un protocole fait d'une accumulation de détails dans le chauffage préalable du four, la conduite du feu, le rythme des charges, le tout variant en fonction des appareils et de la nature des minerais. Les savoirs concernant le traitement de la loupe reposent d'abord sur une perception sensorielle des températures (couleurs, résistance du métal aux coups), mais aussi sur des pratiques, fruit de l'expérience, comme la manière d'introduire le ringard dans la loupe ou encore un premier compactage avec une masse qui ne soit pas trop dense, maillet en Europe ou pierres dans certaines traditions africaines. Les analyses en laboratoire confirment la validité des approches expérimentales s'appuyant sur les données de l'ethnologie.

Des opérations de traitement de surface des objets obtenus, en particulier la cémentation, effectuées par des métallurgistes africains et des chercheurs français ont donné des résultats montrant que les forgerons connaissent le rôle des matières azotées qui renforcent l'action du carbone pour aciérer les objets.

### *La transmission des savoirs*

Dans un monde qui ignorait à peu près totalement l'écrit, les transmissions des savoirs se sont faites d'abord à l'intérieur des familles ou des communautés. L'étude en cours se fonde en premier lieu sur des enquêtes menées dans deux régions: le Burkina Faso (Elisée Coulibaly), la République Centrafricaine (Félix Yandia). Le travail repose d'abord sur le dépouillement d'enquêtes orales effectuées par les chercheurs eux-mêmes, mais s'est fait aussi grâce à l'accès à des enquêtes effectuées antérieurement.

En République Centrafricaine, les données proviennent d'enquêtes orales inédites à ce jour. Il existe deux catégories de métallurgistes du fer, ceux qui produisent le métal brut, la loupe composée de métal mais aussi de scories; ceux qui transforment la loupe en métal et le métal en objets, et ce sont ces mêmes hommes qui effectuent les réparations.

L'extraction et la réduction du minerai sont l'œuvre de spécialistes mais ces spécialistes ne font pas de leur activité métallurgique leur principal métier: ils sont le plus souvent agriculteurs,

aussi la transmission des pouvoirs ne s'effectue pas de père en fils mais aussi au sein du groupe de villageois qui participent aux travaux d'extraction du minerai et de réduction sous les ordres des plus anciens qui ont les connaissances à la fois techniques et symboliques. C'est l'ensemble de la communauté qui décide de leur accorder ce pouvoir car le fer fournit les armes de la chasse et de la guerre ainsi que les outils pour cultiver la terre

La forge est un métier permanent: la fabrication des outils et des armes, leur réparation, auxquelles s'ajoutent épisodiquement la forge de la loupe sortant du four de réduction. Dans des sociétés sans caste de forgerons, les savoirs touchant au métier se transmettent cependant au sein de la famille étroite, de père en fils ou fils adoptif pris dans la famille. À l'intérieur du groupe familial, la situation sociale est telle que l'apprentissage devient obligatoire. L'enfant est une source de production, il est dans la forge dès 10 ou 12 ans, actionne les soufflets, porte les outils. Il commence à forger pour son plaisir, il devient productif entre 16 et 20 ans mais la finition revient toujours au forgeron attiré, le père. Le fils ne peut ouvrir une forge dans le village ou le quartier de son père. Actuellement, il n'y pas de travail pour tous, les jeunes continuent à aider jusqu'à la cessation d'activité du père. Le forgeron possède aussi des savoirs qui ne relèvent pas de la technique: il soigne les blessures, les dents. Pour traiter les amaigrissements, le plus souvent en cas de malnutrition, il lave son marteau dans une eau qu'il fait boire au patient.

La transmission des savoirs s'effectue d'abord par le regard, le jeune apprenti passant une part importante de son temps à regarder et à copier les gestes du travail. La première approche est souvent ludique comme le met en évidence le film réalisé par Elisée Coulibaly au Burkina Faso, qui présente un enfant de cinq ans s'exerçant à manier les soufflets, travail qu'effectue un garçon d'une douzaine d'années. À travers les enquêtes menées en Afrique sub-saharienne, la parole ne tiendrait pas la place qu'on a tendance à lui accorder.

### **Les savoirs de la mécanisation de la sidérurgie en Europe occidentale (XII<sup>e</sup>-XVI<sup>e</sup> siècles).**

Au cours du XII<sup>e</sup> siècle, la métallurgie du fer connaît une mutation fondamentale. Pour la première fois l'énergie hydraulique remplace la force humaine dans le travail de la forge en Europe. Une roue de moulin entraînait un arbre muni de cames qui soulevaient un marteau. L'innovation permettait d'entraîner des masses beaucoup plus importantes, on passait de quelques kilos à des dizaines, voire des centaines de kilos, et de frapper beaucoup plus rapidement. Les conditions du travail changeaient complètement.

Le principe mécanique de la came était connu depuis l'Antiquité mais sans réelles applications industrielles semble-t-il. Au X<sup>e</sup> siècle,

en Italie, apparaissent les premières citations de moulins à foulons, appareils où des maillets de bois sont alternativement soulevés par les cames placées sur l'arbre du moulin et retombent sous leur poids. Dans la période de croissance qui débute en Europe occidentale, les hommes apprennent à maîtriser de mieux en mieux la force de l'eau ; les savoirs hydrauliques se perfectionnent.

C'est dans ces conditions que naît la forge hydraulique. Il a fallu cependant environ deux siècles après l'apparition du foulon pour que les hommes soient capables d'élaborer les connaissances nécessaires et se donner les moyens de les réaliser. C'est dans une description de l'abbaye de Clairvaux, vers 1135, qu'une forge hydraulique est citée pour la première fois. Le marteau exige à la fois beaucoup de puissance et la construction d'une infrastructure très solide. La fouille de la plus ancienne forge hydraulique, dans l'enceinte de l'abbaye cistercienne de Bordesley en Angleterre, montre un mécanisme de transmission assez complexe. À en croire la restitution donnée par l'archéologue, il pourrait s'agir d'un savoir en construction.

Le marteau hydraulique apparaît à la conjonction de savoirs techniques qui se développent par ailleurs. Il fallait savoir maîtriser la force de l'eau pour donner au marteau sa puissance, connaître la charpenterie, plutôt celle des roues de moulins que celle des cathédrales, dominer la métallurgie à la fois pour fabriquer le marteau et l'utiliser.

Mais le savoir n'est pas tout. L'implantation d'une forge hydraulique nécessitait certes des moyens importants en argent, en particulier pour les aménagements hydrauliques, mais aussi des droits sur l'eau, en un mot une volonté novatrice de la part d'investisseurs. La diffusion de l'innovation, donc du savoir qui la supporte, reste partiellement inconnue. Cependant, aussi bien les données de l'archéologie que celles des archives donnent une place de premier plan à l'ordre de Cîteaux. Le réseau monastique, à une époque où les cisterciens ont investi dans la métallurgie du fer avant les séculiers et les seigneurs laïcs, aurait largement servi de support au développement de l'innovation. Le mode de transfert de ce savoir n'a laissé aucune trace directe dans les textes. Selon toute probabilité, ces hommes étaient des artisans laïcs, travaillant en relation avec les moines ; s'ils appartenaient à la communauté monastique, c'étaient des convers issus du monde des artisans. Il est très probable que le savoir s'est diffusé grâce à la migration des hommes.

Lorsqu'au XIV<sup>e</sup> siècle, des sources plus précises permettent de saisir l'expansion de la forge hydraulique, on aperçoit un savoir qui s'est inscrit dans un vocabulaire ; le fait est tout aussi vrai en Ariège et dans la Montagne Noire que dans le Haut Palatinat. Cependant, le savoir des techniciens ne leur a pas permis de prendre le contrôle de la production ; ce sont au contraire les seigneurs locaux qui, dans le Midi de la France, possèdent les forges et les afferment le plus souvent à des bourgeois des petites

villes. En Allemagne, les maîtres des marteaux, membre de la *Hammereinung*, appartenaient au monde des riches marchands urbains.

Cependant, les savoirs nécessaires à l'utilisation du marteau hydraulique restaient encore très mal connus. Un projet de réalisation d'un tel appareil à l'intérieur de l'abbaye cistercienne Fontenay (21) dans le cadre d'un projet européen, le projet *Comenius*, rassemblant des Lycées professionnels de sept pays européens, a été l'occasion de développer en parallèle, grâce au programme *Savoirs du fer*, des expérimentations archéologiques dans le but de retrouver les connaissances et les pratiques des utilisateurs des marteaux hydrauliques des XII<sup>e</sup> et XIII<sup>e</sup> siècles.

Une nouvelle manière d'appréhender la question découle des travaux effectués au sein de notre équipe par Maxime L'Héritier sur l'utilisation du fer dans les cathédrales. Les grands édifices gothiques du XIII<sup>e</sup> siècle ont utilisé chacun des dizaines de tonnes de barres de fer, environ 45 tonnes à Ratisbonne, un peu plus à Troyes, pour ne prendre que quelques exemples. Des traces visibles sur certains tirants métalliques, au Palais des Papes à Avignon ou à la cathédrale de Beauvais, montrent l'usage du marteau hydraulique. Or, les expérimentations effectuées à partir de loupes compactes extraites de fours de réduction directe, aussi bien à Fontenay et à Plélan-le-Grand qu'à Nancy par Marc Leroy et Paul Merluzzo, ont montré la grande difficulté en même temps que la quantité considérable d'énergie thermique, donc de charbon de bois qui était nécessaire pour passer d'une loupe compacte d'une vingtaine de kg à une barre. Les analyses métallographiques effectuées sur des armatures de vitraux, des barlotières, ne montrent pas de traces de corroyage, opération indispensable pour transformer une loupe massive en barre.

D'où le recours à des savoirs ignorés des ouvrages actuels mais pratiqués par de nombreux forgerons. Il s'agit essentiellement du *grappage*, opération qui consiste à jeter dans un four ouvert porté à haute température par l'action de soufflets, des morceaux de fer ou d'acier jetés dans le charbon de bois incandescent. Ces pièces s'agglutinent par fusion partielle et se soudent pour former une masse métallique dont la forme dépend de celle du four, masse métallique qui est forgée pour acquérir la structure et la forme souhaitées.

Pour donner corps à cette hypothèse, il fallut mettre au point une conduite du four de réduction, où, en limitant les charges et en réduisant le temps de l'opération, il a été possible d'obtenir des « éponges de fer » relativement faciles à briser à chaud pour obtenir des fragments de fer d'une taille convenant à un grappage. L'expérimentation menée à trois reprises a montré la valeur de la démarche.

Parallèlement, un four de *grappage* de forme allongée a été testé. Nourri avec des riblons d'ateliers métallurgiques il a, dès la première expérience, donné des résultats satisfaisants. Tous ces

travaux ont été menés dans le cadre du programme *Savoirs du fer*, parallèlement à la construction du marteau hydraulique prévu par le projet *Comenius*.

Ce projet avançant, il faudra, avec d'autres financements, poursuivre une opération qui s'est véritablement montrée incitative, afin de pouvoir tenter de forger une barre de fer à partir de l'ébauche obtenue par grappage lors de l'inauguration du marteau hydraulique en mai 2008.

## 2. NAISSANCE ET DIFFUSION D'UN SAVOIR : LE PROCÉDÉ INDIRECT DE PRODUCTION DU FER.

Au cours du XIII<sup>e</sup> siècle, peut-être même avant, un nouveau procédé de réduction du minerai de fer s'est implanté en Europe occidentale, connu sous le nom de réduction indirecte. Cette dernière est le fondement des techniques actuelles. La réduction indirecte est liée à l'application de la came, non plus au marteau mais au soufflet. Mus par la force hydraulique, ils peuvent envoyer une quantité très supérieure d'air dans l'appareil et augmenter en conséquence la température interne. Ainsi le point de fusion du fer est atteint. L'appareil est un haut-fourneau et le produit qui en sort de la fonte. La fonte est un produit dur mais cassant, qui ne se forge pas. Elle est impropre à fournir des outils et des armes. Il fallait donc la transformer en fer par un affinage. Le procédé indirect nécessite de la part des métallurgistes l'acquisition de savoirs très différents. Il ne suffisait pas de monter la température pour produire de la fonte, il fallait savoir l'affiner c'est-à-dire procéder à son oxydation partielle à haute température. L'oxygène de l'air devait s'allier au carbone sans oxyder le fer.

Là encore, il est extrêmement difficile d'identifier ce qui permet l'élaboration d'un nouveau savoir. Il se situe cependant dans la lignée du marteau hydraulique. Mais il fallait de plus maîtriser davantage certains facteurs, en particulier dans le domaine de l'énergie, répondant à la nécessité d'utiliser à la fois une puissance importante mais pendant un temps limité pour actionner les marteaux et un flux permanent pour mettre en œuvre des soufflets qui devaient fournir l'air au fourneau pendant des semaines sans s'arrêter. Des étangs ont fourni dans certains cas la solution au problème. La technique n'était pas nouvelle, elle ne faisait que développer les savoirs des créateurs d'étangs des siècles centraux du Moyen Âge. La mécanisation des soufflets est sans doute un emprunt à la métallurgie des non ferreux. En revanche, il est plus difficile de saisir la genèse des savoirs qui ont permis de transformer la fonte en fer. On peut y voir la conjonction du développement du savoir des métallurgistes, qui traitaient grâce au marteau hydraulique les loupes de fer produites

en réduction directe et de l'application de la force hydraulique aux soufflets de forge. Là encore, il est possible que les savoirs des techniciens des métaux non ferreux aient pu servir de modèles.

En revanche, on est un peu mieux renseigné sur la transmission de ces savoirs grâce aux recherches effectuées en particulier dans des archives notariales. On sait maintenant que si les conditions économiques et politiques ont conduit à un large investissement dans la sidérurgie, les vecteurs de la diffusion du savoir ont été les hommes. On souligne en particulier les migrations des fondeurs et des affineurs allemands, mais surtout wallons en France, puis l'émigration des métallurgistes du pays de Bray, formés à la méthode wallonne, à travers la Manche pour introduire le nouveau procédé en Angleterre.

Il est difficile de savoir comment se sont élaborés les savoirs qui ont permis l'apparition de cette innovation en Europe occidentale. Lorsqu'elle apparaît, les Européens avaient déjà produit de la fonte depuis des siècles, le plus souvent de manière accidentelle, la difficulté résidant en la manière de transformer la fonte cassante et non forgeable en fer. Les premières traces d'une réduction indirecte du fer en Europe – la Chine connaissait la technique depuis le VI<sup>e</sup> siècle – sont apparues en Suède, à Lapphytan près de Norberg, lors des fouilles menées par Gerd Magnusson. Elles remonteraient à la seconde moitié du XII<sup>e</sup> siècle. Le haut-fourneau a cessé de fonctionner au XIV<sup>e</sup> siècle. Des mêmes XIII<sup>e</sup> et XIV<sup>e</sup> siècles, datent aussi les hauts fourneaux et les affineries découverts dans le Markland, à l'Est de la Ruhr. En Belgique, dans la région située entre Sambre et Meuse, la sidérurgie indirecte apparaît au cours du XIV<sup>e</sup> siècle.

En France, des travaux récents permettent de faire remonter la chronologie de l'innovation au XIV<sup>e</sup> siècle. Les comptes de la ville de Nevers signalent en l'année 1404 la fabrication d'une bombe par utilisation du métal provenant de deux canons de fer fondu, c'est-à-dire de fonte. L'homme chargé du travail était, par un allemand nommé Crampe, qualifié de fondeur à la forge de Saint-Ours, là où un texte de 1399 signale une forge hydraulique, ce qui prouve l'existence de hauts fourneaux dès le XIV<sup>e</sup> siècle. Mais déjà la sidérurgie indirecte produisait dans la vallée de la Vanne, non loin de Troyes.

### *L'apparition du procédé indirect en France : le cas du bassin de la Vanne.*

Parallèlement à une sidérurgie traditionnelle, s'opère dans le bassin de la Vanne (Yonne et Aube) une mutation technologique fondamentale. En 1377, Nicolas de Fontenay, chevalier, co-seigneur de Saint-Liébaud, afferme aux Prémontrés de Dilo, eux-aussi co-seigneurs de Saint-Liébaud, leur moulin de Chichery. Ce moulin ancien n'est à l'origine qu'un simple moulin bladier. À la fin du XIV<sup>e</sup> siècle, le site apparaît comme un petit complexe industriel, comprenant des moulins à blé, des foulons à drap, des buttoirs à

écorce et à chanvre. Le choix de Nicolas de Fontenay comme fermier devait apparaître idéal pour Dilo : un homme d'une certaine capacité financière, fortement impliqué dans la vie économique et sociale de la région : il est bailli de Troyes et conseiller du duc de Bourgogne. Il a progressivement acquis des biens dans la région, en particulier la terre de Valcon entre 1377 et 1380, avec le grand étang et le fief de *La Grand Roe*. Dans le temps de sa ferme, soit entre 1377 et 1387, il fait détourner la rivière par ses hommes juste en amont du moulin. Les installations existantes sont abandonnées à leur sort. En face du moulin déjà existant, il fait construire une maison contenant une *forge à affiner fer*. La roue, qualifiée de grande, sert à actionner de *grans soufflez*. La *forge à affiner fer* est, selon les constatations de J.-Fr. Belhoste, le terme habituellement dédié à l'affinerie et prouve par conséquent l'existence d'une usine sidérurgique liée au procédé indirect. Une autre indication confirme le fait. Au cours d'un procès, entre les chanoines de Dilo et la famille de Fontenay, des travailleurs de l'usine sont cités comme témoins. L'un d'eux s'appelle Coleçon *Le Liejois*. J.-Fr. Belhoste note l'apport important de ces techniciens, allemands et wallons, dans la mise en place de la sidérurgie indirecte en Val de Saône. On retrouve aussi des sidérurgistes originaires des environs de Namur et de Liège dans le pays de Bray normand à partir du milieu du xv<sup>e</sup> siècle. L'étendue de l'état bourguignon jusqu'à la Flandre et l'Artois facilite les échanges de toutes sortes. La présence d'un technicien wallon, un Liégeois, apparaît liée au transfert de ces nouvelles techniques. La présence d'une affinerie à Saint-Liébaud est la preuve de la diffusion du procédé indirect en Champagne méridionale bien avant la seconde moitié du xv<sup>e</sup> siècle, contrairement à ce que l'on pensait.

Les textes insistent sur ce qui est remarquable et nouveau, la grande roue et les grands soufflets. La roue fait tourner, par le biais de cames, des soufflets. L'affinerie de Saint-Liébaud se présente sans doute comme une construction regroupant plusieurs ateliers, le foyer d'affinerie, le marteau hydraulique et le four de la chaufferie. Les textes ne font aucune allusion au haut-fourneau et à la provenance de la fonte. On sait, par des exemples postérieurs, qu'en certains cas, l'affinerie et le haut-fourneau étaient implantés sur le même site ou se situaient à une distance de quelques centaines de mètres voire de quelques kilomètres l'une de l'autre, en fonction du potentiel énergétique disponible. À Saint-Liébaud, l'usine métallurgique comprend une affinerie hydraulique, mais pas le haut-fourneau.

En 1378-1379, Nicolas de Fontenay afferme les minerais des forêts et des usages de l'évêque de Troyes à Aix-en-Othe, pour un an et à raison de 18 l. t. Il s'assure ainsi l'approvisionnement en matières premières d'un four de réduction. La date correspond sans doute au début du travail de l'affinerie. Connaissant l'existence de l'affinerie de Saint-Liébaud, le minerai ne peut avoir servi qu'à un fourneau de réduction indirecte. Les textes postérieurs rappelleront qu'il a existé un établissement sidérurgique qui a supplanté dans les mémoires le nom de Valcon : le lieu

s'appelle aujourd'hui *La Forge*. L'établissement existe-t-il à la fin du xiv<sup>e</sup> siècle? La présence d'un grand étang de 60 à 70 arpents ne laisse penser. L'établissement d'un étang sur cet affluent médiocre a pour but la création d'un potentiel énergétique. Un haut-fourneau a besoin d'une réserve d'eau qui permette à la roue qui entraîne les soufflets de tourner en continu pendant des semaines.

La mort de Nicolas de Fontenay en 1396 sonne le glas de l'affinerie de Saint-Liébaud. Les chanoines de Dilo engagent un procès au parlement de Paris. En 1400, après plusieurs refus d'obtempérer, les héritiers sont condamnés à abattre la grande roue. Il est vraisemblable de penser que l'installation a été transférée à Valcon.

Les études métallographiques effectuées par Maxime L'Héritier sur les attaches métalliques des statues datées, d'après la chronologie de l'édifice, du dernier quart du quatorzième siècle, montrent l'utilisation conjointe du fer de réduction directe et du fer de réduction indirecte. Or Auxerre se situe à une cinquantaine de kilomètres de Saint-Liébaud. Sans conclure quant à l'origine exacte du fer, il importe de noter que dans le Nord de la Bourgogne, les nouveaux savoirs du fer, dans la seconde moitié du xiv<sup>e</sup> siècle, étaient déjà appliqués à la production de métal pour la construction.

Le cas très précoce de la forge de Saint-Liébaud et du haut-fourneau de Valcon apparaît éphémère. Cependant dès la première moitié du xv<sup>e</sup> siècle les sources écrites montrent la présence indiscutable de la sidérurgie indirecte dans la vallée de la Vanne. Il est possible qu'elle ait été présente à Cosdon, possession des chanoines de la collégiale saint-Etienne de Troyes, au milieu du xv<sup>e</sup> siècle.

Les documents concernant la forge de Dilo apparaissent plus convaincants. En 1457, les chanoines de Dilo afferment une chute d'eau pour en faire une *fondoire*, dite aussi *fourneau*, avec le droit d'usage des bois, tant pour la construction que pour le combustible. Les chanoines désirent construire une *fondoire*, c'est-à-dire un haut-fourneau; ils font appel à un maître de forge voisin, détenteur d'un savoir particulier. Enfin, l'évêque de Troyes accède lui aussi à la sidérurgie indirecte. La déclaration de ses biens à Aix-en-Othe, de 1457 à 1467, mentionne explicitement *ung marteau et affinerie à fer*. Ce nouvel appareil est assis sur la chute d'eau du foulon d'Aix.

Le bassin de la Vanne connaît donc une première éclosion du procédé indirect dès le dernier quart du xiv<sup>e</sup> siècle, ce qui en fait, dans l'état actuel de la recherche, le premier lieu en France à connaître l'innovation, une trentaine d'années après qu'elle a été connue dans le pays de Liège, quelques décennies avant les premières citations prouvant la production de fonte dans le Nivernais. Dans un cas comme dans l'autre, la transmission du savoir est passée par la circulation des hommes.

### *L'expansion du procédé indirect*

Le redressement de l'économie de l'Europe occidentale au cours de la seconde moitié du <sup>xv</sup><sup>e</sup> siècle a conduit à faire appel aux techniciens porteurs des connaissances indispensables. La multiplication des établissements produisant du fer selon le procédé indirect a laissé une documentation suffisante pour qu'il soit possible de bâtir des hypothèses solides. Dans le pays de Bray, dans la seconde moitié du <sup>xv</sup><sup>e</sup> siècle, la moyenne aristocratie laïque et ecclésiastique semble avoir joué un rôle prépondérant. En revanche, dans le Nord de la Bourgogne, la très haute aristocratie, à commencer par le roi et les grands établissements religieux, a été le principal promoteur du nouveau savoir. La conjoncture aide à comprendre la situation. À partir de 1450, l'Europe occidentale commence à sortir de la crise, les villes se reconstruisent et la campagne rebâtit ses équipements. Les besoins militaires demeurent toujours présents au moment où les pays se dotent d'armées permanentes et où l'artillerie se développe. Les besoins en fer sont alors très importants. Or la crise démographique et économique a eu des conséquences extrêmement importantes. Le dépeuplement des campagnes a conduit à l'abandon des

terres, au retour à la friche puis à la forêt. Au moment où les cours du blé s'avèrent particulièrement bas, les seigneurs peuvent espérer tirer des ressources de leurs bois, de leurs ruisseaux et de leur minerai de fer. La sidérurgie semble une affaire rentable. Or les hommes manquent : si les prix agricoles sont bas, les salaires sont élevés. Toute une série de conditions sont donc favorables pour que l'on fasse appel au savoir d'hommes qui peuvent produire en quantité en n'utilisant qu'une main-d'œuvre limitée.

La nature des savoirs nécessaires au développement de la sidérurgie indirecte demeure beaucoup plus difficile à interpréter. Les fouilles menées sur le site de Glinet (76) par Danielle Arribet ont permis de découvrir une installation sidérurgique qui a fonctionné de la fin du <sup>xv</sup><sup>e</sup> siècle au début du <sup>xvii</sup><sup>e</sup> siècle. Il apparaît que les métallurgistes ont utilisé les savoirs des constructeurs d'étangs et de moulins. Pour ce qui concerne les savoirs métallurgiques, il faudra attendre les résultats des analyses effectuées par l'UMR « Archéomatériaux » placée sous la direction de Philippe Dillmann, pour pouvoir émettre des hypothèses solides. Ces résultats seront publiés au cours de l'année 2008.

